

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

ГУЛИСТОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАКУЛЬТЕТИ

«ФИЗИКА» КАФЕДРАСИ

«ФИЗИКА» ФАНИДАН

ЎҚУВ-УСЛУБИЙ МАЖМУА.

ГУЛИСТОН-2019

**ЎБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС
ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ
ГУЛИСТОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ**

«ФИЗИКА» КАФЕДРАСИ

“ТАСДИҚЛАЙМАН”

ГулДУ ректори

М.Т.Ходжиев

“ ” 2019 й.

**ФИЗИКА»ФАНИДАН
ЎҚУВ-УСЛУБИЙ МАЖМУА**

Гулистон– 2019 й.

**Янги ўқув-услугий мажмуаларни тайёрлаш бўйича услубий
кўрсатмаларни тавсия этиш тўғрисидаги Олий ва ўрта махсус таълим
вазирлигининг 2017 йил 1-мартдаги №107 сонли буйруғига асосан
ишлаб чиқилган.**

Тузувчилар: А. Абдуллаев, Б.Абдуллаев

Эксперт: Р. Элмуродов ГулДУ “Физика” кафедраси доценти, ф.м.ф.н.

Такризчи: Т. Рисбоев ГулДУ “Физика” кафедраси доценти, ф.м.ф.н.

**Ўқув-услугий мажмуа Гулистон давлат университетининг илмий-
услугий кенгашининг 2019 йил _____даги ____-сонли қарори билан
тасдиқланган.**

КИРИШ

Ўзбекистон Республикаси Президентининг “Таълим, тарбия ва кадрлар тайёрлаш тизимини тубдан ислоҳ қилиш, баркамол авлодни вояга етказиш тўғрисида” ги Фармони ҳамда, “**Кадрлар тайёрлаш миллий дастури**” да белгиланган, олий таълим муассасаларида рақобатбардош етук мутахассислар тайёрлаб уларни ривожланган демократик хорижий мамлакатлар таълимидаги ижобий тажрибаларга асосланиб янги инновацион педагогик технологиялар яратиш, талабаларга назарий ва амалий билим бериш ҳозирги кунга келиб долзарб масалалардан бири бўлиб қолди.

Ўзбекистоннинг келажаги, унинг истиқболи ёшларга билим бериш билан бир қаторда уларнинг тарбиясига, соғлом қилиб ўстиришга, миллий мафкура ва ўз ватанига садоқат руҳида тарбиялашга боғлиқ бўлиб, бу мураккаб жараёни муваффақиятли амалга ошириш мустақил мамлакатнинг энг долзарб вазифаларидандир. Шунинг учун ҳам, Президентимиз И.А.Каримовнинг «Мамлакатимизнинг истиқболи ёш авлодларимиз қандай тарбия топишига, қандай маънавий фазилатлар эгаси бўлиб вояга етишига, фарзандларимизнинг ҳаётга нечоғлик фаол муносабатда бўлишига, ҳар қандай олий мақсадларга хизмат қилишига боғлиқ эканлигини ҳамиша ёдда тутишимиз керак» деб таъкидлагани бежиз эмас. Шу боисдан ҳам бугунги кунда бўлажак мутахассисларнинг таълим тарбияси мустақил Ўзбекистоннинг давлат сиёсатида устувор аҳамият касб этмоқда.

2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналишлари бўйича қабул қилинган ҳаракатлар стратегиясида таълим ва фан соҳасини ривожлантиришга алоҳида этибор қаратилган.

Бунда кўзда тутилган асосий мақсад узлуксиз таълим тизимини янада такомиллаштириш йўлини давом эттириш, сифатли таълим хизматларига имкониятларни ошириш, меҳнат бозорининг замонавий эҳтиёжларига мувофиқ юқори малакали кадрларни тайёрлашга қаратилган.

Таълим муассасаларини замонавий ўқув ва лаборатория ускуналари, компьютер техникаси ва ўқув-методик қўлланмалар билан жиҳозлаш бўйича ишларни амалга ошириш орқали уларнинг моддий-техник базасини мустаҳкамлаш юзасидан аниқ мақсадга қаратилган чора-тадбирларни кўриш мумкин. Олий таълим тизимини янада ривожлантириш чора тадбирлари тўғрисидаги Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 20-апрелдаги ПҚ-2909-сонли қарори чиқаилди. .

Ўзбекистон Республикаси Президентининг «Олий таълим тизимини янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги [қарори](#) олий таълим тизимини тубдан такомиллаштириш, мамлакатимизни ижтимоий-иқтисодий ривожлантириш борасидаги устувор вазифаларга мос ҳолда, кадрлар тайёрлашнинг маъно-мазмунини тубдан қайта кўриб чиқиш, халқаро стандартлар даражасида олий малакали мутахассислар тайёрлаш учун зарур шароитлар яратиш мақсадида қабул қилинган.

Янги авлод ўқув қўлланмаларини яратиш ва олий таълим тизимида кенг татбиқ этиш, олий таълим муассасаларини замонавий ўқув-методик ва илмий адабиётлар билан таъминлаш, жумладан, энг янги хорижий адабиётларни сотиб олиш ва таржима қилиш негизида ахборот-ресурс марказлари фондларини мунтазам янгилаб бориш кўзда тутилган.

Яратилган ушбу ўқув услубий мажмуа шу қарордан келиб чиққан ҳолда ривожланган давлатлар олий таълим муассасаларида талабаларга физика фанини қандай ўргатишини ўрганиб чиқиб, чет эл адабиётларидан фойдаланган ҳолда ишлаб чиқилди.

Ушбу ўқув-услубий мажмуа физика курсининг электростатика ва ўзгармас ток, оптика ва атом ва ядро бўлимларига бағишланган. Ушбу маърузалар матнига киритилган мавзулар электростатик майдон ва ўзгармас ток қонунларини, оптика, атом ва ядро физикавий қонунларни талабалар томонидан ўзлаштиришларида зарур қўлланма бўлиб ҳисобланади. Ўқув- услубий мажмуа 25 та маъруза мавзуларидан иборат бўлиб,

ривожланган мамлакатлар олий ўқув юртларининг нуфузли олий ўқув юртлари ўқитувчилари томонидан яратилган ўқув адабиётларидан фойдаланилган ҳолда ишлаб чиқилди ва талабаларга шу асосда ўқитиш учун мўлжалланган. Бунда ҳар бир маъруза бўйича ўрганиладиган мавзулар номи, уларнинг мазмуни, моҳияти ҳамда шу мавзуга тегишли чизмалар ва математик формулалар келтирилган. Шу билан бирга ҳар бир маъруза мавзуси охирида таянч сўз, тарқатма материаллар, амалий машғулот масалалари, назорат саволлари ва глоссарий тўпламлари келтирилган.

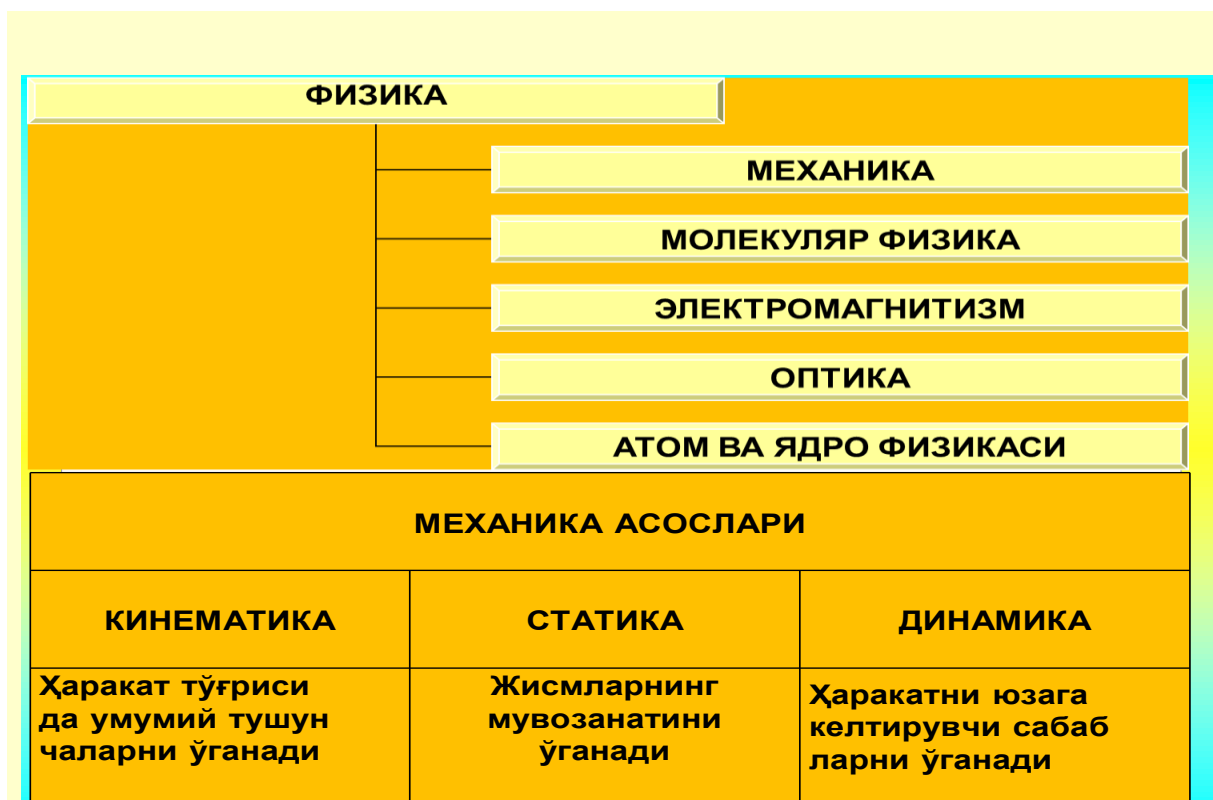
Физика фанини ўқитишда янги педагогик технологик яндошувлар асосида олиб бориш ҳозирги куннинг асосий талаб ва заруриятдан бири бўлиб қолди.

Фундаментал фанлардан тингловчиларга етарлича назарий билим ва амалий кўникма, малакаларни ҳосил қилиш учун замонавий таълим талабларига жавоб берувчи ўқув-услубий мажмуаларга таяниб иш олиб бормоқ керак.

КИРИШ. ФИЗИКА ФАНИ ПРЕДМЕТИ. КИНЕМАТИКА АСОСЛАРИ

Режа

1. Рейтинг тизими ҳақида тушинча.
2. Фан ва ижодий фаолият.
3. Моделлар, назария ва қонунлар.
4. Физик катталикларнинг ўлчов бирликлари.
5. Радиус вектор, траектория, йўл ва кўчиш тушинчалари.
6. Илгариланма ҳаракатда тезлик ва тезланиш.



Моделлар, назария ва қонунлар

Модел деб, ўрганиладиган ҳодисанинг маълум тушунчалар ёрдамида яратилган манзарасига айтилади. Масалан, ёруғликнинг тўлқин ва корпускуляр модели ва бошқалар.

Назария деб, тажриба натижаларини умумлаштирувчи ва табиатнинг объектив қонунларини акс эттирувчи ғоялар системасига айтилади.

Қонун-табиат ҳодисаларининг характери ҳақидаги энг умумий қоида ҳисобланади.

Ўлчов бирликлари. Ҳалқаро бирликлар тизими (ХБТ). Асосий ва ҳосилавий бирликлар

Физик катталикларни ўлчаш учун бирликлар тизимидан фойдаланилади. Физик катталиклар икки гуруҳга бўлинади. Асосий ва ҳосилавий катталиклар. Уларнинг бирликлари эса асосий ва ҳосилавий бирликлар дейилади.

Ҳалқаро бирликлар тизимида еттита асосий бирликлар қабул қилинган. Қолган барча физик катталикларнинг бирликлари шу еттита бирликлар асосида аниқланади (1-жадвал). Масалан, тезлик вақт бирлиги оралиғида жисм кўчишининг ўзгаришини кўрсатадиган

катталиқдир. Демак, физик катталиқлар ва уларнинг бирликлари асосий катталиқлар билан боғланиш ифодасидан ҳосил қилинади.¹

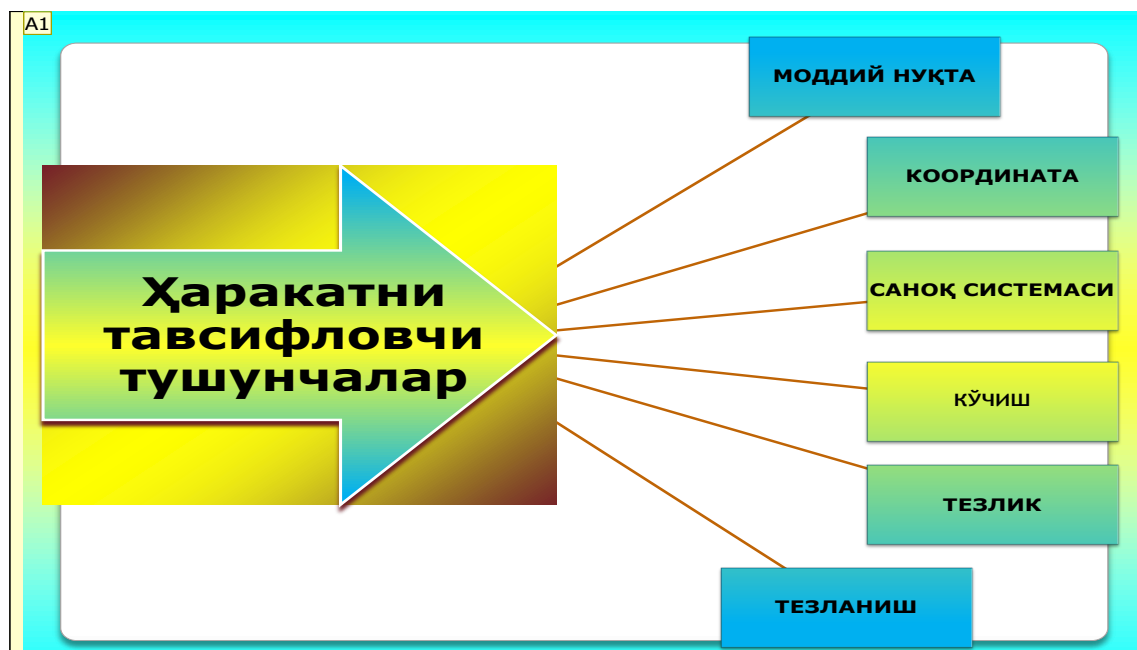
Ҳаракати ўрганилаётган жисмнинг катталиги ва шакли кузатилаётган шароитда ҳеч қандай аҳамиятга эга бўлмаса, бундай жисм моддий нукта деб қаралади.

Length	meter	m
Time	second	s
Mass	kilogram	kg
Electric current	ampere	A
Temperature	kelvin	K
Amount of substance	mole	mol
Luminous intensity	candela	cd

1-жадвал. Ҳалқаро бирликлар тизимида асосий катталиқлар ва уларнинг ўлчов бирликлари.

Length(meter) – узунлик(метр), Time(second) – вақт(секунд), Mass(kilogram) – масса(килограмм), Electric current(ampere) – ток кучи(ампер), Temperature(kelvin) – температура(кельвин), Amount of substance(mole) – модда миқдори(моль), Luminous intensity(candela) – ёруғлик кучи(кандела).²

САНОҚ СИСТЕМАСИ ВА КЎЧИШ



¹ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, Prentice Hall, 2004 USA.22-26

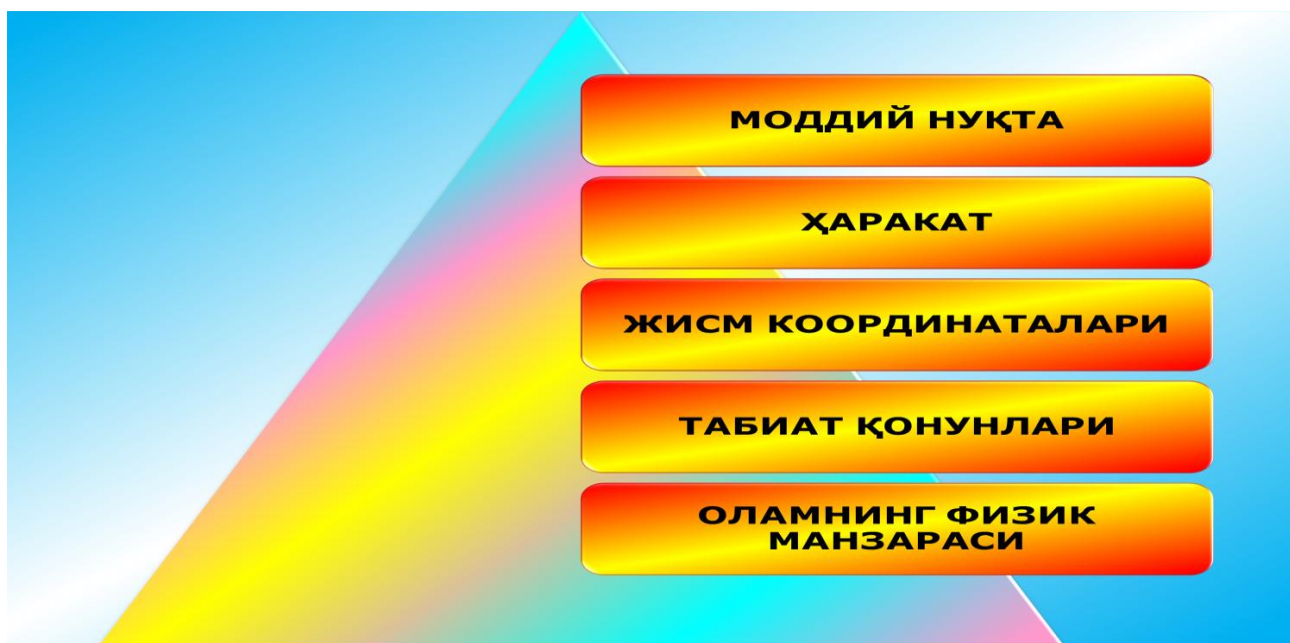
² Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, Prentice Hall, 2004 USA 43-44

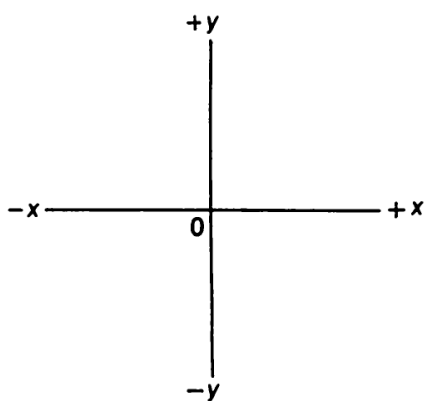
Ҳолат, масофа ёки тезликни ўлчашлар санок системасига нисбатан олиб борилади. Масалан, сиз кетаётган поезд 80 км/соат тезлик билан кетаётганда, поезд ичида бирор киши поезднинг олд қисми томонига, айтиайлик 5 км/соат тезлик билан ҳаракат қилаётган бўлсин (1.1 - расм). Бу 5 км/соат одамнинг санок системаси сифатида олинган поездга нисбатан тезлиги. Ерга нисбатан эса ўша одам $80 \text{ км/соат} + 5 \text{ км/соат} = 85 \text{ км/соат}$ тезлик билан ҳаракат қилади. Тезликни кўрсатишда санок системасини аниқ кўрсатиш муҳимдир. Кундалик ҳаётимизда бу ҳақда ўйламасдан “Ерга нисбатан” ҳаракатни назарда тутамиз, аммо чалкашлик содир бўладиган ҳолларда санок системасини кўрсатиш зарур.



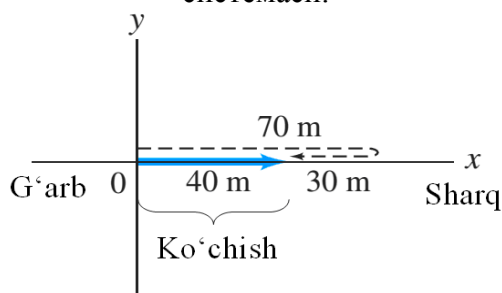
1-1– расм. Одам поезд олд қисмига қараб 5 км/соат тезлик билан юради. Поезд Ерга нисбатан 80 км/соат тезлик билан юради, одамнинг Ерга нисбатан тезлиги 85 км/соатга тенг

Жисмнинг ҳаракатини аниқлашда фақат тезликнинг сон қийматинигина эмас, балки йўналишини ҳам кўрсатиш керак. Кўпинча шимол, шарқ, жануб ва ғарб, ҳамда «юқорига» ва «пастга» сўзларини ишлатиб йўналишни аниқлашимиз мумкин. Физикада санок системасини кўрсатишда 1-2 – расмдаги каби координата ўқларини чизамиз. Биз координата боши сифатида 0 ни оламиз ва қулайлик учун x ва y ўқларининг йўналишини кўрсатамиз. x ва y ўқлари ҳар доим бир-бирига перпендикуляр бўлиши керак. Бошланғич ҳолат учун $x=0$, $y=0$. x ўқининг координата боши (0) дан ўнгга бўлган жисмлар учун x ўқи ишораси мусбат, чапдагилари учун манфий бўлади. Одатда “ y ” ўқи бўйича 0 дан юқоридаги ҳолат мусбат, 0 дан паст ҳолат манфий деб ҳисобланади, лекин тескари бўлган ҳоллар ҳам ишлатилиши мумкин. Нуқтанинг x ва y координаталарини бериб текисликдаги ихтиёрий нуқтанинг ҳолатини кўрсатиш мумкин. Уч ўлчамли координаталар системасида x ва y ўқларига перпендикуляр йўналишда z ўқи жойлаштирилади.





1.2. – расм. Текисликдаги оддий декарт координаталар системаси.



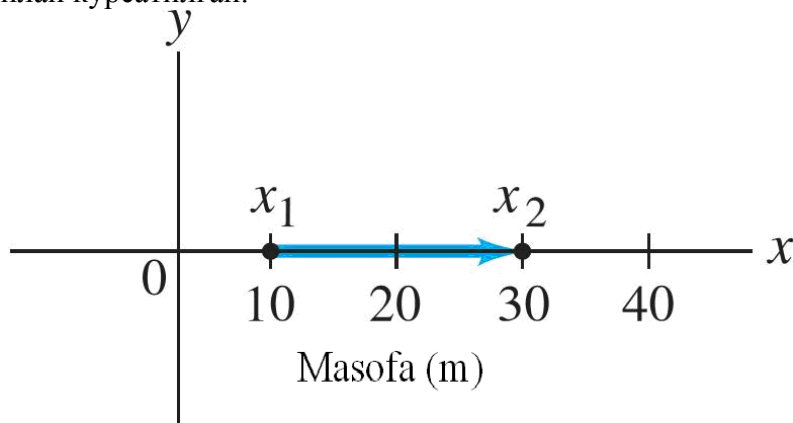
1.3. – расм. Одам шарққа 70 метр юради, сўнгра чапга 30 метр юради. Умумий босиб ўтилган йўл 100 метрга тенг (йўл қора пунктир чизик билан кўрсатилган), аммо кўчиш шарқ томонга йўналган кўк стрелка билан кўрсатилган бўлиб, у 40 метрга тенг.

Бир ўлчамли ҳаракатда биз кўпинча ҳаракат йўналишида x ўқини танлаб оламиз. У ҳолда жисмнинг ихтиёрий вақт моментидаги ҳолати унинг x координатаси билан аниқланади. Агар ҳаракат вертикал йўналишда юз берадиган бўлса, хусусан жисм тушаётган бўлса, y ҳолда одатда у ўқини ишлатамиз.

Биз жисм ҳолатининг ўзгаришидаги йўл ва кўчиш фарқини ажрата билишимиз керак. Кўчиш жисмнинг бошланғич нуқтадан қанчалик узоқда жойлашганини кўрсатади. Йўл ва кўчиш ўртасидаги фарқни кўрсатиш учун одамнинг шарққа 70 метр пиёда юрганини ва бурилиб орқа (ғарб)га 30 метр юрганини тасаввур қилайлик (1-3 расм). Бунда умумий йўл узунлиги 100 метрга тенг, аммо кўчиш 40 метрга тенг, чунки одам шу пайтда бошланғич нуқтадан 40 метр узоқликда бўлади.

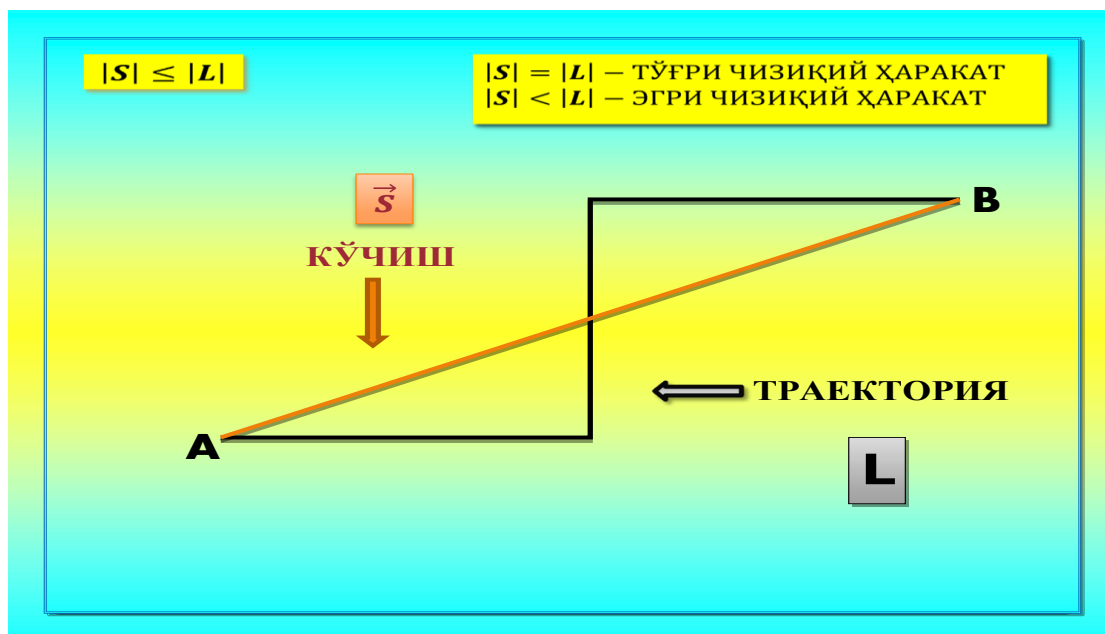
Кўчиш миқдор ва йўналишга эга бўлган катталиқ. Бундай катталиқ вектор деб аталиб, у диаграммада стрелка билан кўрсатилган. Масалан, 1-3 – расмда кўк чизик кўчишни кўрсатади, унинг миқдори 40 метрга тенг, йўналиши эса ўнгга (шарққа) қараган

Жисмнинг маълум вақт интервалидаги ҳаракатни кўрайлик. Фараз қилайлик, жисм вақтнинг бошланғич моментида, уни t_1 дейлик, 1-4-расмда кўрсатилган координата системасининг x_1 нуқтасида жойлашган бўлсин. Биз қанча вақт кейин, t_2 моментида жисм ҳаракат қилиб, x_2 ҳолатга ўтган бўлсин. Жисм кўчиши $x_2 - x_1$ га тенг, у 1-4-расмда ўнгга йўналган стрелка билан кўрсатилган.



1-4– расм. Стрелка $x_2 - x_1$ кўчишни кўрсатади. Масофа метрларда кўрсатилган.³

³ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, Prentice Hall, 2004 USA.43-45



Радиус – вектор ва траектория тушунчаси. Координаталар бошидан кузатилаётган нуктага ўтказилган Z векторнинг координата ўқларидаги проекциялари нуктанинг координаталарига мос равишда тенгдир, яъни $r_x = x$; $r_y = y$ ва $r_z = z$. Агар нуктанинг фазодаги ўрни ўзгарадиган бўлса, \vec{r} ҳам ўзгаради. Шунинг билан бир қаторда нуктанинг X , Y , Z координаталари ҳам ўзгаради, Бундан кўринадики, нуктанинг исталган вақтда фазодаги ўрнини, координаталари ёки \vec{r} вектори орқали ифодалаш мумкин экан.

Нуктанинг фазодаги ўрнини тўла равишда аниқлашга имкон берувчи бундай вектор радиус-вектор деб аталади.

Ҳаракат қилаётган жисмнинг берилган вақт оралиғидаги ҳаракат траекторияси деганда, шу оралиқдаги вақтнинг ҳар қандай қийматларида кузатилаётган жисмнинг фазодаги ўринларини ифодаловчи нукталарнинг ўзаро қўшилишидан иборат бўлган чизикни тушунилади.

Тезлик. Моддий нуктанинг тўғри чизикли ҳаракати.

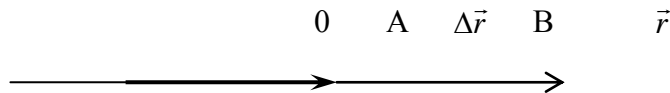
Моддий нукта тенг вақтлар оралиғида тенг масофаларни босиб ўтса, бундай ҳаракат текис ҳаракат дейилади. Қуйида фақат тўғри чизикли текис ҳаракат ҳақида мулоҳаза юритамиз. Моддий нуктанинг ҳаракати қандай жадаллик билан содир бўлаётганлигини тавсифлаш учун тезлик деган тушунча киритилади. Тезлик - сон жиҳатдан вақт бирлиги давомида босиб ўтилган йўлга тенг бўлган катталиқдир. Моддий нукта Δt вақт оралиғида ΔS йўлни босиб ўтса текис ҳаракатдаги тезлик сон жиҳатдан қуйидагича тенг бўлади:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (1)$$

Бирор t вақт давомида моддий нукта текис ҳаракат қилиб S йўлни босиб ўтса, тезлик қуйидагича ифодаланади.

$$v = \frac{S}{t} \quad (2)$$

Моддий нуктанинг қандай тезлик билан ҳаракат қилишини билишдан ташқари, у санок тизимига нисбатан қайси йўналишда кетаётганини ҳам билиш зарур. Демак, тезлик йўналишга ҳам эга бўлган катталиқдир, яъни у вектор катталиқдир. Ҳаракат тўғри чизикли бўлганлиги туфайли моддий нукта \vec{r} радиус-вектор бўйлаб ҳаракат қилаяпти, деб қараш мумкин.



Санок бошини 0 нуктада оламир. Айтайлик, кузатишнинг дастлабки пайтида моддий нукта А нуктада бўлсин ва Δt вақт давомида у текис ҳаракат қилиб В нуктага келсин. Сон жиҳатдан АВ кесмага тенг бўлган ва А дан В га томон йўналган $\Delta \vec{r}$ вектор кўчишни ифодалайди. У ҳолда моддий нуктанинг текис ҳаракатдаги тезлиги қуйидагича тенг бўлади.

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \quad (3)$$

Агар моддий нуктанинг ҳаракати давомида унинг тезлиги ўзгариб турса ўртача тезлик деган тушунча киритилади.

Масалан: поезд бир шаҳардан иккинчи шаҳарга боришда йўлни бир қисмини 20 м/с, иккинчи қисмини 30 м/с, учинчи қисмини эса 25 м/с тезлик билан босиб ўтган бўлса, унинг ўртача тезлиги сон жиҳатдан икки шаҳар орасидаги масофанинг шу масофани босиб ўтиши учун кетган вақтга нисбатига тенг бўлади. Шундай қилиб, *ўртача тезлик деб кўчиш вектори $\Delta \vec{r}$ нинг шу кўчиш содир бўлиши учун кетган вақтга нисбати билан ифодаланадиган вектор катталиққа айтилади:*

$$\vec{v}_y = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \quad (4)$$

Бу ифода Δt нинг ҳар қандай қиймати учун ($t=0$ бўлган ҳолдан ташқари) тўғридир. Бу тўғри чизикли ҳаракатда (4) формуладаги $\Delta \vec{r}$ кўчиш сон жиҳатдан босиб ўтилган йўлга тенгдир. Шунинг учун бу ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$v_y = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad \text{ёки} \quad v_y = \frac{S}{t}$$

Моддий нуктанинг тезлиги ўзгариб турса, одатда оний тезлик деган тушунча киритилади. *Оний тезлик вақт оралиғи чексиз кичик олинганда ўртача тезликнинг муайян*

t пайтидаги қийматиға тенг бўлади, яъни оний тезлик Δt нолга интилганда (4) ифода интиладиган қуйидаги лимитга тенг.

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \dot{\vec{r}} \quad (5)$$

бу ерда $\dot{\vec{r}}$ радиус-вектор \vec{r} дан вақт бўйича олинган биринчи тартибли ҳосила белгисининг қисқача ёзилишидир. Демак, *моддий нуқтанинг оний тезлиги (муайян пайтдаги тезлиги) радиус-вектордан вақт бўйича олинган биринчи тартибли ҳосилаға тенг*. \vec{v} векторнинг йўналиши \vec{r} нинг йўналиши билан бир хил бўлади. (5) формула кенг қамровли маъноға эға бўлиб, у эгри чизиқли ҳаракат учун ҳам қўлланилади. Шунинг учун уни оний тезлик ёки ҳақиқий тезлик деб ҳам аталади.

Тўғри чизиқли ҳаракатда $d\vec{r}$ векторнинг модули босиб ўтилган йўлга тенг бўлганлиги туфайли (5) ни қуйидагича ёзиш мумкин.

$$v = \frac{dS}{dt} = \dot{S} \quad (6)$$

яъни тезликнинг модули йўлдан вақт бўйича олинган биринчи даражали ҳосилаға тенгдир.

Тезланиш. Агар жисмнинг тезлиги вақт бўйича ўзгараётган бўлса, у ҳолда у тезлашяпти деймиз. Тезлигини нолдан 80 км/соат гача орттираётган автомобил тезланиш билан ҳаракат қилган бўлади. Агар бошқа автомобил шундай тезликка камрок вақтда эришса, у ҳолда бу автомобил катта тезланишға эға бўлган бўлади. Умуман айтганда, $\Delta t = t_2 - t_1$ вақтда $\Delta v = v_2 - v_1$ га ўзгаргандаги ўртача тезланиш \bar{a}

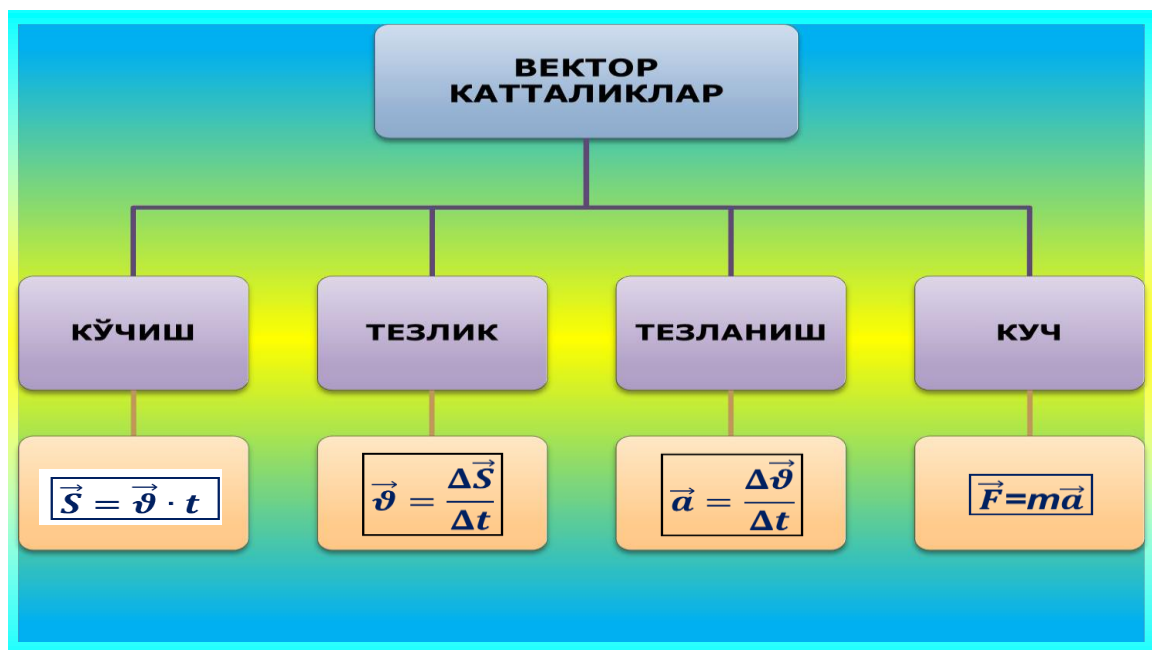
$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \quad (1.2)$$

кўринишда аниқланади.

Оний тезланиш таърифға кўра $\Delta t \rightarrow 0$ даги ўртача тезланишға тенг:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}, \quad (1.3)$$

Бу $\frac{dv}{dt}$ ифода v дан t бўйича олинган ҳосила дейилади. Шу миқдорнинг оний қийматини тезланиш деб атаймиз. Ўртача тезлик ҳақида гапирганимизда, биз ҳар доим «ўртача» сўзини қўшиб ишлатамиз.



ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Кинематика, моддий нукта, радиус вектор, траектория, текис ҳаракат, тезлик, ўртача тезлик, тезланиш, бурчак, радиан, бурилиш бурчаги, айланма ҳаракат, айланиш даври, айланиш частотаси, чизиқли тезлик, бурчак тезлик, бурчак тезланиш.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Моддий нуктага таъриф беринг.
2. Санок системаси деб нимага айтилади.
3. Траектория, кўчиш ва йўл деб нимага айтилади.
4. Тезлик қандай физик катталиқ.
5. Тезланишни тушинтиринг.
6. Тезлик ва тезланиш бирликлари қандай аниқланади.
7. Силжиш масофаси ва радиус вектор ўзгариши қандай.
8. Бир автомобил шарққа қараб 40 км/соат, иккинчи автомобил шимолга қараб 40 км/соат тезлик билан ҳаракатланмоқда. Уларнинг тезликлари бир хилми? Тушинтиринг.
9. Агар автомобилнинг спидометри доимий 60 км/соат тезликни кўрсатса, уни тезланиш билан ҳаракат қиляпти деб тушинтириш мумкинми?
10. Икки вектор узунликлари ҳар хил бўлиб, уларни қўшишда натижавий вектор нольга тенг бўлиши мумкинми?
11. Бирламчи векторларнинг ўлчов бирлиги қандай?
13. Автомобилнинг йўл ўлчагичи (путметр) скаляр ёки вектор катталиқни ўлчайдими? Спидометр нимани ўлчайди?
14. Узунликка сакрашда спортчи қандай факторларни эътиборга олиш керак? Баланшликка сакрагандачи?⁴

Амалий машғулот

1-мавзу. Кинематика. Илгарланма ҳаракатда
тезлик ва тезланиш

1. Фараз қилайлик 90 км/соат тезлик билан ҳаракатланаётган автомобилда 2 секунд йўлга қарамасдан атрофга қарадингиз, бу вақт ичида автомобиль қанча масофага кетиб қолади?

⁴ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, Prentice Hall, 2004 USA. 51-58 бетлар

2. Қуш 28 км/соат тезлик билан учмоқда, 100 км масофани босиб ўтиши учун унга қанча вақт талаб қилинади?
3. Жисм 10,5 минут вақт чегарасида, узунлиги 400 м бўлган стадионнинг 8 та тўлиқ айланишни югуриб ўтади: а) ўртача йўл тезлигини ва б) кўчиш ўртача тезлигини ҳисобланг?
4. Автомобиль 90 км/соат тезлик билан ҳаракатланиб, унга нисбатан ҳаракат йўналишида ҳаракатланаётган узунлиги 1,10км бўлган поездни қувиб етади. Поезднинг тезлиги 70км/соат бўлса, автомобиль уни қувиб етиши учун қанча вақт талаб қилинади. Агар улар бир-бирига нисбатан қарама-қарши йўналишда ҳаракатланаётган бўлса, шу вақт ичида улар орасидаги масофа қанча бўлади?
5. Параллель бўлган йўлнинг 2 тарафидан 2 автомобиль бир бирига яқинлашмоқда ҳар бири ерга нисбатан 90км/соат тезлика эга. Агар дастлаб улар орасидаги масофа 8.5км бўлган бўлса, автомобиллар бир-бирининг ёнидан қанча вақтда ўтади?
6. 90км/соат ҳаракатланаётган автомобиль 50км/соат тезлик билан ҳаракатланаётган тракторнинг орқасида 100м масофада кетмоқда. Автомобилга тракторни қувиб ўтишига қанча вақт талаб қилинади?
7. Самолёт 2200км масофани 1000км/соат тезлик билан учиб ўтди, кейин унга қарши йўналишда шамол эсади ва кейинги 1750км масофани камайган тезлиги 850км/соат билан босиб ўтди. Бу учирда самолёт қандай ўртача тезлик билан босиб ўтади?
8. 6,6 секундда автомобиль ўз тезлигини тинчлигига нисбатан 100км/соат тезликка ўзгартиради. Тезланишни топинг ?
9. Автомобиль катта тезлик билан ҳаракатланиб, 3.2 м/с^2 тезланишга эришди қандай вақтда унинг тезлиги 85дан 100км/соатга ортади?
10. Жисмнинг ҳолати x (метрларда) $x = At + 4Bt^3$ кўринишда берилган а) тезланишнинг вақтга боғлиқлигини топинг б) жисмнинг 5 секундаги тезлик ва тезланиши қандай?
11. $t=0$ вақт лаҳзасида космик кема 55м/с тезликка эришади у, $t=10$ с вақт лаҳзасида тезлашади ва 162м/с тезликка эришади. $t=2$ с дан $t=6$ с вақт орасида қандай масофани учиб ўтади?
12. Бошланғич тезлиги 60 км/соат бўлган автомобилнинг тормозланиш йўли графигини тузинг? Ҳайдовчининг таъсир вақти $t=0.8$ с га тенг а) -4м/с^2 б) $A=-7\text{м/с}^2$?
13. Тош h -баландликдан ташланди ва 4.2с дан кейин ерга урилди. Тош ташланган жойнинг баландлиги қанча?
14. Бейсбол тўпи 18м/с тезлик билан вертикал отилди а) қандай баландликка кўтарилади; б) тўпнинг ерга қайтиш вақти қанча?
15. Баланд бино тоmidан олдин, битта тош бир с дан кейин, бошқа тош ташланди. Қайси тошнинг тезлиги 23м/с га тенг бўлганда улар бир бирига нисбатан қандай масофада бўлади?
16. Вертолёт 8 м/с тезлик билан вертикал учмоқда. Ердан 120 м баландликда вертолёт ойнасидан тош ташлади. Қанча вақтдан кейин у ерга тушади?

ЭГРИ ЧИЗИҚЛИ ҲАРАКАТ

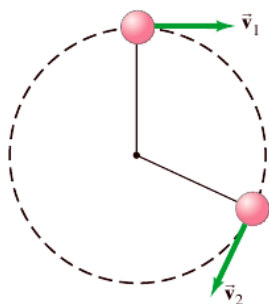
Режа

1. Айлана бўйлаб текис ҳаракатда бурчак тезлик ва бурчак тезланиш
2. Эгри чизиқли ҳаракатда нормал ва тангенциал тезланиш.
3. Чизиқли ва айланма ҳаракатни ифодаловчи физик катталиклар орасидаги боғланиш.

Айлана бўйлаб текис ҳаракат кинематикаси

Айлана бўйлаб доимий v тезлик билан ҳаракатланаётган жисм ҳаракатига **айлана бўйлаб текис ҳаракат** дейилади. Бунда тезликнинг қиймати ўзгармас қолади, аммо жисмнинг айлана бўйлаб ҳаракати давомида тезлик векторининг йўналиши узликсиз ўзгариб туради (2.1–расм). Тезланиш тезликнинг ўзгариш тезлиги сифатида аниқлангани учун, тезликнинг йўналиши ўзгариш, худди сон қийматининг ўзгариши каби тезланиш ҳосил қилади¹. Шундай қилиб жисм айлана бўйлаб ҳаракатланганда узлуксиз тезлашади, ҳаттоки телик ўзгармас қолса ҳам (5.1–расмда $v_1=v_2=v$). Энди биз тезланишни миқдор жиҳатидан ўрганамиз.

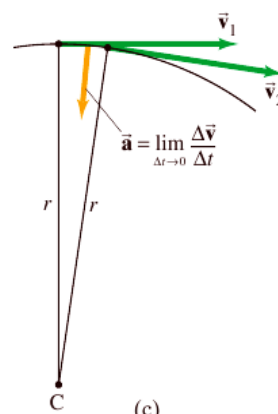
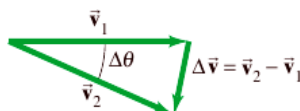
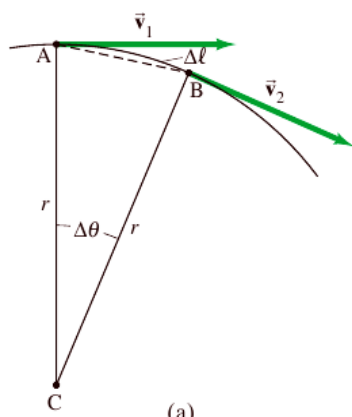
Тезланиш қуйидагича аниқланади⁵



2.1 – расм. Айлана бўйлаб ҳаракат қилаётган жисм ҳаракати.

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t},$$

Бу ерда, $\Delta \vec{v}$ – қисқа Δt вақт оралиғидаги тезлик векторининг ўзгариши. Биз Δt нолга интилган ҳолатни кўрамиз, ва шундай қилиб оний тезланишни оламиз. Бирог манзарани ойдинлаштириш учун, 2.2–расм, биз нолдан фарқли вақт оралиғини кўраб чиқамиз. Δt вақт оралиғида 2.2а–расмдаги заррача A нуқтадан B нуқтага қараб ҳаракатланиб, $\Delta \theta$ бурчакни торттиб турган ёй бўйлаб Δl масофани ўтади. Тезлик векторининг ўзгариши $\vec{v}_2 - \vec{v}_1 = \Delta \vec{v}$ гат энг ва 2.2б–расмда кўрсатилган (аҳамият беринг $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \Delta \vec{v}$).



2.2 –расм. Айлана бўйлаб ҳаракат қилаётган зарранинг тезлиги Δv ни аниқлаш.

⁵ Douglas

Энди биз Δt ни кичиллаштирамиз ва нолга интилтирамиз. У ҳолда Δl ва $\Delta \theta$ лар ҳам жуда кичик бўлади ва \vec{v}_2 вектор \vec{v}_1 векторга деярли параллел бўлиб қолади, 2.2с–расм. $\Delta \vec{v}$ вектор эса уларга перпендикуляр бўлиб қолади. Шундай қилиб $\Delta \vec{v}$ вектор айлана маркази томонга йўналади. Тарифга кўра \vec{a} вектор худди $\Delta \vec{v}$ вектор каби йўналган бўлади (юқоридаги тенгламага асосан), яъни у ҳам айлананинг маркази томон йўналиши шарт. Бинобарин бу тезланиш **марказга интилма тезланиш** (“марказга йўналган” тезланиш) ёки **нормал тезланиш** (чунки у радиус бўлаб марказга йўналган) дейилади ва биз уни \vec{a}_n билаб белгилаймиз.¹

Йўналишни аниқлаб бўлганимиздан сўнг, кейинги босқичда нормал (марказга интилма) тезланиш \vec{a}_n нинг қийматини аниқлаймиз. 2.2а–расмдаги CA чизик \vec{v}_1 га перпендикуляр ва CB чизик \vec{v}_2 га перпендикуляр бўлгани учун, CA ва CB чизиклар лар орасидаги бурчак $\Delta \theta$ \vec{v}_1 ва \vec{v}_2 векторлар орасидаги бурчакка тенг бўлади. Бундан \vec{v}_1 , \vec{v}_2 ва $\Delta \vec{v}$ векторлардан ҳосил бўлган учбурчак 2.2а–расмдаги ABC учбурчакка ўхшаш бўлади. Агар биз $\Delta \theta$ бурчакни жуда кичик қилиб олсак (Δt нинг кичик бўлишига ҳаракат қиламиз) ва $v_1=v_2=v$ деб оламиз, чунки тезликнинг қиймати ўзгармайди. У ҳолда қуйидагини ёзишимиз мумкин⁶

$$\frac{\Delta v}{v} \approx \frac{\Delta l}{r}.$$

Δt нолга яқинлашганда бу ифода аниқ тенгликка айланади, у ҳолда Δl ёйнинг узунлиги AB ватар узунлигига тенг бўлади. Биз оний тезланишни топмоқчимиз, шунинг учун Δt ни нолга интилтирамиз, юқоридаги ифодани тенглик қилиб ёзиб, сўнгра Δv ни топамиз

$$\Delta v = \frac{v}{r} \Delta l. \quad [\Delta t \rightarrow 0]$$

Марказга интилма тезланишни a_n олиш учун Δv ни Δt га бўламиз

$$a_n = \Delta v / \Delta t = \frac{v}{r} \frac{\Delta l}{\Delta t}. \quad [\Delta t \rightarrow 0]$$

Бироқ $\Delta l / \Delta t$ жисмнинг чизикли тезлиги v дир, у ҳолда нормал (марказга интилма) тезланиш

$$a_n = v^2 / r. \quad [\text{нормал (марказга интилма) тезланиш}] \quad (2.1)$$

[(2.1) формула айланма ҳаракатдаги ихтиёрий вақт моментида, ҳаттоки v тезлик доимий катталиқ бўлмаганда ҳам ўринлидир].

Хулоса қилиб айтганда, n радиусли айлана бўйлаб ўзгармас v тезлик билан ҳаракат қилаётган жисм марказга томон йўналган ва қиймати $a_n = v^2 / r$ ифодадан аниқланадиган тезланишга эга. Бу тезланишнинг v ва r га боғланиши ажабланарли эмас. Тезлик v қанча катта бўлса, тезлик вектори йўналишини шунчалик тез ўзгартиради.

Нуктанинг тезланиш вектори v доимий бўлганда айлана маркази томон йўналган бўлади. Бироқ теллик вектори ҳар доим ҳаракат йўналишида бўлиб, айланага уринма бўйлаб йўналган бўлади. Шундай қилиб айлана бўйлаб текис ҳаракатда тезлик ва тезланиш векторлари айлананинг барча нуктасида ўзаро перпендикуляр бўлади. Бу тезлик ва тезланиш ҳар доим бир хил йўналган деган фикрни ҳатолигини кўрсатувчи яна бир мисолдир. Вертикал эркин тушувчи жисмлар учун \vec{a} ва \vec{v} лар ҳақиқатда параллелдир. Бироқ айлана бўйлаб текис ҳаракатда \vec{a} ва \vec{v} лар перпендикуляр бўлади, параллел эмас.

Айланма ҳаракат кўпинча **частота** ν – бирлик вақт ичидаги айланишлар сони каби катталиқ билан ифодаланади. Жисмнинг айлана бўйлаб ҳаракатланиш **даври** T – битта тўлиқ айланиш учун кетган вақтдир. Давр ва частота ўзаро қуйидагича боғланган

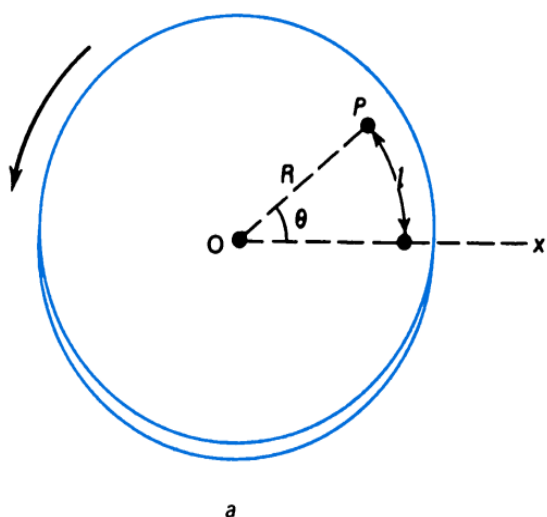
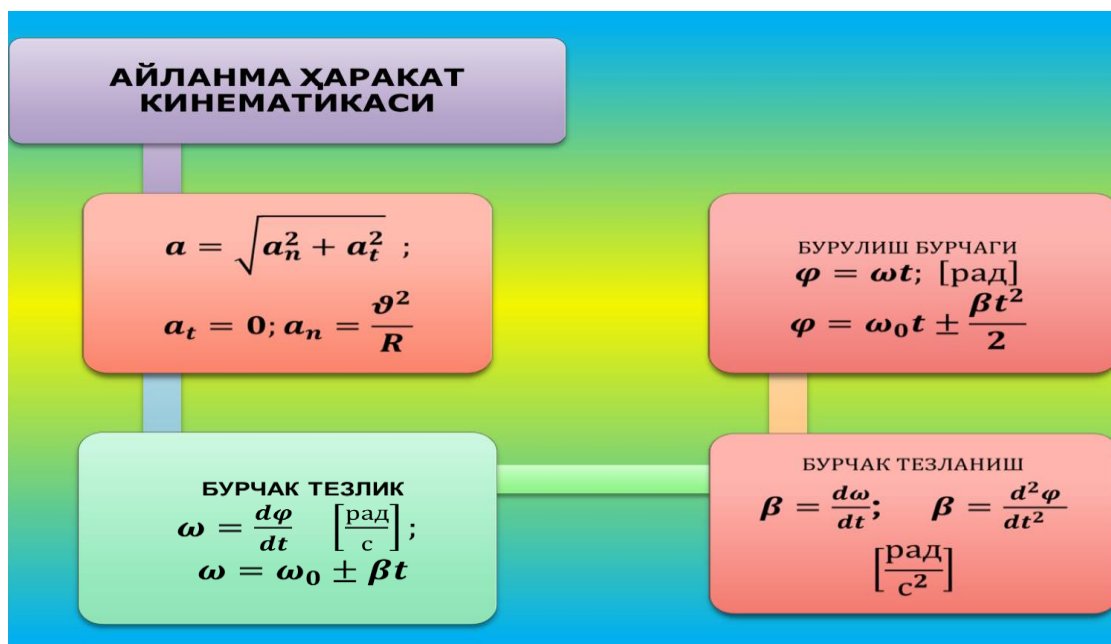
$$T = 1 / \nu. \quad (2.2)$$

⁶ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, Prentice Hall, 2004 USA. 102-103

Масалан, агар жисм 3 айл/с частота билан айланаётган бўлса, у ҳолда ҳар бир айланиш (=айл) 1/3 с га тенг. Жисм айлана бўйлаб (айлана узунлиги $2\pi r$) ўзгармас v тезлик билан ҳаракатлананиб бир айланишда $2\pi r$ масофа отса, унинг вақти T бўлади. У ҳолда

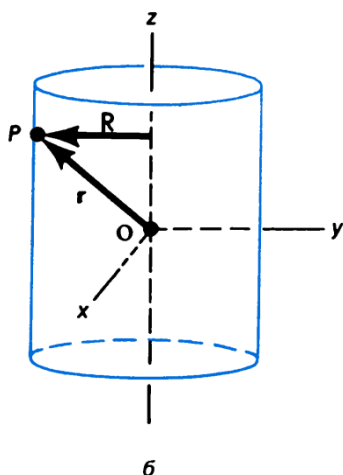
$$v = \frac{2\pi r}{T} \text{ бўлади.}$$

Қўзғалмас ўқ атрофида айланма ҳаракат қилаётган жисмнинг ҳар бир зарраси радиуси R бўлган айлана бўйлаб ҳаракатланади. Айланиш ўқидан жисмнинг ихтиёрий нуқтасига ўтказилган тўғри чизик бир хил вақтда бир хил θ бурчакка оғади. Жисмнинг вазиятини ёки маълум бир вақт оралиғидаги бурилиш бурчагини аниқлаш учун, ҳар бир чизик учун бирор бир таянч нуқтаси x дан фойдаланамиз (2.3 - расм, а).⁷



2.3-расм. a – марказидан ўтган ўққа нисбатан соат стрелкасига қарши айланаётган ғилдиракнинг юқоридан кўриниши

⁷ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, 2004 USA.104 бет



2.4- расм. θ – z ўқи атрафида айланаётган цилиндр ён сиртидаги P нуқтадаги r ва R радиуслар орасидаги фарқ.

Бурчак градусларда ўлчанади, лекин айланма ҳаракатни характерловчи математик ифодаларда бурчакни радианларда ўлчаш мақсадга мувофиқ бўлади. Бир радиан (рад) айлана узунлиги радиусига тенг бўлган ёйни ажратадиган икки радиус орасидаги бурчакка айтилади

(Масалан, 1 - расм, а. P заррача айланиш ўқидан R масофада ва айлана ёйи бўйлаб l масофани ўтади; агар $l = R$ бўлса, бурчак θ 1 рад га тенг бўлади) Умумий ҳолда ихтиёрий θ бурчак қуйидаги ифода билан аниқланади (радианларда)

$$\theta = l/R, \quad (2.3)$$

Бурчак тезлик

Бурчак тезлик худди чизиқли тезлик каби аниқланади, фақат кўчиш ўрнига бурилиш бурчагидан фойдаланилади. θ_1 ва θ_2 – бурчаклар жисмнинг t_1 ва t_2 вақт моментидаги вазияти бўлсин. У ҳолда бурчак тезликининг катталиги (бурчак тезлик ω (омега) ҳарфи билан белгиланади) қуйидагича аниқланади

$$\bar{\omega} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}, \quad (2.4)$$

Бу ерда $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ – жисмнинг $\Delta t = t_2 - t_1$ вақт оралиғидаги босиб ўтган йўли. $\Delta t \rightarrow 0$ да оний бурчак тезлик катталигини қуйидаги ифода орқали аниқланади:

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}. \quad (2.5)$$

Бурчак тезлик одатда радиан тақсим секунд (рад/с) ларда ўлчанади. Айтиш керакки, жисмнинг барча нуқталари бир хил бурчак тезлик билан айланади. Бундан кўринадики, жисмнинг барча нуқталари бир хил вақт оралиғида бир хил бурчакка бурилади.

Бурчак тезланиш

Бурчак тезланиш чизиқли тезланиш каби бурчак тезликининг ўзгаришини шу ўзгариш содир бўлган вақтга нисбати билан аниқланади. $\omega_1 - \omega_2$ – катталик $\Delta t = t_2 - t_1$ вақт бирлиги ичидаги оний бурчак тезлик бўлсин. У ҳолда бурчак тезликининг ўртача қиймати (бурчак тезланиш α (альфа) ҳарфи билан белгиланади) қуйидаги ифода орқали аниқланади

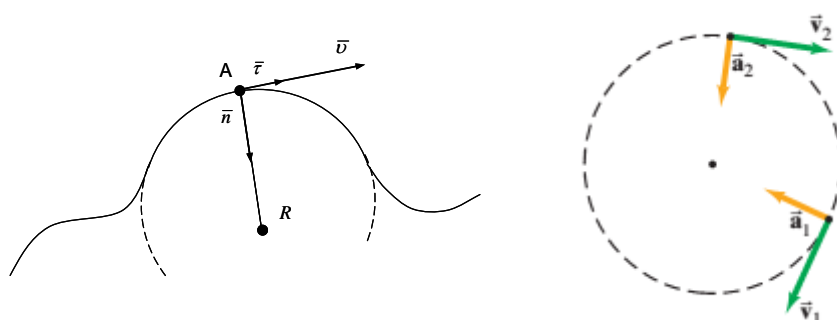
$$\bar{\alpha} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}. \quad (2.6)$$

Чизиқли ва бурчак катталиклар орасидаги боғланиш

Айланма ҳаракат қилаётган қаттиқ жисмнинг ҳар бир зарраси ёки нуқтаси ихтиёрий вақт моментида чизиқли ва бурчак тезликка эга бўлади. Ихтиёрий зарра учун бурчак ва чизиқли катталиклар боғлиқлигини кўрсатиш мумкин. Айланиш ўқидан R масофада жойлашган зарра учун боғланишни қараймиз. Агар жисм ω бурчак тезлик билан айланаётган бўлса, жисмнинг ихтиёрий заррасининг чизиқли тезлиги айланиш траекториясига уринма бўлиб йўналган бўлади. Чизиқли тезлик катталигини (1) ифода орқали аниқлаш мумкин:

Моддий нуқтанинг ҳаракат траекторияси эгри чизиқдан иборат бўлган умумий ҳолни кўриб чиқайлик. Траекторияда ихтиёрий равишда бирор A нуқтани танлаб (2.5-расм), шу нуқтаорқали эгрилик доирасини ўтказайлик.

Эгрилик доирасининг R радиуси эгри чизиқли траекториянинг берилган A нуқтадаги эгрилик радиуси бўлсин. A нуқтадан чиқувчи иккита бирлик векторини танлайлик: улардан бири траекторияга уринма равишда ва иккинчиси \vec{n} эгрилик радиуси бўйлаб йўналган бўлсин.



2.5 – расм

Тезлик вектори ҳамма вақт траекторияга ўтказилган уринма бўйича йўналганлигини эътиборга олиб қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\vec{v} = v \vec{\tau} \quad (2.6)$$

Нормал ва тангенциал тезланишлар. A нуқта моддий нуқта деб қаралиши мумкин бўлган жисмнинг бирор вақт фазодаги ўрнини кўрсатади. Вақт ўтиб бориши билан A нуқта траектория бўйлаб кўча бошлайди ва шунга мос равишда \vec{r} векториинг йўналиши ҳам ўзгариб боради. Буни эътиборга олган ҳолда

$$\vec{a} = \frac{d(v \cdot \vec{\tau})}{dt} = \vec{\tau} \frac{dv}{dt} + v \frac{d\vec{\tau}}{dt} \quad (2.7)$$

(2.7) формуладан кўринадик, тезланиш вектори иккита ташкил этувчининг йиғиндисидан иборат экан: биринчиси (биринчи ҳад) траекторияга ўтказилган уринма бўйича йўналган тезликнинг сон қиймати бўйича ўзгаришини характерловчи тезланиш ва иккинчиси ҳамма вақт тезлик векторига тик бўлиб, эгрилик марказига қараб йўналган тезликнинг шу йўналиш бўйича ўзгаришини характерловчи тезланиш. Шунинг учун тезланиш векторининг бу ташкил этувчиларини мос равишда уринма (тангенциал) тезланиш \vec{a}_t ва

марказга интилма (нормал) тезланиш \bar{a}_n деб аталади. (2.7) ни қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\bar{a} = \bar{a}_t + \bar{a}_n \quad (2.7)$$

Осонлик билан кўрсатиш мумкинки, тезланиш векторининг тангенциал ва нормал ташкил этувчиларининг модуллари қуйидагича аниқланади:

$$a_\tau = \frac{d\vartheta}{dt} \quad \text{ва} \quad a_n = \frac{\vartheta^2}{R} \quad (2.8)$$

**ИЛГАРИЛАНМА ВА АЙЛАНМА ҲАРАКАТ КАТТАЛИКЛАРИ
ОРАСИДАГИ БОҒЛАНИШЛАР**

ИЛГАРИЛАНМА ҲАРАКАТ		АЙЛАНМА ҲАРАКАТ
$S = \vartheta t$	$S = \vartheta_0 t \pm \frac{at^2}{2}$ $\varphi = \omega t \pm \frac{\beta t^2}{2}$	$\varphi = \omega t$
$\vartheta = \frac{dS}{dt}$		$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$
$a = \frac{d\vartheta}{dt}$		$\beta = \frac{d\omega}{dt}$
	$S = R\varphi$	$a_n = \omega^2 R$
	$\vartheta = \omega R$	$a_t = \beta R$

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Кинематика, моддий нуқта, радиус вектор, траектория, текис ҳаракат, тезлик, ўртача тезлик, тезланиш, бурчак, радиан, бурилиш бурчаги, айланма ҳаракат, айланиш даври, айланиш частотаси, чизиқли тезлик, бурчак тезлик, бурчак тезланиш.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Текис айланма ҳаракат деб қандай ҳаракатга айтилади.
2. Текис ўзгарувчан ҳаракат деганда нимани тушинасиз.
3. Бурчак тезлиги деб нимага айтилади.
4. Бурчак тезланиши қандай аниқланади.
5. Чизиқли тезлик ва бурчак тезлиги орасида қандай боғланиш бор.
6. Чизиқли тезлик ва бурчак тезланиш вектори қандай аниқланади.
7. Снаряд ўзининг учиб траекториясининг қайси қисмида энг кичик минимал тезликка эга бўлади?
8. Автомобиль 50 км/соат доимий тезлик билан бурилиш ясайди. Агар автомобиль 70 км/соат доимий тезлик билан шундай бурилиш ясаса, унинг тезланиши фарқ қиладими?

9.Бейсбол ўйинида шуғилланаётган уйинчи коптокни жуда юқорига отади, кейин тўғри чопиб уни тутади?Коптокнинг ёки ўйинчининг траекторияси каттами?

Амалий машғулот

2-мавзу. Кинематика. Эгри чизиқли ҳаракат.

Бурчак тезлик ва бурчак тезланиш

1. Эйфель минораси 300 м баландликка эга. Сиз Париждасиз. Агар сиз турган жойдан Эйфель минораси 5° бурчак остида кўринса, сиз ундан қандай масофада турибсиз?

2. Велосипедчи ғилдирак диаметри 60 см га тенг велосипедда 2 км масофани босиб ўтди. Бунда велосипед ғилдираги нечта айланиш қилади?

3. Ернинг бурчак тезлигини ҳисобланг? А) Унинг куёш атрофидаги орбита бўйлаб ҳаракати учун. Б) Унинг ўз ўқиға нисбатан.

4. Ернинг айланиш ўқиға боғлиқ бўлган нуқтанинг чизиқли тезлиги нимага тенг, агар у а) экваторда бўлса; б) шарқий кенгликка нисбатан 50° бўлса.

5. Автомобиль дивигатели маховиги 6.5 с да ўз айланишини 4500 дан 1000 айл/мин га камайтирди. Ҳисобланг: а) маховикнинг бурчак тезланишини; б)бу вақт ичида маховикнинг тўлиқ айланишлар сонини.

7. Автомобиль маълум бир вақт оралиғида ўз тезлигини 89 дан 55 км/соатга текис камайтирди. Шу вақтда унинг ғилдираги 55 марта айланди. Ғилдирак диаметри 1,0 м га тенг. А) Ғилдиракнинг бурчак тезланиши нимага тенг? б) агар автомобил ўша тезланиш билан секинлаша бошласа, унинг бутунлай тўхташи учун қанча вақт керак бўлади?

8. Массаси 60 кг бўлгантепаликка кўтарилиш давомида ўзининг бутун оғирлиги билан педални босади. У ҳосил қилган куч моменти нимага тенг? Ҳар бир педал айланиш радиуси 18 см бўлган айлана чизади?

9. Одам эни 80 см бўлган эшикка 18 Н куч билан таъсир қилади. Бу кучнинг моменти нимага тенг, агар у: а) Эшикка перпендикуляр, б) Эшик текислигига 60° бурчак остида таъсир қилса.⁸

10. Радиуси $R=0,2$ м бўлган диск $\varphi = 3t + 0,1t^3$ тенгламага мувофиқ айланма ҳаракат қилади. Вақтнинг $t=10$ с пайти учун диск айланасидаги нуқталарнинг тангенциал, нормал ва тўла тезланишларини аниқланг.

11. Радиуси $R=0,1$ м ғилдирак $\varepsilon = 3,14 \text{ рад/с}^2$ ўзгармас бурчак тезланиш билан айланади. Ҳаракат бошланишидан кейинги биринчи секунднинг охирида ғилдирак гардишидаги нуқталарнинг 1) бурчак тезлиги, 2) чизиқли тезлиги, 3) тангенциал тезланиши, 4) нормал тезланиши, 5) тўла тезланиши ва 6) тўла тезланиш билан ғилдирак радиуси орасидаги бурчак топилсин.

12. Нуқта $R=2$ см радиусли айлана бўйлаб ҳаракатланади. Ўйлнинг вақтга боғланиши $x = Ct^3$ тенглама орқали берилган, бунда $C=0,1 \text{ м/с}^3$. Тезлиги $v=0,3 \text{ м/с}$ га тенг бўлганда нуқтанинг нормал ва тангенциал тезланиши топилсин.

13. Нуқта айлана бўйлаб шундай ҳаракатланадики,ўйлнинг вақтга боғланиши $S=A+Bt + Ct^2$ тенглама орқали берилган, бунда $B = -2 \text{ м/с}$, ва $C=1 \text{ м/с}^2$. Агар ҳаракат бошланишидан $t' = 2 \text{ с}$ ўтгач нуқтанинг нормал тезланиши $a_n = 0,5 \text{ м/с}^2$ га тенг бўлса, ҳаракат бошланишидан $t = 3 \text{ с}$ ўтгандан кейин нуқтанинг чизиқли тезлиги, унинг тангенциал, нормал ва тўла тезланиши топилсин.

⁸ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, Prentice Hall; 6th edition January 17, 2004 USA

ЛАБОРАТОРИЯ ИШИ

АЙЛАНМА ҲАРАКАТ ҚОНУНЛАРИНИ ОБЕРБЕК МАЯТНИГИ ЁРДАМИДА

ҚАТТИҚ ЖИСМНИНГ ИНЕРЦИЯ МОМЕНТИНИ АНИҚЛАШ

Ишнинг мақсади: маълум геометрик шаклга эга бўлган қаттиқ жисмнинг инерция моменти Обербек таклиф этган усул билан аниқлашдан иборат.

Керакли асбоб ва буюмлар: Обербек маятниги, массаси 100 гр дан бўлган тўртта тош, секундомер, штангенциркуль.

НАЗАРИЙ КИСМ

Траекторияси айланадан иборат бўлган ҳаракатга **айланма ҳаракат** дейилади.

Моддий нуктанинг айланма ҳаракатини чизиқли тезлик ва чизиқли тезланишдан ташқари, бурчак тезлик ва бурчак тезланиш билан характерлаш мумкин.

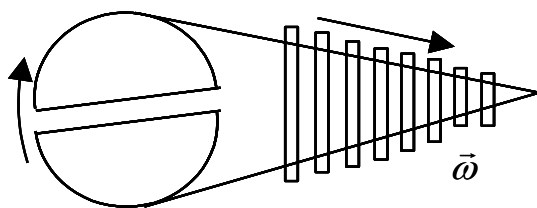
Вақт бирлиги давомидаги бурилиш бурчагига тенг бўлган катталиikka **бурчак тезлик** дейилади.

Агар қаттиқ жисм Δt вақт ичида $\Delta\varphi$ бурчакка бурилса, у ҳолда бурчак тезлик ω қуйидаги формуладан аниқланади:

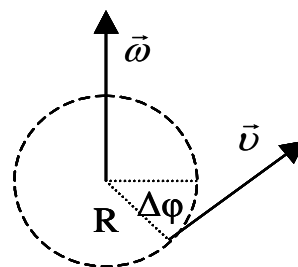
$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} \quad (1)$$

Демак, бурчак тезлик бурилиш бурчагидан вақт бўйича олинган биринчи тартибли ҳосилага тенг экан.

Бурчак тезлик вектор катталиик бўлиб, унинг йўналишини "ўнг винт" қоидаси бўйича аниқлаш мумкин (2-расм).



2 - расм



3 - расм

Винтнинг айланиш йўналиши моддий нукта айланма ҳаракатининг йўналишини ифодаласа, ўқнинг илгариланма ҳаракати бурчак тезлик йўналишини кўрсатади.

Айлана ёй узунлиги билан марказий бурчак ва айлана радиуси орасидаги боғланиш $\Delta S = R\Delta\varphi$ эканини ҳисобга олсак, чизиқли тезлик билан бурчак тезлик орасидаги боғланиш келиб чиқади:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta S}{\Delta t} \right) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{R\Delta\varphi}{\Delta t} \right) = R \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \right) = R\omega \quad (2)$$

Тезлик вектор катталиқ бўлгани учун (2) ифода вектор шаклида қуйидагича ёзилади:

$$\vec{v} = [\vec{\omega} \cdot \vec{R}] \quad (3)$$

Демак, чизикли тезлик вектори бурчак тезлик вектори билан радиус векторининг кўпайтмасига тенг экан.

Ўнг винт қондасига кўра, бу уч вектор 3-расмда кўрсатилган йўналишларга эга. Агар $\omega = \text{const}$ бўлса, айланма ҳаракат текис бўлади. У ҳолда бурчак тезликни айланиш даври ва частотаси билан ифодалаш мумкин.

Тўлиқ бир марта айланиш учун кетган вақтга *айланиш даври* (T), бирлик вақт оралиғидаги айланишлар сонига *айланиш частотаси* (ν) дейилади: Улар орасидаги

$$\text{боғланиш } T = \frac{1}{\nu} \text{ га тенг.}$$

Агар $\omega \neq \text{const}$ бўлса, ҳаракат нотекис бўлади.

Нотекис айланма ҳаракат бурчак тезланиш деб аталадиган катталиқ билан характерланади.

Бурчакли тезликнинг вақт бирлиги оралиғидаги ўзгаришига *бурчак тезланиш* дейилади.

Агар Δt вақт оралиғида моддий нуқтанинг бурчак тезлиги $\Delta\omega$ қадар ўзгарса, унинг бурчак тезланиши қуйидагича бўлади:

$$\vec{\varepsilon} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta\omega}{\Delta t} \right) = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \quad (4)$$

Бурчак тезланиш бурчак тезликдан вақт бўйича олинган биринчи тартибли ҳосилага тенг.

Нотекис ҳаракатда тезлик вектори миқдори ва йўналиши бўйича ўзгаради. Шунинг учун бу ҳаракатда иштирок этаётган моддий нуқтанинг чизикли тезланишини икки ташкил этувчига ажартилади. (4-расм)

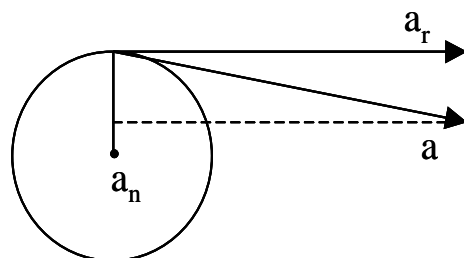
a_t -тезланишнинг тангенциал ташкил этувчиси бўлиб вақт бирлиги оралиғида чизикли тезликнинг миқдорий ўзгаришини қуйидагича характерлайди:

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d(\omega R)}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} = R\varepsilon$$

$$a_t = \varepsilon \cdot R \quad (5)$$

Демак, тангенциал тезланиш бурчак тезланишнинг айлана радиусига бўлган кўпайтмасига тенг экан.

Тезланишнинг нормал ташкил этувчиси эса, тезликнинг йўналиши бўйича ўзгаришини кўрсатади ва қуйидагича аниқланади:



4-расм

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{\omega^2 R^2}{R} = \omega^2 R \quad a_n = \omega^2 R \quad (6)$$

Келтирилган ифодаларни қаттиқ жисм учун умумлаштиришда, уни фикран шундай майда бўлакчаларга бўламизки, уларнинг ҳар бирини моддий нукта деб ҳисоблаш мумкин бўлсин.

Ташқи куч таъсирида қаттиқ жисмни ташкил этувчи элементар бўлакчаларнинг бир-бирларига нисбатан вазиятлари ўзгармаса, яъни деформацияланмаса бундай жисм *абсолют қаттиқ жисм* дейилади.

Қаттиқ жисм айланма ҳаракатда иштирок этганида уни ташкил қилувчи элементар бўлакчаларнинг ҳаракат траекториялари айланалардан иборат бўлади. Бу айланаларнинг марказлари бир тўғри чизикда ётади ва одатда, бу чизик айланиш ўқи дейилади (5-расм).

Жисмни айланма ҳаракатга келтирувчи кучнинг таъсири унинг қўйилиш нуқтасига ва куч йўналишига боғлиқ. Айланиш ўқидан турли масофаларга қўйилган айнан бир куч жисмга турли бурчак тезланиш беради. Шу сабабли қаттиқ жисм айланма ҳаракат динамикасининг тенгламасини келтириб

Келтириб чиқариш учун куч ва масса

5-

расм тушунчаларидан ташқари, *куч моменти* ҳамда *инерция моменти* деган катталиклар киритилади.

Элементар бўлакчаларга қўйилган \vec{F} -кучнинг айланиш марказидан куч қўйилган нуқтага ўтказилган радиус вектор кўпайтмаси **куч моменти** деб аталади. Куч моментининг вектори қўйидаги формуладан аниқланади:

$$\vec{M} = (\vec{r} \cdot \vec{F})$$

Куч моментининг модули

$$M = Fr \sin \alpha = F\ell \quad (7)$$

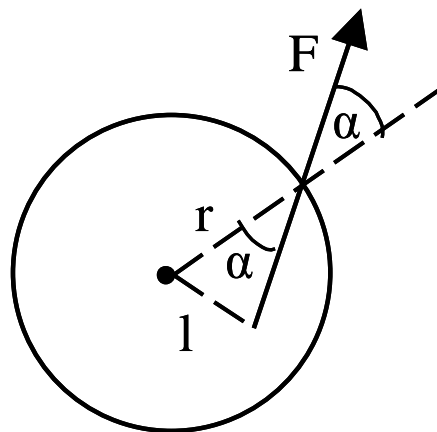
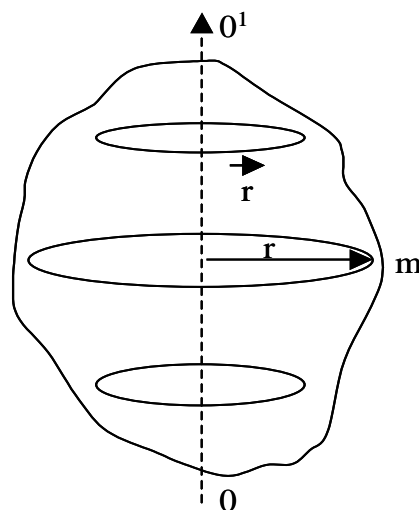
бунда $\ell = r \sin \alpha$ бўлиб, куч йўналишига

6-расм

айланиш марказидан туширилган

перпендикуляр узунлигини ифодалайди ва *куч елкаси* деб юриталиди. Демак, куч моменти қиймат жиҳатидан кучнинг елкага бўлган кўпайтмасига тенг экан. 6-расмда моддий нукта деб қараш мумкин бўлган битта элементар бўлакчанинг айлана бўйлаб ҳаракати тасвирланган. Куч моментининг СИ системасидаги бирлиги Н м бўлади.

Элементар бўлакча массаси (m) билан бу бўлакчадан айланиш марказигача бўлган масофа квадрати (r^2) кўпайтмасига тенг бўлган катталик элементар бўлакчанинг



(моддий нуқтанинг) айланиш марказига нисбатан инерция моменти дейилади ва қуйидагига тенг бўлади.

$$I = mr^2 \quad (8)$$

Қаттиқ жисмни ташкил этувчи элементар бўлакчалар айланиш ўқидан турли масофаларда жойлашган (г-турлича). Бинобарин, (8) формулага асосан элементар бўлакчаларнинг инерция моментлари турлича бўлади. Инерция моменти скаляр катталиқ бўлгани учун бирор қуғалмас ўққа нисбатан жисмнинг инерция моменти, уни ташкил этувчи элементар бўлакчаларнинг шу ўққа нисбатан инерция моментларининг йиғиндисига тенг бўлади.

Агар элементар бўлакчалар массаларини $m_1, m_2, m_3, \dots, m_i$ уларнинг қуғалмас ўққа нисбатан айланиш радиусларини r_1, r_2, \dots, r_i десак, у ҳолда жисмнинг шу ўққа нисбатан

инерция моменти қуйидаги формуладан топилади:

$$I = \sum_{i=1}^n m_i \cdot r_i^2 \quad (9)$$

Айланма ҳаракат қонунларида илгариланма ҳаракатдаги куч ўрнига куч моменти, масса ўрнига инерция моменти қўлланилгани учун илгариланма ҳаракатдаги импульс (P) ўрнига импульс моменти (L) катталиқ киритилади.

У ҳолда илгариланма ҳаракат учун ўринли бўлган $\vec{P} = m\vec{v}$ кўринишдаги импульс ўрнига айланма ҳаракатда $\vec{L} = I\vec{\omega}$ кўринишдаги импульс моменти қўлланилади.

$$\vec{L} = I\vec{\omega} \quad (10)$$

Ньютоннинг $\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt}$ шаклидаги қонунини айланма ҳаракатга тадбиқ этиб, айланма ҳаракатнинг асосий тенгламасини келтириб чиқарамиз. Бунда тенгламадаги \vec{P} векторни \vec{L} билан \vec{F} ни куч моменти \vec{M} билан алмаштирсак, айланма ҳаракат динамикасининг асосий қонуни қуйидагича ёзилади:

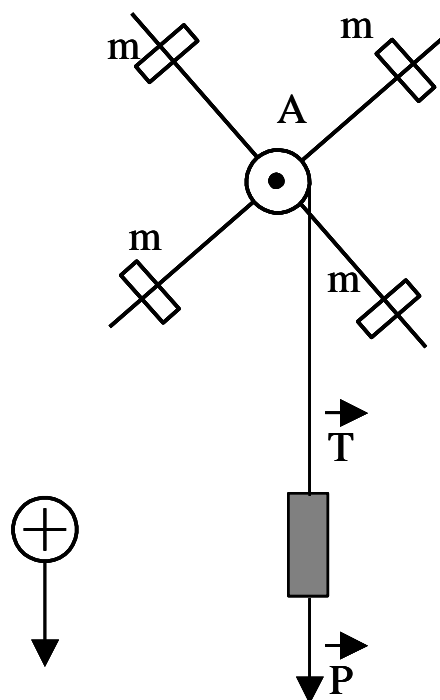
$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d(I\vec{\omega})}{dt} = \frac{Id\vec{\omega}}{dt} = I\vec{\varepsilon} \quad (11)$$

Демак, куч моменти қиймат жиҳатидан инерция моменти билан бурчак тезланиш кўпайтмасига тенг. (11) формулага қаттиқ

7-расм

жисм айланма ҳаракат динамикасининг

асосий тенгламаси дейилади. Қаттиқ жисмнинг шакли мураккаб кўринишга эга бўлган ҳолларда унинг бирор ўққа нисбатан инерция моментини (8) формула ёки ундан келиб чиқувчи бошқа формулалар асосида аниқлаш мушкул ишдир. Шунинг учун бундай ҳолларда уларнинг инерция моментларини турли усуллар билан тажрибада топилади. Ана шу усуллардан бирини қуйидаги ишда кўриб ўтамиз.



Обербек маятниги бир хил массали (m) тошлар ўрнатилган крестовинадан иборат (7-расм). Тошларни айланиш ўқиға нисбатан турли масофада ўрнатиш мумкин. Агар бу юклар айланиш ўқидан бир хил масофада турса, айланиш ўқи крестовинанинг массалар марказидан ўтади. Натижада крестовинаға ташқи куч таъсир этмагунча, у фарқсиз мувозанатли ҳолатини сақлайди. Шкив A га ўралган ипға P юкни осиб, бутун системани ҳаракатға келтириш мумкин. Юкнинг оғирлик кучи таъсирида ип таранглашади. Оғирлик кучи \vec{P} пастға, таранглик кучи \vec{T} юкорига томон йўналган. Бу куч кучларнинг тенг таъсир этувчиси \vec{a} тезланиш беради. Ньютоннинг II қонуниға кўра, ушбу система учун қуйидаги вектор тенглик ўринли:

$$m\vec{a} = \vec{P} + \vec{T} \quad (12)$$

Бу тенгликнинг модулини ёзишда шартли равишда ҳаракатнинг мусбат йўналишини белгилаб оламиз. 8-расмда кўрсатилган йўналишдаги кучларни мусбат десак, тескари йўналишдаги кучлар манфий бўлади. У ҳолда

$$ma = P - T = mg - T \quad (13)$$

Бундан таранглик кучи қуйидагига тенг бўлади:

$$T = mg - ma = m(g - a) \quad (14)$$

Таранглик кучининг акс таъсир этувчиси шкивға қўйилган бўлиб, бу кучнинг айланттирувчи моменти қуйидагига тенг:

$$M = T \cdot r = m(g - a) \cdot r \quad (15)$$

бунда a - осилган юкнинг олган тезланиши, r - шкив радиуси, m - осилган юк массаси.

Юкнинг бошланғич тезлиги нолға тенг. Бинобарин, юкнинг ҳаракати бошланғич тезликсиз текис тезланувчан ҳаракатдан иборат бўлгани учун йўл формуласи қуйидагича бўлади:

$$h = \frac{at^2}{2} \quad (16)$$

Бундан юкнинг олган тезланишини топамиз.

$$a = \frac{2h}{t^2} \quad (17)$$

Ифода (17) ни (15) га қўйсак, крестовинанинг айланттирувчи моменти учун қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$M = m(g - a)r = m\left(g - \frac{2h}{t^2}\right) \quad (18)$$

(17) ифодаға асосан айланма ҳаракат динамик тенгламасини қуйидагича ўзгартириб ёзиш мумкин:

$$M = I\varepsilon = I \frac{a}{r} = I \frac{2h}{rt^2} \quad (19)$$

(16) ва (19) ифодаларни тенглаб, I га нисбатан ечасак, крестовинанинг инерция моменти учун қуйидаги формулани ҳосил қиламиз:

$$I = mr^2 \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right) \quad (20)$$

Ишни бажариш тартиби

1.Крестовинанинг стерженидан юкчалар чиқариб олинади. Штангенциркуль ёрдамида шкив диаметрини ўлчаб, унинг радиуси (r) аниқланади.

2.Крестовинани айлантириб, юк қўйиладиган майдонча юқорига қўтарилади ва полдан қўтарилиш баландлиги (h) ўлчанади.

3.Майдончага 100 г массали юк қўйилади (майдонча массаси ҳам ҳисобга олинади). Майдончани қўйиб юбориб, секундомер ҳаракатга келтирилади ва тагликка урилиш билан тўхтатилиб, юкнинг ҳаракатланиш вақти аниқланади.

4.Юқоридаги тажриба 200 г, 300 г, ва 400 г массали юклар учун такрорланади ва ҳар гал юкнинг тушиш вақти аниқланади.

5.Барча ҳоллар учун (20) формуладан айланувчи системанинг инерция моменти аниқланиб, сўнг уларнинг ўртача қиймати ҳисобланади. Ўлчаш ва ҳисоблаш натижалари 1-жадвалга ёзилади.

1-жадвал

№	h (м)	t (с)	m (кг)	r (м)	I_0 (кг м ²)	I_0 ўр.	ΔI_0	ΔI_0 ўр.	$\frac{\langle \Delta I_0 \rangle}{\langle I_0 \rangle} \cdot 100\%$
1									
2									
3									
4									

6.Крестовина стерженидаги юкларни унинг учига ўрнатиб, фарқсиз мувозанат ҳосил қилинади. Сўнг 100 г, 200 г, 300 г, ва 400 г массали юклар учун юқоридаги тажриба такрорланади. (20) формуладан юкли крестовинанинг инерция моментини ҳисоблаб, уларнинг ўртача қиймати $\langle I \rangle$ аниқланади. Ўлчаш ва ҳисоблаш натижалари 2-жадвалга ёзилади.

2-жадвал

№	h (м)	t (с)	m (кг)	r (м)	I_0 (кг м ²)	I_0 ўр.	ΔI_0	ΔI_0 ўр.	$\frac{\langle \Delta I_0 \rangle}{\langle I_0 \rangle} \cdot 100\%$

1									
2									
3									
4									

7. Ҳисоблаш натижадаридан абсолют ва нисбий ҳатоликлар аниқланади. Крестовина стерженига ўрнатилган ҳар бир юкнинг инерция моменти қуйидаги формуладан аниқланади.

$$I = \frac{1}{4}(\langle I \rangle - \langle I_0 \rangle) \quad (21)$$

Синов саволлари

1. Абсолют қаттиқ жисм деб қандай жисмга айтилади?
2. Айланма ҳаракат деб қандай ҳаракатга айтилади?
3. Бурчак тезлик ва бурчак тезланишни тушунтиринг.
4. Чизиқли тезлик деб нимага айтилади?
5. Эгри чизиқли ҳаракатда тангенциал ва нормал тезланишлар нимани ифодалайди?
6. Инерция моменти деб нимага айтилади?
7. Куч моментини тушунтиринг.
8. Ньютоннинг II қонунини илгариланма ва айланма ҳаракат учун ёзиб, таърифлаб беринг.
9. Ишчи формулани келтириб чиқаринг.

МОДДИЙ НУҚТА ДИНАМИКАСИ

Режа

1. Инерциал санок системалари.

- 2.Масса ва куч тушинчалари.
- 3.Механик система ва унинг турлари.
4. Ньютон қонунлари ва уларнинг қўлланилиши.



Инерциал санок системалари. Нютоннинг биринчи қонуни ҳар қандай санок системаларида бажарилмайди. Мисол учун: тезланиш билан ҳаракатланоётган автомобил тарпедасида турган пиёла сиз томонга қараб ҳаракатланиши мумкин (Агар автомобил текис ҳаракатланганида пиёла ўз ҳолатини ўзгартирмас эди). Бу ҳеч қандай ташқи куч таъсирида юзага келмади. Тезланувчан санок системасида Нютоннинг биринч қонуни бажарилмайди. Физикадаги Нютон қонунлари бажариладиган санок системалари инерциал санок системалари дейилади. Кўп ҳолларда биз ердаги санок системасини қўзғалмас деб қабул қиламиз. Бу яқинлашиш Ер айланишини ҳисобга олганда бажарилмайди.

Инерциал системага нисбатан ўзгармас тезлик билан ҳаракатланоётган ҳар қандай санок система инерциал санок системасидир. Инерция қонуни бажарилмайдиган санок системалари **ноинерциал** санок системалари дир. Инерциал ёки ноинерциал санок системасини қандай ажратиш мумкин? Ньютоннинг биринчи қонуни бажарилади ёки ёқлигига қараб ажратиш мумкин. Шундай қилиб инерциал санок системасининг тарифи бу Ньютоннинг биринчи қонунидир.

Бугунги кунгача олиб борилган кузатишлар катта массали жисмлар ёруғлик тезлигига нисбатан жуда кичик тезликларда ҳаракатланаётган ҳолларда Ньютон қонунлари ҳақиқатни жуда тўғри акс эттиришини кўрсатади. **Ньютон қонунларига асосланган механика Ньютон механикаси ёки классик механика деб аталади.**

Масса. Кейинги бўлимдаги Ньютоннинг иккинчи қонунини тушуниш учун масса тушунчасини билишимиз керак. Ньютон масса атамасини модда миқдorigа синоним сифатида ишлатган. Модда миқдори тушунчаси аниқ таърифланмаганлигидан жисм массаси ғояси ҳам аниқ эмас. Аниқроқ қилиб айтганда масса бу жисмнинг инертсия ўлчовидир. Жисм массаси қанча катта бўлса уни ҳаракатга келтириш учун шунча катта куч талаб қилинади. Бир ҳил тезлик билан ҳаракатланаётган юк машинаси ва коптокчани солиштирганда юк машинасининг инертсияси каттароқ, яъни юк машинасининг массаси жуда катта.

Массани ўлчаш учун доимий катталик қабул қилишимиз керак. ХБС га кўра, массанинг бирлиги килограмм [кг].

Масса ва оғирлик тушунчаларини аниқ тарифлаб олиш муҳим. Масса жисм хусусиятидир (жисм инертсия ўлчови ёки модда миқдори). Оғирлик эса гравитация тортиши туфайли юзага келадиган кучдир. Фарқини тушуниш учун жисмни ойга олиб чиқайлик. Ердагига нисбанан жисм оғирлиги ойда 6 марта кичкина, чунки ойда гравитация кучсиз. Аммо массаси бир ҳил бўлади.



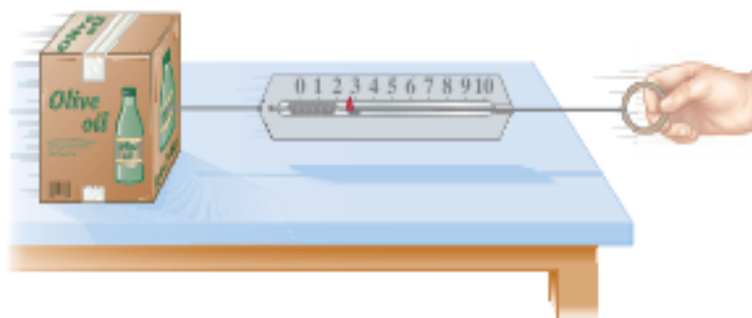
3.1. расм. Озиқ овқатли аравада одам томонидан таъсир кўрсатилмоқда.

Куч. Биз ҳар доим жисм бирдан ҳаракатга келса ёки чузилса унга куч таъсир этисини сезамиз. Тинч турган автомобилни итарсак ёки озиқ овқатли аравани итарсак (Расм 3.1) куч таъсир этади. Мотор эливатормни кутарганда ёки болға михни ургандаги учқун ёки шамол дарахт баргларига таъсир этганда куч пайдо бўлади. Биз буни контакт кучи деймиз, чунки таъсир бир жисмни иккинчи жисм билан контакти орқали содир булади. Иккинчи томондан, юқоридан оғирлик кучи таъсирида тушаётган жисмда контактли таъсир кузатилмайди.

Тинч ҳолатда турган жисм куч таъсирида тезланувчан ҳаракат қилиб, тезлигини нолдан малум қийматгача оширади. Агар ҳаракатдаги жисмга куч таъсир этса у ўзининг тезлигини ва йўналишини ўзгартириши мумкин. Бошқача қилиб айтганда ҳаракати тезлашиши учун ҳар доим ташқаридан куч таъсир этиси талаб қилинади.⁹

Таъсирни қийматини (ёки кучни) ўлчаш усулларида бири пружина скаласидан фодаланиш мумкин (Расм 3.2). Бу скаладан жисмни оғирлигини аниқлаш учун ислатилади; жисмнинг оғирлиги оғирлик кучига тенг ҳолат кўрилади.

⁹ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, Prentice Hall,, 2004 USA.75-786



3.2. расм. Куч ўлчайдиган динамометр.

Ньютоннинг Биринчи Қонуни. Тасир билан ҳаракат орасида боғланиш нима? Аристотел таъсир жисми у ҳаракатланаётган горизонтал текисликда услаб туришига ишонган. Жисм тинч ҳолатда бўлганда, унга ташқи таъсир натижасида у ҳаракатга келиши мумкинлиги тажрибаларда аниқланган. Ундан ташқари Аристотел таъсир қанча катта бўлса тезлик шунча катта бўлишини исботлаган.

Галилейнинг ғойсини тушуниш учун горизонтал текисликдаги ҳаракатни коўриб чиқамиз. Жисмни нотекс стол устида текис озгармас тезлик билан ҳаракатлантириш учун маълум миқдордаги куч талаб қилади. Шундай оғирликдаги жисмни силлиқ юзада худди шундай тезликда ҳаракатлантириш учун камроқ куч талаб қилинади. Агар стол ва жисм орасига қандайдир ёғқатлами қўйилса жисмни ҳаракатлантириш учун деярли куч талаб қилинмайди. Ўйибор қилинг ҳар бир қадамда куч талаб қилинмоқда. Энди эса тасаввур қиламиз ишқаланиш мутлақо мавжуд эмас. Бунда ҳаракатлантирилган жисм ўзининг ўзгармас тезлигини сақлайди, чунки унга тўсир қилаётган кучларнинг вектор йиғиндиси 0 га тенг. Бунга яқин физик жараён сифатида темир коптокчанинг юзадаги думаланишини кўрсатишимиз мумкин. Бунга мисол қилиб ҳаво столидаги шайбанинг ҳаракатини келтириш мумкин.

Умуман ишқаланишнинг мавжуд бўзмаслиги Галилей томонида тасаввур қилинган идеаллаштирилган, аммо бу ҳақиқий физик манзарани тушуниш учун замин яратди. Бу идеаллаштириш уни жуда ажойиб ҳулосага келишига ёрдам берди.

Агар жисмга куч таъсир қилмаса у ўзининг ўзгармас тезликдаги ҳаракатини давом қилдиради. Агар жисмга қандайдир куч таъсир қилса у секинлашади. Шундай қилиб Галилей ишқаланишни оддий итариш ва тортишга ўхшаган куч деб изоҳлади.

Жисмни стол устида ўзгармас тезлик билан ҳаракатлантириш учун ишқаланиш кучига тенг бўлган куч билан итариш керак. (Расм 3-3)

Агар тариш кучи модул жиҳатадан ишқаланиш кучига тенг бўлса жисм ўзгармас тезлик билан ҳаракатланади (Расм 3-3). Бу кучлар ўзаро тесқари йўналган ва тенг таъсир этувчиси 0 га тенг (икки кучнинг вектор йиғиндиси). Бу Галилейнинг нуқтаи назари билан мос тушади.



Расм 4-3



Расм 4.4 Исаак Ньютон

Галилейнинг илмий ишини давом этириб Иссак Ньютон (Расм 3.4) ўзининг буюк ҳаракат назариясини яратди. Ньютоннинг назарияси унинг машҳур уч ҳаракат қонунларида акс этган. Ньютон ўзининг китобларида Галилейдан қарздорлигини тан олган. Ҳақиқатдан ҳам Ньютоннинг биринчи қонуни Галилейнинг ҳулосасига яқин. Бунда айтиладики:

Агар жисмга таъсир қилаётган кучларнинг геометрис йиғиндиси 0 га тенг бўлса бу жисм ўзининг тинч ҳолатини ёки текис ҳаракатини сақлайди.

Бу ҳолат инертсиядир. Натижада Ньютоннинг биринчи қонуни кўп ҳолларда инерция қонуни деб ҳам юритилади.

Ньютоннинг иккинчи қонуни.

Ньютоннинг биринч қонунига биноан, жисмга таъсир қилаётган кучларнинг геометрик йиғиндиси 0 га тенг бўлса жисм ўзининг тинч ёки текис ҳаракатини сақлар экан. 0 га тенг бўлмаса нима бўлади? Бунга жавобан Ньютон жисм тезлигини ўзгартиради деб айтган (Расм 3.5). Жисмга таъсир қилаётган кучлар йиғиндиси 0 дан фарқли бўлса ва куч йўналиши ҳаракат йўналиши билан мос тушса тезлиги ошади. Агар тескари йўналишда бўлса тезлиги камаяди. Умуман айтганда жисмга таъсир қилаётган куч унга тезланиш беради.



расм 3.-5.

Тезланиш ва куч орасидаги муносабат нимадан иборат? Бунга жавобан кундалик ҳаётимизда кўрадиганларимизни мисол келтириш мумкин. Аравачани итариш учун керак бўладиган кучни тасаввур қилинг, бунда ишқаланиш кучи жуда кичкина. Агар сиз аравачани горизантал йўналишда бирорта кичкина, ўзгармас куч билан тортсангиз унга маълум миқдордаги тезлик (масалан 3 км/соат) ва тезланишни берасиз. Агар икки баробар катта куч билан итарсангиз бунда аравача 3 км/соат тезликка қисқа муддатда яъни аввалгига t вақт сарфланган бўлса бу сафар шу вақтнинг яримига тенг вақтда эришади. Тезланиш икки баробар катта бўлади. Агар биз итариш кучини 3 баробар оширсак тезланиш ҳам 3 баробар ошади. Шундай қилиб жисм олаётган тезланиш унга таъсир қилаётган кучга тўғри пропорционал. Аммо жисм тезланиши унинг массасига ҳам боғлиқ. Агар сиз бўш ва юкли аравачани бир хил куч билан итарсангиз бунда юкли аравача бўш аравачага қараганда секинроқ тезлашади. Жисм Массаси қанчалик катта бўлса унинг тезланиши шунчалик кичкина бўлади. Математик жиҳатдан буни Ньютон жисм тезланиши унинг массасига тескари пропорционал деган. Бу муносабатлар қуйдагича тарифланади:

Ньютоннинг иккинчи қонуни. Жисмнинг ҳаракат тенгламаси

Ньютоннинг иккинчи қонуни динамиканинг асосий қонуни ҳисобланади ва қуйидагича таърифланади: *ташқи куч таъсирида жисмнинг олган тезланиши шу кучга мутаносиб (пропорционал) ва унинг массасига тескари мутаносибдир*, яъни:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (4)$$

Бу ифодани қуйидагича ёзамиз:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (5)$$

Тезланиш вектори (\vec{a}) таъсир этувчи куч (\vec{F}) йўналиши томонга йўналган. Бу формуладан кўриниб турибдики, массаси m бўлган жисмнинг олган тезланиши таъсир этувчи кучга мутаносибдир.

Бир вақтнинг ўзида жисмга бир неча кучлар таъсир этаётган бўлса, натижавий куч таъсир этувчи барча кучларнинг вектор йиғиндиси сифатида аниқланади (масалан, оғирлик кучи таъсирида қия текислик бўйлаб ҳаракат қилаётган жисмга таъсир этувчи натижавий куч оғирлик кучининг қия текислик бўйлаб ташкил этувчи билан ишқаланиш кучининг вектор йиғиндисига тенг бўлади):

$$\vec{F} = \sum \vec{F}_i \quad (6)$$

(6) ифода кучларни қўшиш (суперпозиция) қонидасининг мазмунини ифодалайди. Бу қоида қуйидагичадир: *жисмга қўйилган кучлардан ҳар бирининг таъсири жисмнинг тинч ҳолатда ёки ҳаракатда эканлигига, унга таъсир этувчи бошқа кучларнинг сони ва табиатига боғлиқ эмас*. Бу қоида кучлар таъсирининг мустақиллиги қонуни деб ҳам юритилади.

Агар $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ эканлигини эътиборга олсак, Ньютоннинг иккинчи қонунини қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (7)$$

Жисмнинг массаси ўзгармас катталиқ бўлгани учун уни дифференциал ишораси остига киритамиз ва $m\vec{v}$ жисм импульсининг ифодаси эканини назарда тутиб (7) ни қуйидагича ёзамиз.

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (8)$$

Бу ифода Ньютон иккинчи қонунининг асосий кўринишларидан бири бўлиб, қуйидагича таърифланади: *жисм импульсининг ўзгариш тезлиги таъсир этувчи кучга тенг ва у билан бир хил йўналишига эга. Бошқача айтганда, жисм импульсининг вақт бўйича ҳосиласи унга таъсир этаётган кучга тенг.*

Массаси m бўлган жисмга бир вақтнинг ўзида бир неча ($\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$) куч таъсир этаётган бўлса, унинг олган тезланиши қуйидагига тенг бўлади:

$$\vec{a} = \sum_i \vec{a}_i = \sum_i \frac{\vec{F}_i}{m} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (9)$$

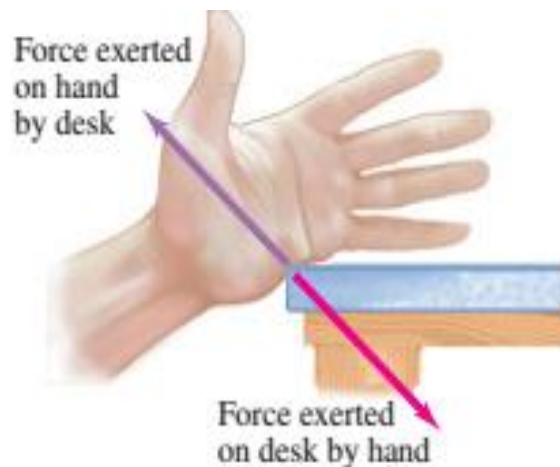
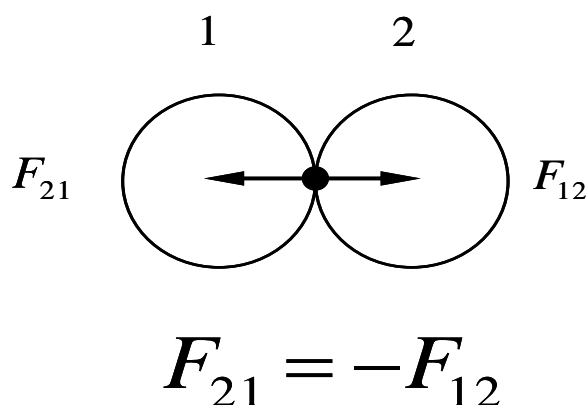
бу ерда \vec{F} - жисмга таъсир этаётган барча кучларнинг тенг таъсир этувчиси бўлиб, у параллелограмм қондаси бўйича аниқланади. Шу нарсга алоҳида эътибор бериш керакки, (4), (5), (6) ва (8) формулаларда келтирилган \vec{F} куч амалда жисмга таъсир этувчи барча кучларнинг тенг таъсир этувчисини акс эттиради, мазкур формулалардаги тезлик ва тезланишлар эса инерциал санок тизимида нисбатан аниқланади.

Ньютоннинг иккинчи қонунини ифодаловчи (8) формула (ҳамда унга тенг маъноли бўлган 7 формула) жисмнинг ҳаракат тенгламаси дейилади.

ХБСда кучнинг бирлиги **ньютон** деб белгиланган (Н). Бир нютон куч деб бир кг массали жисмга 1 м/с^2 тезланиш берувчи кучга айтилади. Яни

$$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \times 1 \text{ м/с}^2$$

Динамиканинг учинчи қонунини Ньютон қуйидагича таърифлаган: Таъсирга ҳамма вақт тенг ва қарама-қарши акс таъсир мавжуд; бошқача айтганда, иккита жисмнинг бир-бирига ўзаро таъсирлари ўзаро тенг ва қарама-қарши йўналган".¹



3.2-расм

Таърифда "таъсир" ва "акс таъсир" иборалари бўлиб, юзаки қараганда "таъсир"-бирламчи ва "акс таъсир" иккиламчига ўхшаб кўринади- Лекин "таъсир" ва "акс таъсир" лар ўзларининг физик табиати бўйича айнан бир хилдир. Ҳар қандай икки жисмнинг бир-бирига кўрсатаётган таъсири ўзаролик характерида эгадир.



3.3 - расм. Ракета учирилаётганд аракета двигатели ракетадан чиқаётган газларни пастга итаради, газлар ўз навбатида ракетага тезланиш беради

Ньютоннинг учинчи қонунини қуйидагича таърифлаш мумкин: моддий нукта деб қаралиши мумкин бўлган икки жисмнинг бир-бирига ҳар қандай таъсири ўзаро таъсир характериға эға бўлиб, уларнинг бир-бириға кўрсатаётган таъсир кучлари ҳар доим катталиқ жиҳатидан тенг ва йўналиши жиҳатидан қарама-қаршидир.¹⁰

ДИНАМИКА ТЕНГЛАМАЛАРИ			
Ньютоннинг биринчи қонуни	Агар жисмга таъсир этувчи кучларнинг йиғиндиси нолга тенг бўлса, у ҳолда жисм инерциал саноқ системаларига нисбатан тўғри чизикли текис ҳаракат қилади ёки тинч ҳолатини сақлайди.	Жисмнинг инертлик қобилиятини миқдоран характерлайдиган катталиққа масса деб айтилади	
Ньютоннинг иккинчи қонуни	Жисмнинг олган тезланиши шу тезланишни берувчи кучга тўғри пропорционал бўлади.	$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$	$\vec{F} = m \frac{d^2 \vec{S}}{dt^2}$
Ньютоннинг учунчи қонуни	Жисмлар модули ўзаро тенг йўналиши жиҳатан қарама-қарши кучлар билан таъсирлашади	$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$	$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$
Бутун олам тортилиш қонуни	Жисмлар ўзаро массалари кўпайтмасига тўғри пропорционал ораларидаги масофанинг квадратиға тескари пропорционал куч билан таъсирлашади	$\vec{F} = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$	$\vec{F} = \gamma \frac{M m}{R^2}$
Оғирлик кучи	Гравитация майдони таъсири натижасида ҳосил бўлади	$\vec{P} = m g$	$g = \gamma \frac{M}{R}$
Жисм импульси	Жисм импульсининг ўзгариши таъсир кучини характерлайди	$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}$	$\vec{P} = m\vec{v}$

¹⁰ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, 2004 USA.82-84.

Таянч сўз ва иборалар

Саноқ системаси, инерция тушунчаси, Ньютоннинг биринчи қонуни, масса, тезланиш, куч, Ньютоннинг иккинчи қонуни, Ньютоннинг учинчи қонуни, импульс

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Ерда ва Ойда массаси 10 кг бўлган жисмни кўтариш учун керак бўлган кучларни таққосланг? Массаси 2 кг бўлган жисмни қандай куч билан ҳаракатга келтириш керакки у Ерда ва Ойда горизонтал йўналишда ҳаракат қилсин?
2. Сиз болалар аравачасини бирданига ҳаракатга келтирсангиз нима учун бола орқага ҳаракатланади?
3. Инерциал саноқ системасини тушинтиринг.
4. Ньютоннинг биринчи қонуни таърифланг.
5. Автомобиль ҳалокатга учраганда йўловчининг бош чайқалиш ҳолати бўлади, бу ҳолда автомобиль орқа тарафидан кучли туртки олади. Бундан кўринадики автомобиль ҳалокатга учраганда бош орқага кетишини тушинтиринг? Ҳақиқатдан шундайми?
6. Агар голф уйинида уйнайдиган коптокни йўлакчага урсак у тепага сакрайди. А) Коптокни янада юқорига сакрашга мажбурлаш учун қўшимча куч қўйиш керакми? Б) Мумкин бўлса қайси жисм ҳисобидан бу куч таъсир қилади?
7. Ньютоннинг биринчи ва иккинчи қонуни нуқтайи назардан сайр пайтида ўзингиз оёқларингизнинг бир қадам ташлагандаги ҳолатини ўрганинг?
8. Ньютоннинг иккинчи ва учинчи қонуни таърифланг.
9. Қачонки одамнинг қўли ёки оёғи гипс қилинган бўлса у кучли чарчашни бошидан ўтказади. Бу ҳолни Ньютоннинг биринчи ва иккинчи қонунларига асослаб тушинтиринг?
10. Агар жисмнинг тезланиши нолга тенг бўлса, бу жисмга ҳеч қандай куч таъсир қилмаслигини тушинтиринг?
11. Жисмга фақат битта куч таъсир қилмоқда, жисмнинг тезланиши нолга тенг бўлиши мумкинми? Жисм нолга тенг тезланишга эга бўлиши мумкинми?
12. Нима учун сиз велосипедда даслабки ҳаракатда доимий тезликда ҳаракатланаётгандагига қараганда педални қаттиқ босасиз?
13. Сизнинг массангиз (килограммларда) ва оғирлигингиз (Ньютонларда) нимага тенг бўлади?
14. Жисмга қандайдир бир куч таъсир қилиши мумкинми у эгри чизиqli ҳаракат қилсин? Қуйдаги ҳолларни қаранг: а) доимий тезланиш, б) ўзгарувчан тезланиш.
15. Агар сиз югураяпсиз ва бирданига тўхтамоқчисиз, демак сиз тезда тормозланишингиз керак? А) сиз тормозланиш учун кучни қаердан оласиз? Б) қатта тезлик билан югурувчи ва тусатдан тўхтовчи одамнинг максимал тормозланишини баҳоланг?
16. Нима учун сиз сувда ҳаракатланаётган ёғочда юрганингизда у орқага қараб ҳаракат қилади?
17. Нима учун сиз футбол коптогини тепганингизда оёғингиз оғрийди?
18. Сиз ерда ҳаракатланмай турганингизда сизга Ер қандай куч билан таъсир қилади? Нима учун бу куч сизни ҳавога улоқтирмайди?
19. Массаси 2 кг бўлган жисмга таъсир этувчи оғирлик кучи массаси 1 кг бўлган жисмга нисбатан икки баровар ортиқ. Нима учун оғир тош тезроқ тушмайди?
20. Ишқаланиш коэффициентини 1,0 бўлиши мумкинми?

21. Ишқаланиш коэффициентини ўлчашни қия текислик ҳисобида тушинтиринг?¹¹

Амалий машғулот

3-мавзу. Моддий нуқта динамикаси. Ньютон қонунлари.

2.1. $F_1 = 60 \text{ Н}$ куч жисмга $a_1 = 0,8 \text{ м/с}^2$ тезланиш беради. Бу жисмга қандай куч $a_2 = 2 \text{ м/с}^2$ тезланиш беради?

2.2. Массаси $m = 4 \text{ кг}$ бўлган жисм бирор куч таъсири остида $a = 2 \text{ м/с}^2$ тезланиш олади. Шундай куч таъсири остида массаси $m = 10 \text{ кг}$ бўлган жисм қандай тезланиш олади?

2.3. Ўзгармас F куч таъсирида m_1 массали жисм $a_1 = 3 \text{ м/с}^2$ тезланиш билан, m_2 массали жисм эса $a_2 = 7 \text{ м/с}^2$ тезланиш билан ҳаракатланса, шу F куч таъсирида бу икки жисм биргаликда қанча a тезланиш билан ҳаракатланади?

2.4. Ўзгармас F куч таъсирида арава маълум бир t вақт оралиғида $S_1 = 90 \text{ см}$ масофани ўтади. Унга $m_2 = 250 \text{ гр}$ юк қўйилганда эса шу куч таъсирида $S_2 = 30 \text{ см}$ масофани ўтади. Аравачанинг массасини m_1 ни топинг.

2.5. Массаси $m = 2 \text{ Т}$ бўлган автомобиль жойидан қўзғалиб $t = 10 \text{ с}$ да $S = 100 \text{ м}$ йўл ўтди. Тортиш кучини топинг.

2.6. Бирор диаметрли пўлат сим $F = 4,4 \text{ кН}$ юкка чидаш бера олади. Бу симга $F_1 = 3,9 \text{ кН}$ юк осиб, у узилиб кетмаслиги учун юкни қандай максимал тезлик билан юқорига кўтариш керак?

2.7. Ўйловчилар билан бирга лифтнинг массаси $m = 800 \text{ кг}$. Лифт осилган троснинг таранглиги: а) $T_1 = 12,0 \text{ кН}$ ва б) $T_2 = 6,0 \text{ кН}$ бўлса, лифт қандай тезланиш a билан ва қандай йўналишда ҳаракатланади?

2.8. Массаси $m = 1020 \text{ кг}$ бўлган автомобиль $t = 5 \text{ с}$ тормозлангандан кейин текис секинланувчан ҳаракат қилиб, $S = 25 \text{ м}$ масофани ўтиб тўхтади. Автомобильнинг бошланғич тезлиги ва тормозланиш кучи топилсин.

2.9. $m = 500 \text{ Т}$ массали поезд тормозланганда текис секинланувчан ҳаракат қилиб $t = 1 \text{ мин}$ давомида тезлигини $v_1 = 40 \text{ км/соат}$ дан $v_2 = 28 \text{ км/соат}$ гача камайтирган. Тормозлаш кучи $F_{\text{тор}}$ топилсин.

2.10. Массаси $m = 20,0 \text{ Т}$ бўлган вагон $v_0 = 54 \text{ км/соат}$ бошланғич тезлик билан ҳаракат қилади. Агар вагон: а) $t = 100 \text{ с}$; б) $t = 10 \text{ с}$ ва в) $t = 1 \text{ с}$ да тўхтаса, вагонга таъсир қилувчи ўртача куч топилсин.

2.11. m массали жисм $F_1 = 40 \text{ Н}$ куч таъсирида $a_1 = 0,5 \text{ м/с}^2$ тезланиш олади. Қандай F_2 куч бу жисмга $a_2 = 4 \text{ м/с}^2$ тезланиш беради.

2.12. Ҳавода $m = 2 \text{ кг}$ массали жисм ерга $a = 6 \text{ м/с}^2$ тезланиш билан тушмоқда. Ҳавонинг F қаршилиқ кучини топинг.

2.13. Лифт кабинасида массаси $m = 70 \text{ кг}$ бўлган одам турибди. Лифт $a = 1,8 \text{ м/с}^2$ тезланиш билан пастга тушмоқда. Одамнинг кабина полига бераётган N -босим кучини аниқланг.

2.14. Ипга массаси $m = 1,0 \text{ кг}$ бўлган юк осилган. Агар юк осилган ип: 1) $a = 5 \text{ м/с}^2$ тезланиш билан юқорига кўтарилаётган, 2) $a = 5 \text{ м/с}^2$ тезланиш билан пастга тушаётган бўлса, бу икки ҳолда ипнинг таранглик кучлари аниқлансин.

¹¹ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, 2004 USA

2.15. $m=6 \cdot 10^5$ кг массали поезд тормозланганда текис секинланувчан ҳаракат қилиб $t=60$ с давомида тезлигини $v_1=44$ км/соат дан $v_2=32$ км/соат гача камайтиради. Тормозланиш кучини топинг.

2.16. Рельсда турган вагон текис тезланувчан ҳаракат қилиб, $S=11$ м йўлни $t=30$ с да ўтиш учун унга қандай куч таъсир қилиш керак. Вагоннинг оғирлиги $P=10$ Т. Ҳаракат вақтида унга ўз оғирлигининг $0,05$ қисмига тенг бўлган ишқаланиш куч таъсир қилади.

2.17. Оғирлиги $P=4,9 \cdot 10^6$ Н бўлган поезд тепловозининг тортиши тўхтагач, $F_{\text{ишқ}}=9,8$ кН ишқаланиш кучи таъсирида $t=60$ с дан кейин тўхтади. Поезд қандай тезлик билан ҳаракат қилган.

2.18. $m=20$ Т массали вагон $a = -0,3$ м/с² ўзгармас манфий тезланиш билан ҳаракат қилади. Вагоннинг бошланғич тезлиги $v_0=54$ км/соат. 1) Вагонга қандай тормозланиш кучи таъсир қилган. 2) Вагон қанча вақтдан кейин тўхтади. 3) Вагон тўхтагунча қанча йўлни босиб ўтади.

2.19. $m=0,5$ кг массали жисм шундай тўғри чизиқли ҳаракатланадики, у ўтган S йўлнинг t вақтга қараб ўзгариш қонуни $S=At+Bt^2$ тенглама орқали берилган. Бунда $A=10$ м/с, $B=20$ м/с² жисмга таъсир қилган F кучни топинг.

2.20. $F=10$ Н ўзгармас куч таъсирида жисм шундай тўғри чизиқли ҳаракатланадики, унинг босиб ўтган (S) нинг вақтга боғлиқлиги $S = A - Bt + Ct^2$ тенглама орқали берилган. Бунда $C = 1$ м/с². Жисм массаси топилсин.

2.21. $m=2$ кг массали жисм a тезланиш билан ҳаракатланмоқда. Тезланишнинг ўзгариш қонуни $a=A+Bt$ ифода орқали берилган. Бунда $A=5$ м/с², $B=10$ м/с³. Куч таъсир қила бошлангандан сўнг, 5 с ўтгач, жисмнинг тезлиги ва унга таъсир қилаётган куч аниқлансин.

14. $F_1 = 60$ Н куч жисмга $a_1 = 0,8$ м/с² тезланиш беради. Бу жисмга қандай куч $a_2 = 2$ м/с² тезланиш беради?

15. Массаси $m = 4$ кг бўлган жисм бирор куч таъсири остида $a = 2$ м/с² тезланиш олди. Шундай куч таъсири остида массаси $m = 10$ кг бўлган жисм қандай тезланиш олади?

16. Ўзгармас F куч таъсирида m_1 массали жисм $a_1 = 3$ м/с² тезланиш билан, m_2 массали жисм эса $a_2 = 7$ м/с² тезланиш билан ҳаракатланса, шу F куч таъсирида бу икки жисм биргаликда қанча a тезланиш билан ҳаракатланади?

ТАБИАТДАГИ КУЧЛАР ВА УЛАРНИНГ ХУСУСИЯТЛАРИ

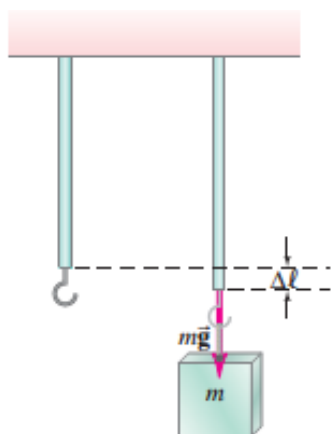
Режа

1. Деформация ва унинг турлари
2. Механик кучланиш, Юнг модули, Гук қонуни
3. Эластиклик ва ишқаланиш кучлари
4. Бутун олам тортишиш қонуни
5. Оғирлик кучи ва гравитацион майдон.

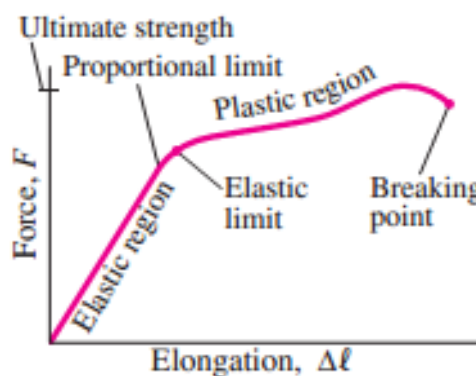
Деформация ва унинг турлари

Қаттиқ жисмлар механикасида абсолют қаттиқ жисм тушунчасидан фойдаланамиз. Лекин табиатда абсолют қаттиқ жисм йўқ, чунки ҳамма жисмлар бирор куч таъсирида ўзининг шакли ва ҳажмини ўзгартиради, яъни деформацияланади.

Деформация икки турга бўлинади: Ташқаридан қўйилган кучларнинг таъсири тўхтатилгандан кейин йўқолиб кетувчи деформация эластик деформация дейилади. Кучларнинг таъсири тўхтагандан сўнг жисм ўзининг аввалги ҳолатини тикламаса бундай деформация пластик деформация деб аталади.¹²



4.1 – расм. Гук қонуни: Δl қўйилган кучга тўғри пропорционал



4.2 – расм. Қаттиқ жисмлар учун куч ва абсолют узайиш орасидаги боғланиш¹

Эластиклик кучлари. Ҳар қандай қаттиқ жисм ташқи кучлар таъсирида ўзининг шаклини ва ҳажмини ўзгартиради. Бундай ўзгариш деформация деб аталади. Ташқаридан қўйилган кучларнинг таъсири тўхташи билан йўқолиб кетувчи деформациялар эластик деформациялар деб аталади. Кучларнинг таъсири тўхтагандан сўнг жисмда сақланиб қолувчи деформациялар пластик ёки қолдиқ деформациялари деб аталади.

Деформацияланиш жараёнида қаттиқ жисмни ташкил этувчи заррачалар (молекулалар ва атомлар)нинг маълум қисми бир-бирларига нисбатан силжийди. Бундай силжишга қаттиқ жисм таркибидаги зарядланган заррачалар орасидаги электромагнит кучлари қаршилиқ кўрсатади. (Зарядланган заррачалар орасидаги ўзаро таъсир кучлари электромагнит таъсир кучлари деб аталади). Натижада деформацияланаётган қаттиқ жисмда сон жиҳатидан ташқаридан қўйилган кучга тенг, лекин қарама-қарши йўналишга эга бўлган ички куч-эластиклик кучи вужудга келади. Деформацияларнинг турлари жуда

¹² Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, 2004 USA.

кўп бўлиб тушуниш осон бўлиши учун энг содда деформациялардан бирини-бир томонлама чўзилиш ёки бир томонлама сиқилишни қараб чиқайлик.

Узунлиги ℓ га, кўндаланг кесимининг юзи эса S га тенг бўлган бир жинсли резина стержен стол сиртига қўйилган ва унинг бир учи деворга маҳкамланган бўлсин (3.1-расм). Агар X ўқининг мусбат йўналиши бўйича стержен кўндаланг кесимнинг юзига тик равишда ташқи $\vec{F}_{\text{ташқ}}$ куч таъсир қилса, стерженнинг узунлиги x қийматга ортади, яъни чўзилади. Деформацияланиш (чўзилиш) жараёнида, стержеанда уни аввалги ҳолига қайтаришга интилувчи, сон жиҳатидан $\vec{F}_{\text{ташқ}}$ кучга тенг лекин қарама-қарши йўналишга эга бўлган $\vec{F}_{\text{эл}}$ эластиклик кучи вужудга келади. Деформацияланиш даражасини стержен узунлигининг нисбий ўзгариши $\frac{x}{l} = \varepsilon$ орқали белгиланади. Деформацияга сабаб бўлган

ташқи таъсир эса таъсир этувчи кучнинг стержен кўндаланг кесими юзига нисбати $\frac{F_{\text{ташқ}}}{S} = \sigma$ орқали аниқланади. Ташқи ва эластиклик кучлари сон қийматлари бўйича ўзаро тенг, йўналишлари эса қарама-қарши эканлигини эътиборга олиб, бу кучларнинг X ўқиға проекцияларини куйидагича ёзиш мумкин:

$$F_{\text{ташқ}x} = -F_{\text{эл}x}; \quad \sigma = \frac{F_{\text{эл}}}{S} \quad (4.1)$$

бунда σ - механик кучланиш деб аталиб, у кузатилаётган стержен кўндаланг кесимининг бирлик юзига тўғри келадиган эластиклик кучини ифодалайди.

Инглиз олими Роберт Гук тажрибалар асосида эластиклик деформацияларда вужудга келувчи кучланиш нисбий чўзилишга пропорционал эканлигини ифодаловчи қонуни яратади. Гукнинг бу қонунини бир томонлама чўзилиш ёки сиқилишдан иборат деформациялар учун куйидагича ёзиш мумкин:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (4.2)$$

Механик кучланиш. Юнг модули

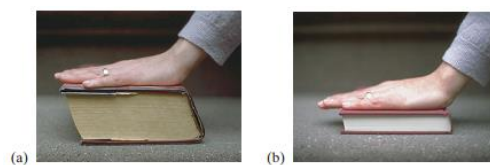
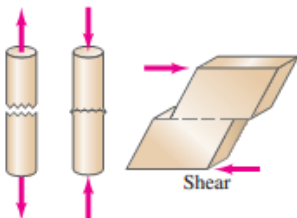
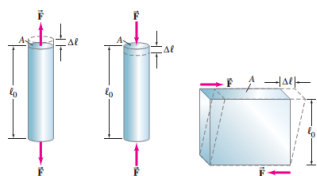
Жисм қанчалик узун бўлса, қўйилган куч таъсирида у шунча кўп чўзилади ва аксинча, жисм қанчалик йўғон бўлса, у шунча кам чўзилади. Буларни ҳисобга олган ҳолда (1) ифодани куйидагича ёзиш мумкин:

$$\Delta l = \frac{1}{E} \frac{F}{A} l_0$$

l_0 – жисмнинг дастлабки узунлиги, A – кўндаланг кесим юзи, E – Юнг модули.

Юнг модулининг қиймати фақат жисм тайёрланган материалга боғлиқ. (2) ифодадан кўринадики, жисм узунлигининг ўзгариши F/A катталиқка тўғри пропорционал. Шунинг учун F/A механик кучланиш деб аталади.¹³

¹³ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, 94-95 б

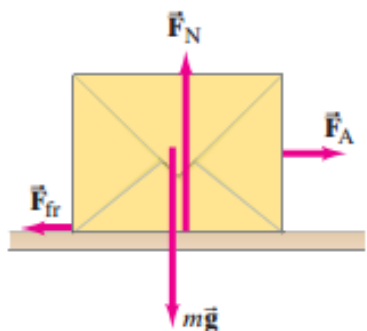


4.3 – расм. Механик кучланиш турлари
а) кучланиш;
б) сиқилиш;
в) силжиш

4.4 - расм. Механик таъсирида жисмларнинг бузилиши

4.5 - расм. Китоб қанчалик калин бўлса, силжиш шунча кўп ва аксинча.

Ишқаланиш кучлари. Механикага оид масалаларни ҳал этишда тортишиш кучлари ва эластиклик кучлари билан бир қаторда ишқаланиш кучлари билан ҳам иш кўришга тўғри келади. Бир-бирига тегиб турган жисмлар ёки бир жисмнинг ўзаро тегиб турган бўлаклари бир бирига нисбатан қўчганда ҳосил бўладиган кучлар ишқаланиш кучлари деб аталади.



4.6 расм. F_{fr} – ишқаланиш кучи, F_A – тортишиш кучи, F_N – реакция кучи, mg – оғирлик кучи.

Ишқаланишларни икки тоифага бўлиш мумкин: ташқи ишқаланишлар ва ички ишқаланишлар. Сиртлари ўзаро тегиб турувчи қаттиқ жисмларнинг бир-бирларига нисбатан бўлган ҳаракатга ташқи ишқаланиш деб аталади.

Ташқи ишқаланишга мисол қилиб, бирор қаттиқ жисм сиртида иккинчи қаттиқ жисмнинг сирпанишда ҳосил бўладиган ишқаланишни келтириш мумкин. Берилган жисмнинг турли хил қисмларини бир-бирига нисбатан қўчишлари туфайли вужудга келувчи ишқаланиш ички ишқаланиш деб аталади.

Ички ишқаланишга мисол қилиб, қувур бўйлаб оқаётган суюқлик ёки газнинг қувур сиртидан турли масофада бўлган қатламларининг турли тезликларда ҳаракатланишини келтириш мумкин.

Ташқи ва ички ишқаланишларни яна қуруқ ва суюқ (қовушқоқ) ишқаланишларга ажратиш мумкин. Қаттиқ жисмларнинг қуруқ сиртлари орасида ҳосил бўладиган ишқаланиш қуруқ ишқаланиш деб аталади. Суюқлик ёки газнинг турли қатламлари орасида ҳосил бўладиган ишқаланиш суюқ ишқаланиш деб аталади.

Қуруқ ишқаланиш. Горизонтал ҳолатдаги ясси текисликда ёғоч тахтача тинч турган бўлсин (4.3-расм). Тахтача оғирлик кучининг ясси текислик сиртига ўтказилган нормалга нисбатан олинган проекцияси P_n сон жиҳатидан ясси текисликнинг шу жисмга кўрсатаётган N реакция кучига тенг, йўналиши қарама-қаршидир. Тахтачани ясси текислик бўйлаб ҳаракатга келтириш учун унга горизонтал йўналган F_m ташқи куч билан таъсир қилиш керак. Лекин F_m нинг қиймати берилган ҳол учун қандайдир аниқ F_{m0} дан катта бўлмагунча тахтача ўз жойида қўзғалмай тураверади. Демак, ташқи кучнинг

қиймати 0 дан \bar{F}_{m0} гача ортиб боришида ясси-текислик тахтачага сон жиҳатдан ташқи кучга тенг, лекин қарама-қарши йўналган қаршилик кучи билан таъсир этади.

Ташқаридан қўйилган куч туфайли ҳосил бўлаётган қаршилик кучи тинч ҳолатдаги ишқаланиш кучи деб аталади.

Агар \bar{F}_m нинг қиймати \bar{F}_{m0} дан кичик бўлса, тахтача ўзининг тинч-ҳолатини сақлаб қолади. Аммо тахтачага таъсир этаётган ташқи куч, тинч ҳолатдаги ишқаланиш кучининг максимал қийматидан катта бўлса, тахтача ҳаракатга келади, яъни ясси текислик бўйича сирпана бошлайди.

Ташқи кучнинг таъсири тўхтатилгандан сўнг эса, тахтача ўзининг тўғри чизиқли текис ҳаракати ҳолатини сақлаб қолмайди, ҳаракат секинланувчан ҳаракатдан иборат бўлади. Чунки тахтача сирпанаётганлиги туфайли ишқаланиш кучи вужудга келиб, у ҳамма вақт ҳаракат тезлигининг йўналишига қарама-қарши йўналишга эга бўлади.

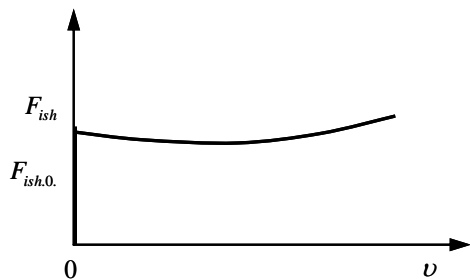
Таҷрибалар тинч ҳолатдаги $\bar{F}_{ish,0}$ ишқаланиш кучининг максимал қиймати тегиб турган сиртларининг катталигига эмас, балки сиртларнинг табиатига боғлиқ эканлигини ва оғирлик кучининг текисликка тик йўналишда қўйилган Π ташкил этувчисига тўғри пропорционал эканлигини кўрсатади:

$$\bar{F}_{ish,0} = \mu_0 P_n \quad (4.3)$$

бунда μ_0 - тинч ҳолатдаги ишқаланиш коэффиценти бўлиб, тегиб турган сиртларнинг табиатига боғлиқ. Шунингдек, жисмнинг ҳаракати (сирпаниши) туфайли вужудга келган ишқаланиш кучи ҳам қуйидаги муносабат орқали аниқланади:

$$\bar{F}_{ish} = \mu P_n \quad (4.4)$$

бунда μ - сирпанишдаги ишқаланиш коэффиценти бўлиб, тегиб турган сиртларнинг табиатига ва бу сиртларнинг бир-бирига нисбатан ҳаракат тезлигига боғлиқдир.



4.7.расм

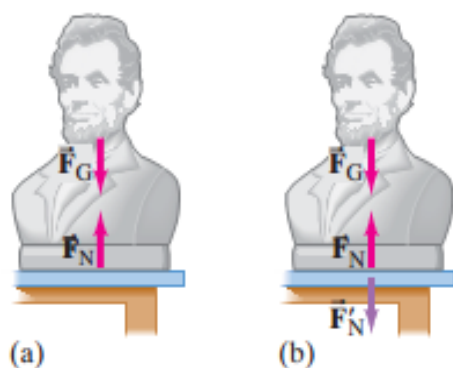
4.7-расмда сирпанишдаги ишқаланиш кучининг нисбий тезликка боғлиқлик графиги келтирилган. Ишқаланувчи жисмлар бир-бирига нисбатан тинч ҳолатда бўлганда, яъни $v=0$ да тинч ҳолатдаги ишқаланиш кучи, таъсир қилаётган ташқи кучнинг қийматига қараб 0 дан $\bar{F}_{ish,0}$ гача қийматларнинг бирортасига тенг бўлиши мумкин. Тезликнинг сон қиймати ортиб бориши билан 4.7-расмдаги график чизиғида ифодаланганидек, ишқаланиш коэффиценти аввалига бир оз камайиб, сўнгра орта боришини кўрсатади.

Оғирлик кучи

Ер билан боғлиқ санок системасида массаси m бўлган жисмга қандай кучи таъсир этади:

Оғирлик кучи — бу куч таъсирида ҳарқандай жисм Ер $\vec{P} = m\vec{g}$ пади. Бу куч таъсирида жисмлар. Ерга томон бир хил $g=9,8\text{m/s}^2$ тезланиш билан ҳаракатланади. Бу тезланиш эркин тушиш тезланиши дейилади.

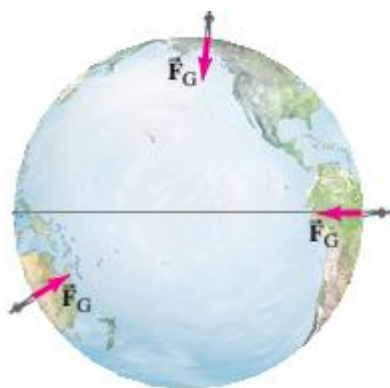
Жисмнинг оғирлиги деб, Ернинг тортишиши туфайли жисмларнинг таянчга берадиган босим кучига айтилади.¹⁴



4.8- расм. а) Тинч турган жисмга қўйилган кучларнинг тенг таъсир этувчиси нолга тенг. Пастга йўналган оғирлик кучи F_G реакция кучи билан мувозанатда; б) F_N – реакция кучи.

Умуман ҳозирги кунда маълум бўлган ҳамма кучларни тўрт хил асосий тоифага ажратиш мумкин: тортишиш кучлари, электромагнит кучлар, қудратли ўзаро таъсир кучлари (масалан, ядро зарраларнинг ўзаро таъсир кучлари) ва заиф ўзаро таъсир кучлари (масалан, элементар зарраларнинг емирилишида содир бўладиган кучлар).

Мавжуд бўлган ҳар қандай жисмлар ўзаро тортишиб туради. Жисмлар орасидаги тортишиш кучларининг қонуниятини 1687 йилда Ньютон аниқлаган бўлиб, уни одатда бутун олам тортишиш қонуни деб аталади. Бу қонунга қўра моддий нуқта деб қаралиши мумкин бўлган ҳар қандай икки жисм массаларининг кўпайтмасига тўғри пропорционал ва ораларидаги масофанинг квадратига тесқари пропорционал куч билан бир-бирига тортилиб туради. Бу кучнинг модулини қуйидагича ифодалаш мумкин:¹⁵



$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (4.5)$$

Бунда γ - тортишиш (гравитация) доимийси бўлиб, унинг қиймати $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н м}^2/\text{кг}^2$ га тенг. (3.1) ни шарсимон шаклдаги, бир жинсли, ихтиёрий массага эга бўлган жисмлар учун ҳам қўллаш мумкии. Жисм билан Ер орасидаги ўзаро тортиш кучининг модулини қуйидагича ёзиш мумкин

$$F = \gamma \frac{m M_{\text{Yer}}}{R_{\text{Yer}}^2} \quad (4.6)$$

бунда m - Ер сиртидаги жисм массаси; M_{ep} - Ернинг массаси, R_{ep} - Ер шарининг радиуси.

Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан m массали жисм $F_{\text{тор}}$ - тортиш кучи таъсирида Ер билан боғлиқ санок системасига нисбатан бирор тезланиш билан ҳаракатга келади:

$$F_{\text{тор}} = ma \quad (4.7)$$

¹⁴ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, 94 б

¹⁵ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, 95-98 б

(4.6) ва (4.7) ни ўзаро тенглаб, Ернинг тортиш кучи таъсирида кузатилаётган жисмнинг олган тезланишини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$a = \gamma \frac{M_{Yer}}{R_{Yer}^2} \quad (4.8)$$

(3.4) формуладаги катталиклар ўзгармас қийматга эга эканликларини эътиборга олсак, жисм ҳаракатига қаршилиқ кўрсатувчи кучлар мавжуд бўлмаган ҳоллардаги Ер сиртига яқин баландликларда ҳар қандай жисм бир хил тезланиш билан тушади деган хулосага келамиз. Бошқача айтганда, (4.8) да фақат Ернинг тортишиш кучи таъсирида вужудга келган эркин тушиш тезланишидир, шунинг учун уни “g”орқали белгилайлик, яъни

$$g = \gamma \frac{M_{Yer}}{R_{Yer}^2} \quad (4.9)$$

Жисм оғирлиги деганда, тутиб турувчи тағлиққа ёки осмага шу жисм томонидан кўрсатилаётган \vec{N} таъсир кучи тушунилади. Шунини таъкидлаб ўтиш керакки, \vec{P} жисмга қўйилган \vec{N} эса тағлиққа қўйилган, лекин жисмнинг ҳаракатсиз ҳолатида бу кучлар модул жиҳатидан бир-бирига тенг бўлиб, йўналишлари эса қарама-қаршидир.

ТАБИАТДАГИ КУЧЛАР ВА ИМПУЛЬС		
ЭЛЕКТРОМАГНИТ КУЧЛАР	ГРАВИТАЦИЯ КУЧЛАРИ	ИМПУЛЬС
ИШҚАЛАНИШ КУЧИ	ТОРТИШИШ КУЧИ	ЖИСМ ИМПУЛЬСИ
$F = \mu mg$	$F = \gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$	$P = m\vartheta$
ЭЛАСТИКЛИК КУЧИ	ОҒИРЛИК КУЧИ	КУЧ ИМПУЛЬСИ
$F = -k\Delta x$	$P = mg$	$K = F\Delta t$

НАЗОРАТСАВОЛЛАРИ

1. Оғирликкучиқандайкуч.
2. Гравитационкучқандайқонунгақўраҳосилбўлади.
3. Деформацияқандайфизиккатталиқ.
4. Эластикликвапластикдеформациядебнимагаайтилади.
5. Гукқонунигатаърифберинг.
6. Юнгмодулинитушунтиринг.
7. Ишқаланишкучларикандайкучлар. Уларнингқандайтурларимавжуд.

8. Кир ювадиган машинада кийимдаги сув томчиларини марказдан қочма куч таъсирида машина деворларига улоқтириши тўғрими?
9. Центрифуга билан қилинган тажрибаларда бир минутдаги айланишлар сон берилади ва бу кўрсаткич ҳисоб-китобларда нима учун камлик қилади?
10. Автомобиль тўғри йўлда ўзгармас тезлик билан ҳаракатланади дейлик. а) тепаликда; б) ботиқ йўлнинг энг паст нуқтасида; в) текис йўлда автомобилнинг қайси нуқталарида нормал босим кучи максимал ва минимал қийматларни қабул қилади?
11. Тойчоқли арғимчоқда учаётган болага таъсир қилаётган кучларни кўрсатинг.
12. Олма гравитацион куч билан Ерга таъсир қиладими? Агар А) дарахтдаги олма; б) Ерга тушаётган олма бўлса, у ҳолда унинг таъсир кучи нимага тенг?
13. Агар Ернинг массаси икки баробар ортса, Ойнинг орбитаси қандай ўзгаради?
14. Ердан Марсга қараб космик кема ўзгармас тезлик билан ҳаракатланмоқда. Марс сиртида эркин тушиш тезланиш $3,8 \text{ м/с}^2$ га тенг. 70 кг бўлган пассажирга таъсир қилувчи гравитацион кучни кема ва планетанинг орасидаги масофага боғланишини график кўринишда тасвирланг.
15. Қуёшнинг гравитацион тортишиш таъсири Ерга нисбатан Ойда бир неча баробар юқори бўлишига қарамасдан, Ердаги сув кўтарилиши нима учун Ойга боғлиқлигини тушунтиринг.

Амалий машғулот

4-мавзу. Табиатда кучлар. Эластиклик ва ишқаланиш кучлари

1. Агар потенциал энергия $U = x^2 + 2xy + 4y^2$ га тенг бўлса, у ҳолда $F_{\text{куч}}$ нимага тенг бўлади?
2. Идеал пружинанинг эластиклик кучи $F = -kx$ консерватив эканлигини исботланг.
4. Массаси m бўлган жисм қаттиқлик коэффициенти k бўлган пружинанинг охирига маҳкамланган. Жисмни x масофага силжитгандан сўнг у тебрана бошлади. Жисмнинг берилган қатталикларидан $-x$ ва x_0 оралиқда x нинг ҳар қандай нуқтадаги тўла механик энергиясини топинг.
5. Горизонтга нисбатан 30° бурчак остида $12,5 \text{ м/с}$ бошланғич тезлик билан футбол коптоғи отилди: а) коптокнинг энг юқори нуқтадаги тезлиги қандай? б) коптокнинг кўтарилиш баландлиги қанча? (Энергиянинг сақланиш қонунидан фойдаланинг).
6. Массаси 17 кг бўлган бола баландлиги 4,66 м бўлган баландликдан сирпаниб, $2,2 \text{ м/с}$ тезликда пастга тушди. Бунда қандай иссиқлик миқдори ажралиб чиқди?
7. Массаси 145 г бўлган бейсбол коптоғини баландлиги 22 м бўлган дарахтдан тушириб юборишди: а) Хавонинг қаршилигини эътиборга олмаган ҳолда у Ерга қандай тезлик билан урилади; б) агар ўлчанган тезлиги 9 м/с бўлса, шарик тушаётганда таъсир этаётган хавонинг ўртача қаршилиги нимага тенг бўлар эди?
8. $12,6 \text{ м/с}$ тезлик билан текис кетаётган чанғичи горизонтга нисбатан 20° ташкил этган тоғ тагига келиб, ундан қиялик бўйича 11,4 м юқorigа кўтарилди. Чанғининг қияликка нисбатан ўртача ишқаланиш коэффициенти нимага тенг?
9. Қуёшнинг тортиш кучи соҳасидан чиқиб кетадиган иккинчи космик: а) Қуёш сиртидаги ($R = 7,0 \cdot 10^5 \text{ км}$, $M = 2,0 \cdot 10^{30} \text{ кг}$); б) Қуёш ва Ердан ўртача $1,49 \cdot 10^8 \text{ км}$ масофадаги тезликларини топинг. Охирги ҳолатдаги тезликни Ернинг Қуёш атрофида айланиш тезлиги билан солиштиринг.

10. Иккинчи космик тезлик биринчи космик тезликдан $\sqrt{2}$ марта катта эканлигини исботланг¹.
11. Қуёш ва Ер орасидаги масофа йил давомида $1,471 \cdot 10^8 - 1,521 \cdot 10^8$ км орликда ўзгаради. Бу ҳолда умумий: а) потенциал энергия; б) кинетик энергия; в) тўлиқ энергиянинг ўзгариши қандай бўлади?
12. Ердан баландликда қўчаётган жисмнинг потенциал энергиясини ўзгариши $\Delta U = mgh/(1 + h/r_3)$ қўринишда ёзилишини кўрсатинг. Бу ерда Ер r_3 - радиуси.
13. Кўтарилиш қуввати 1,25 от кучига тенг бўлган кўтарилиш қурилмасидан фойдаланиб массаси 325 кг келадиган пионинани 16 м баландликда жойлашган 6 қаватнинг ойнасига кўтариш учун қанча вақт талаб қилинади.
14. Электр энергия киловатт – соатларда ўлчанади. Ҳақиқатда киловатт- соат электр энергия бирлиги эканлигини ва у $3,6 \cdot 10^6$ Ж га тенглигини кўрсатинг.
15. 5 км/с тезлик билан югираётган 80 кг массали футболлист, бошқа команда химоячиси томонидан 1, 0с га тўхтатиб турилди: а) футболлистнинг бошланғич тезлиги қандай бўлган; б) футболлистни тўхтатиб туриш учун унга қандай ўртача қувват талаб қилинган?
16. Автомобиль 90 км/ соат тезлик билан текис ҳаракат қилиши учун у қувватини 15 от кучига ошириш керак. Автомобилга ҳаво қаршилиги ва ишқаланиш тамонидан таъсир этаётган кучнинг ўртача қийматини топинг.
17. Массаси 200 кг бўлган яшиқни полда 1,22 м/с тезлик билан кўчириш учун қандай минимал қувват (откучида) олиш керак.

Work and Energy

ИШ ВА ЭНЕРГИЯ

5 – Маъруза

Режа

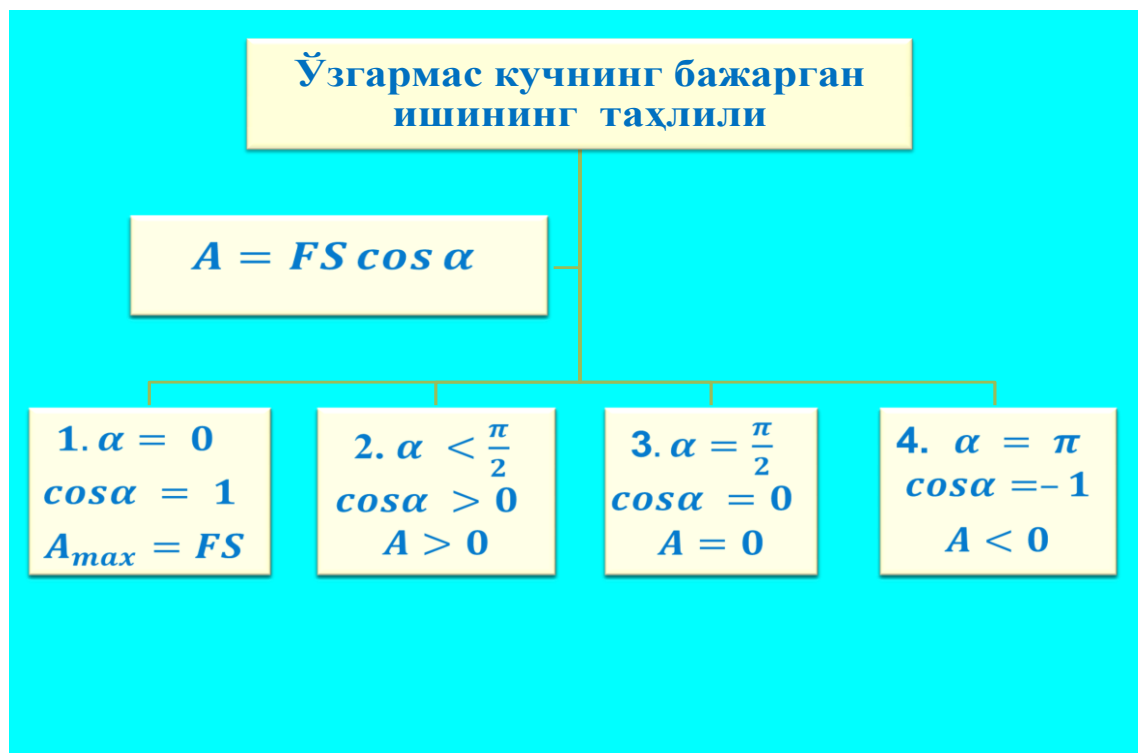
1. Механик иш, қувват ва энергия
2. Кинетик ва потенциал энергия.
3. Механикада энергиянинг сақланиш қонуни.
4. Импульс ва унинг сақланиш қонуни.

Кучнинг иши – бир бири билан таъсирлашаётган жисмлар орасидаги энергия алмашинуви жараёнининг миқдорий характеристикаси.

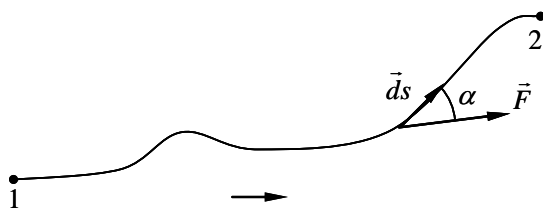
Кўчиш йўналишига бирор бурчак остида йўналган доимий куч таъсири остида тўғри чизиқли ҳаракатланаётган жисмнинг бажарган иши қуйидаги ифода билан аниқланади¹:

$$A = F_s s = F s \cos \alpha$$

Ишнинг ўлчов бирлиги – Жоуль (Ж): 1 Н куч таъсири остида 1 м масофани ўтишда бажарилган иш; 1 Ж = 1 Н·м.



Бирор жисм куч тасирида бир нуқтадан ихтиёрий траектория бўйича иккинчи нуқтага кўчирилган бўлсин. Умуман куч 1 нуқтадан 2 нуқтагача бўлган ораликда, ҳам сон қиймати бўйича, ҳам йўналиши бўйича ўзгариши мумкин. Масофани фикран чексиз миқдордаги жуда кичкина бўлакчаларга бўлайлик. Ҳар бир ds бўлакча шу даражада кичикки, уни тўғри чизикдан иборат ва ds узунлигида таъсир этаётган \vec{F} куч ўзгармас қийматга эга деб қараш мумкин. \vec{F} кучни шу куч таъсирида жисмнинг \vec{ds} кўчиш масофасига скаляр кўпайтмасидан иборат катталиққа, \vec{F} кучнинг кўчиш масофасидаги бажарган элементар иши деб аталади ва қуйидагича ифодаланади:

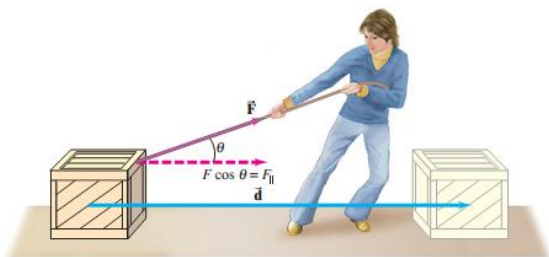


5.1 – расм

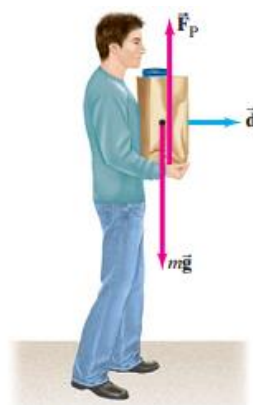
$$dA = \vec{F} \vec{ds} = F ds \cos \alpha \quad (5.1)$$

бунда α - куч ва кўчиш йўналиши орасидаги бурчак.

Бирор йўлда бажарилган иш ва шу йўлнинг барча кичик қисмларида бажарилган элементлар ишлар йиғиндисига тенг, яни иш аддитив катталик.



5.2 - расм. Ер сиртига θ бурчак остида йўналган F куч таъсирида бажарилган иш $Fd \cos \theta$ ¹⁶.



5.3 - расм. Бу ҳолатда бажарилган иш нолга тенг, чунки F куч d кўчишга перпендикуляр.¹⁶

Шунинг учун жисмни бир нуқтадан иккинчи нуқтага кўчиришда бажарилган ишнинг тўла миқдори қуйидагича ёзилиши мумкин:

$$A = \int_1^2 F \cos \alpha ds \quad (5.2)$$

Жисм ўзгармас куч таъсирида тўғри чизикли траектория бўйича кўчаётган бўлса, хусусий ҳолда S масофада бажарилган иш

$$A = Fs \cos \alpha \quad (5.3)$$

Агар куч йўналиши билан кўчиш йўналиши бир хил бўлса, (5.3) ифода

янада оддий кўринишга эга бўлади $A = Fs$ (5.4)

Вақт бирлигида бажарилган иш қувват деб аталади, яъни $P = \frac{dA}{dt}$ (5.5)

бунда dA - элемент иш, dt -элементар dA ишни бажариш учун кетган вақт.

Жисм бажарган ишнинг жадаллигини аниқлаш учун қувват тушунчаси киритилади. *Қувват* – Физик катталиқ бўлиб, бирлик вақт ичида бажарилган ишни англатади:

(5.4) ифода бўйича dA нинг қиймати ни (5.5) муносабатга келтириб қўйиб қуйидагига эга бўламиз.

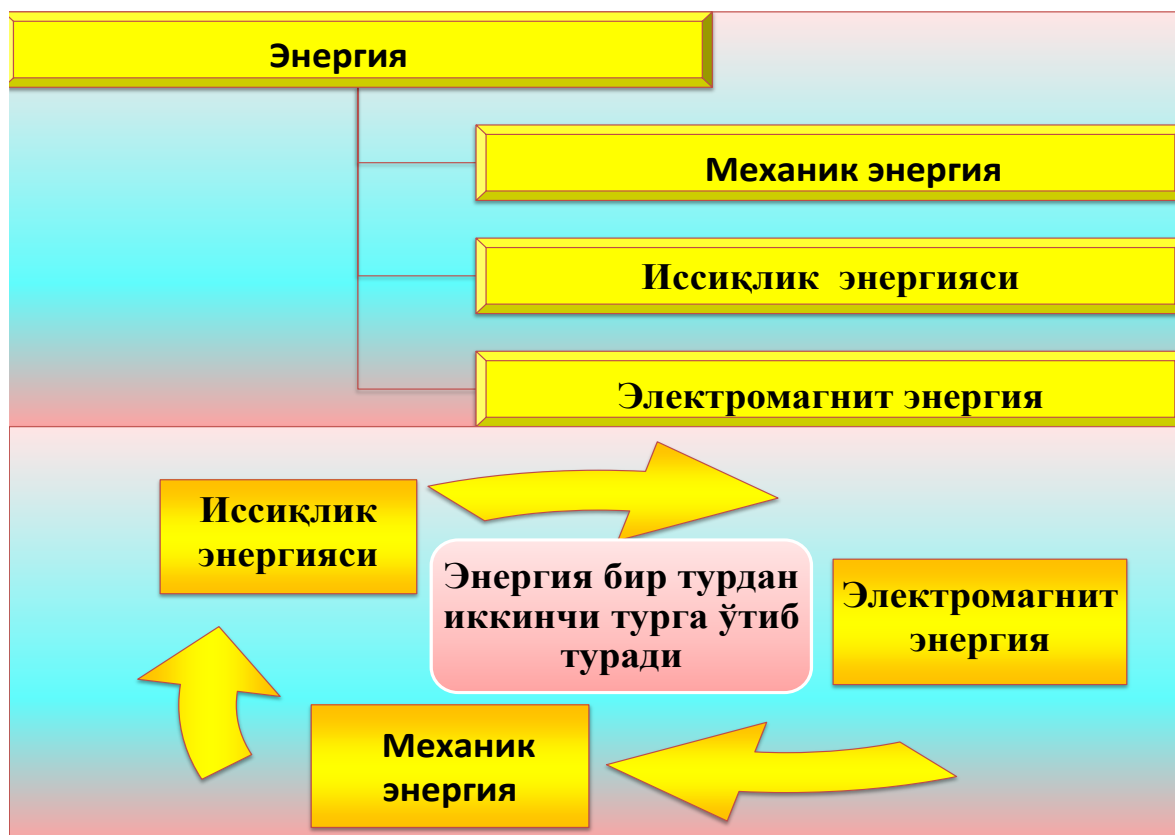
$$p = F \frac{ds}{dt} \cos \alpha = Fv \cos \alpha = \vec{F} \vec{v} \quad (5.6)$$

Демак, қувват таъсир этаётган \vec{F} кучни шу куч таъсирида жисм олган \vec{v} тезлигига скаляр кўпайтмасига тенг экан. (5.3) ва (5.6) формулалардан фойдаланиб, иш ва қувватнинг СИ системасидаги бирликлари билан танишиб чиқайлик. Иш бирлиги қилиб кўчиш йўналишида таъсир қилувчи 1 Ньютон кучнинг 1 метр масофада бажарган иши қабул

¹⁶ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, 138-142 б

қилинган ва уни Жоуль (Ж) деб аталади. Қувват бирлиги қилиб, 1 секунд вақт ичида 1 Жоуль иш бажарадиган механизмнинг қуввати қабул қилинган ва бу бирликка Ватт (Вт) деб ном берилган.¹⁷

Кинетик ва потенциал энергия.



Механик системанинг кинетик энергияси K – шу системанинг ҳаракат энергиясидир.

Тинч турган жисмга таъсир қилаётган ва уни ҳаракатга келтираётган куч, иш бажаради ва ҳаракатланаётган жисм энергияси шу бажарилган иш катталигига ортади. :

$$dW = dA$$

Жисмнинг ёки жисмлар системасининг иш бажара олиш қобилиятини энергия деб аталувчи физик катталик орқали ифодаланади. Механик энергия кинетик ва потенциал энергиялардан иборат бўлади. Кинетик энергиянинг мазмунига тушуниш учун массаси m га тенг, моддий нукта деб қаралиши мумкин бўлган жисм тезлигини F куч таъсирида v_1 дан v_2 гача орттиришдаги бажарилган ишни ҳисоблайлик. Жисмнинг элементар кесмада силжйтишдаги кучининг бажарган иши қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$dA = \vec{F} d\vec{\ell} = m \vec{a} d\vec{\ell}. \quad (5.7)$$

Жисм ҳаракатининг \vec{a} тезланишини тангенциал ва нормал ташкил этувчиларга ажратиб, (5.7)ни қуйидагича ёзиш мумкин:

¹⁷ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, Prentice Hall; 6th edition January 17, 2004 USA

$$dA = m(\vec{a}_t + \vec{a}_n)d\vec{\ell} = m\vec{a}_t d\vec{\ell} + m\vec{a}_n d\vec{\ell} \quad (5.8)$$

лекин тезланишнинг нормал ташкил этувчиси \vec{a} силжиш йўналишига доимо тик эканлигини эътиборга олсак, уларнинг скаляр кўпайтмаси $\vec{a}_n d\vec{\ell} = 0$.

Шунинг учун (5.8) ни

$$dA = m\vec{a}_t d\vec{\ell} = m \frac{d\vec{v}}{dt} d\vec{\ell} = m \frac{d\vec{\ell}}{dt} d\vec{v} = m \vec{v} d\vec{v} \quad (5.9)$$

кўринишда ёзиш мумкин

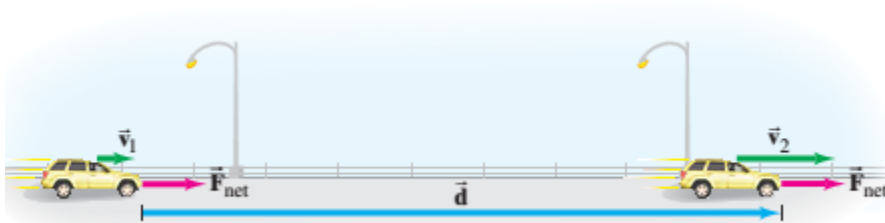
Жисм тезлигининг v_1 дан v_2 гача ортишидаги ишни қуйидагича ҳисоблаймиз:

$$A = \int_{v_1}^{v_2} m v dv = \frac{m v_2^2}{2} - \frac{m v_1^2}{2} = \frac{P_2^2}{2m} - \frac{P_1^2}{2m} \quad (5.10)$$

Агар бошлангич тезлик, $v_1 = 0$ бўлса, у ҳолда қуйидаги ифодага эга бўламиз;

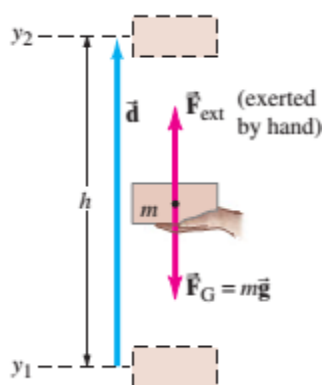
$$A = \frac{m v^2}{2} - 0$$

Демак, бажарилган иш жисм массасига ва унинг тезлиги (импульси) га боғлиқ бўлган катталиқнинг ўзгаришига тенг экан. Бу катталикка жисмнинг кинетик энергияси деб аталади расмга қаранг :



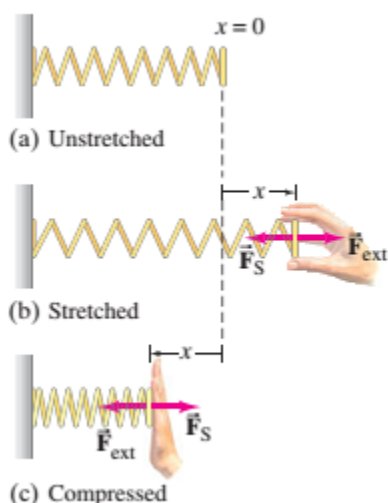
$$E_k = \frac{m v^2}{2} = \frac{P^2}{2m} \quad (5.11)^1$$

Кинетик энергияга эга бўлган жисм иш бажариш қобилиятига эга. Шунинг учун кинетик энергияни қуйидагича таърифлаш мумкин: кинетик энергия жисмнинг ҳаракатдаги (тезлиги v га тенг) энергияси бўлиб, у сон жиҳатидан тезликни v дан нолгача камайтирилишидаги шу жисмнинг бажара олиши мумкин бўлган тўла ишига тенгдир.



Жисмни ташкил этувчи зарралар (молекуларлар, атомлар) нинг ёки системага кирувчи жисмларнинг ўзаро таъсир кучларини мутлақо йўқолгунча (ёки бошқа тоифадаги кучлар билан тўла равишда мувозанатлашгунча), шу кучларнинг бажариши мумкин бўлган тўла ишга сон жиҳатдан тенг бўлган катталиқка потенциал энергия деб аталади (расмга этибор беринг).¹⁸

Баъзи мисолларни кўриб чиқайлик. Чўзилган пружинанинг потенциал энергияси деформациянинг (расмга қаранг) мутлақо йўқолгунча эластиклик кучининг бажарган ишига тенгдир, яъни



$$E_p = A = -\int_x^0 kx dx = \frac{1}{2} kx^2 \quad (5.12)$$

Пружина x катталиқка қисилганда ҳам (5.12) оркали аниқланувчи потенциал энергия вужудга келади. Демак, пружинанинг чўзилишида ёки қисилишида юзага келаётган потенциал энергия пружина таркибидаги заррачаларнинг бир-биридан узоқлашиши ёки бир-бирига яқинлашиши ва шунга мос равишда улар орасида ўзаро тортишиш ёки итаришиш кучларнинг ҳосил бўлиши натижасидир.

Яна бир мисол тариқасида Ернинг тортишиш майдонига жойлашган жисмнинг потенциал энергиясини ҳисоблаб чиқамиз. Берилган нуқтадаги жисмнинг потенциал энергияси жисмни шу нуқтадан чексизликка кўчиришдаги тортишиш кучининг ишига тенг, яъни

$$E_p = -\int_r^\infty \gamma \frac{M_{yee} m}{r^2} dr = -\gamma M_{yee} m \int_r^\infty \frac{dr}{r^2} = -\gamma \frac{M_{yee} m}{r} \quad (5.13)$$

Ернинг тортишиш майдонига жойлаштирилган жисмнинг потенциал энергияси жисм Ер марказидан ўзоқлашган сари ортиб боради. Жисм Ер марказидан чексиз ўзоқлашганда эса потенциал энергия ўзининг энг катта қийматига эришади. Иккинчи томондан, (5.13) га асосан $r \rightarrow \infty$ да $E_p \rightarrow 0$

¹⁸ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, 148-149 б

Энергиянинг сақланиш қонуни. Моддий нукта деб қаралиши мумкин бўлган N та жисмдан иборат бўлган системага ҳеч қандай ташқи кучлар таъсир этмаётган бўлсин. Биз бундай берк системанинг тўла импульси ҳамма вақт ўзгармас катталиқдан иборат бўлиб қолишини кўриб чиққан эдик. Энди системанинг тўла механик энергияси билан танишайлик.

Системадаги жисм массаларини m_1, m_2, \dots, m_N ҳар бир жисмнинг фазодаги вазиятини аниқловчи радиус-векторларни $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_N$ ва ҳар бир i – жисмга системадаги бошқа жисмларнинг кўрсатаётган таъсир кучларини $\vec{F}_{i1}, \vec{F}_{i2}, \dots, \vec{F}_{i(i-1)}, \vec{F}_{i(i+1)}, \dots, \vec{F}_{iN}$ деб белгилайлик ва бу кучлар фақат консерватив кучлардан иборат бўлсин. i – жисм учун Ньютоннинг иккинчи қонунини татбиқ этилса қуйидаги ифодага эга бўлинади:

$$m_i \frac{d\vec{v}_i}{dt} = \vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{i(i-1)} + \vec{F}_{i(i+1)} + \dots + \vec{F}_{iN} \quad (5.14)$$

Кузатилаётган i – жисм шу таъсир этаётган кучлар туфайли dt вақт ичида $d\vec{r}_i$ га силжиган бўлсин. (5.14)нинг ккаләқисмини $d\vec{r}_i$ гаскаляркўпайтирамиз:

$$d\vec{r}_i m_i \frac{d\vec{v}_i}{dt} = (\vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{iN}) d\vec{r}_i \quad (5.15)$$

ва бундан $d\vec{r}_i = \vec{v}_i dt$ эканлигини эътиборга олиб юқоридаги формулани қуйидагича ёзиш

$$\text{мумкин:} \quad m_i \vec{v}_i d\vec{v}_i = (\vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{iN}) d\vec{r}_i \quad (5.16)$$

формула фақат i -жисм учун ёзилган. Бундай формулаларни системадаги барча жисмлар учун ёзиб, уларни мос равишда қўшиб чиксак:

$$\sum_{i=1}^N m_i \vec{v}_i d\vec{v}_i - \sum (\vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{iN}) d\vec{r}_i = 0 \quad (5.17) \text{ ҳосил бўлади.}$$

Маълумки, $m_i \vec{v}_i d\vec{v}_i$ – i – жисм кинетик энергиясининг, $\sum_{i=1}^N m_i \vec{v}_i d\vec{v}_i$ эса система кинетик энергиясининг ўзгаришини ифодалайди.

$(\vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{iN}) d\vec{r}_i$ – i – жисмга таъсир қилаётган консерватив кучларнинг бажарган иши бўлиб, бу катталиқ иккинчи томондан жисм потенциал энергиясининг ўзгаришига тенг.

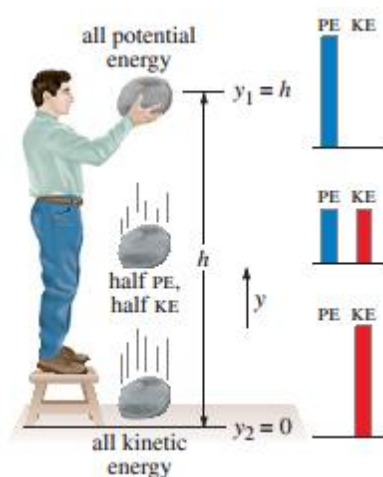
Кузатилаётган ҳолда иш мусбат катталиқдан иборат бўлиб, бу жисм потенциал энергиясининг камайиши ҳисобига бажарилади, шунинг учун

$$-(\vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{iN}) d\vec{r}_i = dE_p$$

ва (5.17)нинг иккинчи ҳади система потенциал энергиясининг ўзгаришини ифодалайди. Натижада (5.17) ни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$dE_k + dE_p = 0, d(E_k + E_p) = 0, \text{ёки } E_k + E_p = \text{const}, \quad (5.18)$$

бунда $E_k + E_p$ - системанинг тўла механик энергияси. (5.18) формуладан қуйидаги муҳим хулосага келишимиз мумкин: берк системада фақат консерватив кучлар мавжуд бўлса, системанинг тўла механик энергияси ўзгармас қийматга эга бўлиб қолади, бу механик энергиянинг сақланиш қонунидир.



5.4-расм. Ҳар қандай жараёнда ҳам энергия кўпаймайди ва камаймайди ҳам. Энергия бир турдан бошқа турга айланиши ёки бир жисмдан бошқа жисмга ўтиши мумкин, лекин тўла механик энергия ўзгаришсиз сақланади.¹⁹

$$W = W_k + W_p = \text{const}$$

Механик энергиянинг сақланиш қонуни ҳар қандай инерциал санок системасида бажарилади. Берк системадаги кучлар фақат консерватив кучлардан иборат бўлганда (5.18) га асосан

$$dE_k = -dE_p$$

яъни кинетик энергия фақат потенциал энергиянинг камайиши ҳисобига ҳосил бўлиши мумкин. ўз-ўзидан равшанки, системанинг кинетик энергияси нолга тенг, потенциал энергияси эса ўзининг энг кичик қийматига эга бўлган ҳолда ҳеч қандай ҳаракат содир бўлмайди. Системанинг бундай ҳолати турғун мувозанатли ҳолат деб аталади.

Агар берк системада консерватив кучлардан ташқари ноконсерватив кучлар мисол учун ишқаланиш кучлари ҳам мавжуд бўлса, системанинг тўла энергияси вақт ўтиши билан камайиб боради Буниинг ҳисобига номеханик турдаги энергиялар, масалан, иссиқлик ёки кимиёвий, электромагнит майдон энергиялари ва бошқалар вақт ўтиши билан ортиб боради. Лекин энергиянинг ҳамма турларининг йиғиндиси вақт ўтиши билан ўзгармай қолади¹.

Демак, ҳар қандай берк системада энергия ҳеч қачон янгидан пайдо бўлмайди ва ҳеч қачон йўқолиб ҳам кетмайди, фақат энергия бир турдан иккинчи турга ўтиб туради. Бу энергиянинг сақланиш қонуни бўлиб, физиканинг энг асосий ва умумий қонунларидан биридир.

¹⁹ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, 146-153 б

Импульс ва инерция марказининг сақланиш қонуни

Импульсининг сақланиш қонуни жисмлар тизими учун муҳим аҳамият касб этади. Жисмлар тизими ёки соддагина "тизим" деганда ўзаро таъсирлашувчи бир нечта жисмлар тўпламини тушунамиз. Тизимга ташқи кучлар таъсир этмаса, бундай тизим берк тизим дейилади. Қуёш тизими жуда катта аниқлик билан берк тизим бўла олади. Биз яшаб турган табиий шароитларда эса берк тизим мавжуд эмас, чунки Ер сиртидаги ҳар қандай тизимга ҳеч бўлмаганда Ернинг тортиш кучи таъсир этади. Лекин тизимдаги жисмларнинг таъсир кучларига нисбатан ташқи кучлар ҳисобга олинмаса ёки ҳисобга олинмаслик даражасида кичик бўлса, бундай тизимни берк тизим деб қараш мумкин.

Тизимдаги жисмларнинг ўзаро таъсир кучларини **ички кучлар** дейилади. Тизим учун импульснинг сақланиш қонуни Ньютоннинг иккинчи ҳамда учинчи қонунларига асосланган ва бу ҳақдаги мулоҳазалар инерциал санок тизимига нисбатан олиб борилади. Дастлаб n та жисмли берк тизимни олиб қарайлик. Тизим берк бўлганлиги туфайли унга таъсир этувчи ташки кучларнинг тенг таъсир этувчиси нолга тенг, яъни тизимда факт ички кучларгина мавжуд. Тизимдаги n та жисмнинг ҳар бирининг импульсини P_1, P_2, \dots, P_n деб белгиласак, тизим импульси

$$\vec{P} = \sum_i \vec{P}_i = \sum_i m_i \vec{v}_i$$

тарзида ифодаланади, бу орада $\vec{P}_i = m_i \nu_i - i$ – жисмнинг импульси. Берк тизимдаги ҳар бир жисм учун Ньютоннинг иккинчи қонунини қўйидагича ёзамиз:

[illegible]

бунда \vec{F}_{12} - биринчи жисмга иккинчи жисм томонидан таъсир этувчи куч; \vec{F}_{21} - иккинчи жисмга биринчи жисм томонидан таъсир этувчи куч ва ҳақозо. Равшанки, тизимдаги ҳамма жисмлар ўзаро таъсирлашадилар.

Умумий ҳолда (1) ифодани

$$\frac{d}{dt} \sum_i m_i \vec{v}_i = \sum_i \vec{F}_{iR} (i \neq R; i, R=1,2,\dots,n) \quad (2)$$

тарзида ёзамиз, бу формуланинг ўнг томони тизимдаги ички кучларнинг вектор йиғиндисини акс эттиради. Тизимдаги бирор жисмнинг шу тизимдаги бошқа бир жисм билан ўзаро таъсири Ньютоннинг учинчи қонунига бўйсунади:

$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$, $\vec{F}_{13} = -\vec{F}_{31}$, $\vec{F}_{23} = -\vec{F}_{32}$ ва ҳақозо. Умуман олганда i - жисм j - жисмга \vec{F}_{ji} куч билан таъсир этса, j - жисм ҳам i - жисмга \vec{F}_{ij} куч билан таъсир этади:

$$\vec{F}_{ji} = -\vec{F}_{ij}.$$

Бинобарин, (2) тенгликнинг ўнг томонида ифодаланган ички кучларнинг вектор йиғиндиси нолга тенг:

$$\sum_i \vec{F}_{iR} = 0 \quad (i \neq R, \quad i, \quad R = 1, 2, \dots, n). \quad (3)$$

Демак, берк тизим учун

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = 0 \quad \text{ёки} \quad \frac{d}{dt} \sum_i m_i \vec{v}_i = 0$$

Ифода ҳосил бўлади. Бу ифодадан:

$$\vec{P} = \sum_i m_i \vec{v}_i = \text{const}. \quad (4)$$

деган хулосага келамиз. (4) ифода берк тизим учун импульснинг сақланиш қонуни ифодалайди: *берк тизимнинг импульси вақт ўтиши билан ўзгармайди*. Бошқача айтганда берк тизм айрим жисмларнинг импульслари вақт ўтиши билан ўзгарсада, унинг импульси ўзгармай қолади. Бу ерда зикр этилган ўзгаришлар шундай содир бўладики, масалан, тизимдаги бирор жисмнинг импульси камайса, шу тизимдаги бошқа жисмнинг импульси шунча ошади.

Тизимга ташқи кучлар таъсир этаётган бўлса, у берк тизим бўла олмайди ва бундай тизим учун импульснинг сақланиш қонуни бажарилмайди. Бундай тизим учун Ньютоннинг иккинчи қонуни қуйидагича ёзилади:

$$\frac{d}{dt} \sum_i m_i \vec{v}_i = \sum_i \vec{F}_{iR} + \vec{F}_T \quad (i = R = 1, 2, \dots, n),$$

Бу ерда $\sum_i \vec{F}_{iR}$ - ички кучларнинг вектор йиғиндиси; \vec{F}_T - ташқи кучларнинг тенг таъсир этувчиси. (3) га асосан ички кучларнинг вектор йиғиндиси нолга тенг эканлигини эътиборга олсак, бу тенглик қуйидаги кўринишни олади:

$$\frac{d}{dt} \sum_i m_i \vec{v}_i = \vec{F}_T \quad (5)$$

Бу тенглама механик тизим импульсининг ўзгариш қонунини ифодалайди; тизим импульсидан вақт бўйича олинган биринчи тартибли ҳосила тизимга таъсир этувчи ташқи кучларнинг тенг таъсир этувчисига тенг.

Инерция маркази ва унинг сақланиш қонуни

Кўп ҳолларда бир неча жисмдан иборат механик тизимнинг ҳаракат қонунларини ўрганиш билан иш кўришга тўғри келади. Бундай тизимнинг ҳаракат қонунларини ўрганишда мазкур тизим таркибидаги жисмларнинг унда қандай тақсимланганлигини ёки бу жисмлар бир-бирига нисбатан тизимда қандай жойлашганлигини билиш зарурияти туғилади. Шу муносабат билан инерция маркази деган тушунча киритилади.

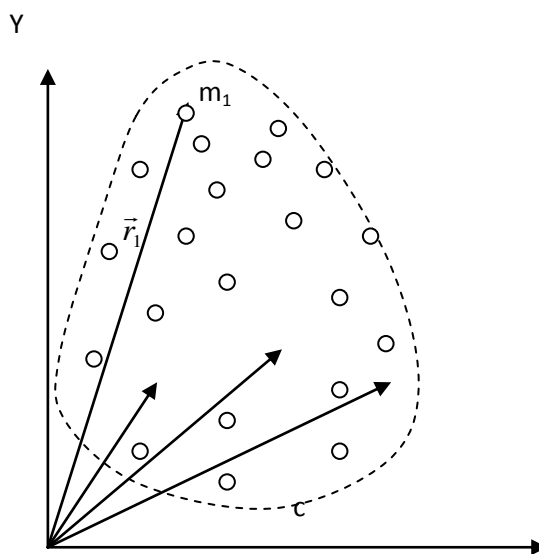
Инерция маркази ва оғирлик маркази деган тушунчалар орасида қуйидаги фарқ борилигини эсдан чиқармаслик керак: оғирлик маркази - бир жинсли оғирлик кучи майдонида жойлашган қаттиқ жисмлар учунгина маънога эга; инерция маркази эса ҳеч қандай майдон билан боғлиқ эмас ва ихтиёрий механик тизим учун ўринлидир. Оғирлик кучи майдонида жойлашган қаттиқ жисмлар учун инерция маркази ва оғирлик маркази бир-бири билан мос тушади, яъни бир нуқтада жойлашган бўлади. Инерция маркази массанинг тақсимланишини тасвирловчи геометрик нуқта бўлиб, унинг вазияти координаталар бошига нисбатан \vec{r}_c радиус - вектор билан қуйидагича аниқланади.

$$\vec{r}_c = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + \dots + m_n \vec{r}_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n},$$

яъни

$$\vec{r}_c = \frac{1}{m} \sum_i m_i \vec{r}_i, \quad (6)$$

бу ерда m_i – тизимга мансуб i – жисм-нинг массаси; \vec{r}_i – координаталар боши 0 га нисбатан i -жисмнинг вазиятини аниқловчи радиус-вектор; $m = m_1 + m_2 + \dots + m_n$ - тизимнинг умумий массаси



Инерция марказининг сақланиш қонуни. Массанинг аддитивлиги.

Фараз қилайлик, n та жисмдан иборат тизим фазода ҳаракатланаётган бўлсин. Тизим инерция марказини аниқловчи радиус-вектор \vec{r}_c дан вақт бўйича олинган ҳосила инерция марказининг тезлигини ифодалайди:

$$\vec{v}_c = \frac{d\vec{r}_c}{dt} \quad (7)$$

(6) формулани (7) қўйиб, инерция марказининг тезлиги учун

$$\vec{v}_c = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{m} \sum_i m_i \vec{r}_i \right) = \frac{1}{m} \sum_i m_i \frac{d\vec{r}_i}{dt} = \frac{1}{m} \sum_i m_i \vec{v}_i = \frac{1}{m} \sum_i \vec{P}_i \quad (8)$$

га эга бўламиз: бу ерда \vec{v}_i ва \vec{P}_i мос равишда i - жисмнинг тезлиги ва импульси; равшанки

$$\vec{P} = \sum_i \vec{P}_i = \sum_i m_i \vec{v}_i \quad (9)$$

тизимни тўла импульси бўлиб, кўпинча \vec{P} - инерция марказининг импульси ҳам дейилади; m - тизимнинг умумий массаси, яъни

$$m = m_1 + m_2 + \dots + m_n = \sum_i m_i \quad (10)$$

Энди (9) ни кўзда тутиб, (8) ифодани қуйидагича ёзамиз:

$$\vec{v}_c = \frac{\vec{P}}{m} \text{ ёки } \vec{P} = m \vec{v}_c \quad (11)$$

Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан тизимнинг тўла импульсидан вақт бўйича олинган ҳосила шу тизимга таъсир этаётган ташқи кучларнинг вектор йиғиндисига тенг:

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = m \frac{d\vec{v}_c}{dt} = m \vec{a}_c = \vec{F}_T, \quad (12)$$

Бу ерда \vec{a}_c – инерция марказининг тезланиши \vec{F}_T – тизимга таъсир этаётган ташқи кучларнинг вектор йиғиндиси. Берк тизимда унга таъсир этувчи ташқи кучлар мавжуд эмас, ёки ташқи кучларнинг тенг таъсир этувчиси нольга тенг. $\vec{F}_T = 0$. У ҳолда охириги тенгликдан инерция марказининг тезланиши

$$\vec{a}_c = \frac{d\vec{v}_c}{dt} = 0 \text{ бўлади.}$$

Бундан $\vec{v}_c = \text{const}$ эканлиги келиб чиқади. Бу хулоса *инерция марказининг сақланиш қонунини* ифодалайди ва у қуйидагича таърифланади:

Берк тизимнинг инерция маркази тўғри чизиқ бўйлаб текис ҳаракат қилади ёки тинч ҳолатда бўлади.

Тизим импульсининг сақланиш қонунидан массанинг аддитивлик қонуни келиб чиқади.

(11) ифодадан кўриниб турибдики, тизим импульси билан унинг инерция маркази тезлиги орасидаги боғланиш шакл жиҳатидан битта жисмнинг импульси билан тезлиги орасида боғланишнинг ўзгинасидир. Шу билан бирга, бу ифодадаги мутаносиблик коэффицентининг ўрнида турган m катталиқ тизим таркибига кирувчи айрим жисмлар массаларининг йиғиндисига деган маънога эга.

Шундай қилиб, *массанинг аддитивлик қонуни* қуйидагича ифодаланади: *tizimning massasi uning tarkibiдаги айрим жисмлар массаларининг йиғиндисига тенг*. Масалан, йўлда кетаётган вагонни йўловчилари билан билан бирга бир тизим деб қарасак, унинг умумий массаси, равшанки, унинг ичидаги айрим йўловчилар массалари ва вагоннинг ўзининг айрим қисмлари массаларининг йиғиндисига тенг.

Таянч сўз ва иборалар

Импульс, механик иш, қувват, энергия, консерватив кучлар, ноконсерватив кучлар, кинетик энергия, энергиянинг сақланиши, иш бирлиги, қувват бирлиги, энергиянинг бирлиги.

НАЗОРАТ САВОЛЛАР

1. Физикада иш тушунчаси кундалиқ ҳаётимиздаги иш тушунчаси билан мос келадими? Уларнинг қандай фарқи бор?
2. Импульс деб нимага айтилади.
3. Иш қандай механик катталиқ.
4. Динамик ишқаланиш томонидан бажарилган иш нима учун ҳар доим манфий?
5. Импульсининг сақланиш қонунини тушунтиринг.
6. Дарё оқимиға қарши сузаётган одам қирғоққа нисбатан ҳаракатланмайди (кўчмайди), бу ҳолатда у иш бажарадими? Агар усузишни тўхтатса, оқимнинг ҳисобига у кўчади, бу ҳолатда одамни кўчиришда иш бажариладими?
7. Кинетик энергия қандай аниқланади.
8. Энергия қандай физик маънога эга.
9. Потенциал энергияни тушунтиринг.
10. Икки векторнинг скаляр кўпайтмаси координата системасининг танланишига боғлиқми?
11. Икки векторнинг скаляр кўпайтмаси манфий бўлиши мумкинми? Агар мумкин бўлса, у ҳолда қандай шартлар бажарилиши кераклигини кўрсатинг.
12. Марказга интилма куч қандай иш бажаришини тушунтиринг.
13. Жисмнинг кўчиш векторига перпендикуляр бўлган нормал реакция кучи иш бажаришини тушунтиринг.

Амалий машғулот

Механик иш ва энергия. Кинетик ва потенциал энергия.

Импульс ва унинг сақланиш қонуни.

1. 48 кг массали аёл 45 м баландликка зинопоядан кўтариляпти. Бунда у қандай иш бажаради?
2. Қозикни қоқаётган 37,8 кг массали жисм $5,6 \cdot 10^4$ Ж иш бажариш учун қандай баландликдан кулаш керак?

3. Ўзгармас тезликда 125 км масофани ўтган автомобил двигателининг иши $5,8 \cdot 10^4$ Ж . Автомобилга таъсир этган ўртача ишқаланиш кучи нимага тенг?
4. Эффе́ктив ишқаланиш коэффи́циенти 0,060 бўлган йўл 300 кг массали аравани 50 км га горизонтал тортиб борган от қанча иш бажаради?
5. Полда 59 кг массали яшиқ турибди. а) Агар ишқаланиш кучи 150 Н га тенг бўлса полда 12 м горизонтал йўналишда; б) вертикал 12 м юқорига , яшиқни ўзгармас тезликда кўчириш учун қандай иш сарфлаш керак?
6. Жоуль ва эрг орасида бир-бирига ўтказиш коэффи́циенти нимага тенг?
7. Ўзгармас тезликда 1250 кг массали автомобилни 115 м юқорига горизонт билан $13,5^0$ бурчак ташкил қилган текислика кўчириш учун қанча иш бажариш талаб қилинади? А) ишқаланишни ҳисобга олманг; б) ишқаланиш коэффи́циенти 0,090 га тенгдеб олинг.
8. Массаси $1,99 \cdot 10^{-26}$ кг углерод атоми $4,64 \cdot 10^{-19}$ Ж кинетик энергияга эга . Унинг ҳаракат тезлиги нимага тенг?
9. Тезлиги 90 км/соат 1000 кг массали автомобиль 30 км/соат тезликкача тормоз берса , у қандай иш бажаради?
10. Электрон ($m = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг) тинч ҳолатдан тезлигини $2,10 \cdot 10^6$ м/с га тезлаштирганда у қандай иш бажаради?
11. Массаси 3 г бўлган чигиртка сакраганда ўз тезлигини 3,4 м/с га ўзгартиради. Бу тезликда унинг кинетик энергияси нимага тенг? Агар чигиртка ФИК ни 40% алмаштирса, у бу сакраш учун қанча энергия сарфлайди?
12. Массаси 1250 кг бўлган автомобиль горизонтал текисликда 40 км/соат тезлик билан горизонтал ҳолатда турган пружинага урилади ва уни сиқиб , 2,5м дан кейин тўхтайди. Пружинанинг Эластиклик коэффи́циенти нимага тенг?
13. Массаси 140 г бўлган бейсбол коптоги 30 м/с тезлик билан ҳаракатланиб, ушлаб олувчи ўйинчининг қўлига тегиб, уни 35 см орқага суради. Копток томондан ўйинчининг қўлига таъсир этган ўртача куч нимага тенг?
14. Горизонтал пружинани Х катталиқкача сиқиш учун керак бўлган куч $F = 230x + 2,7x^3$ кўринишда ёзилади. бу ерда x метрларда, F – ньютонларда ифодаланади. Агар пружина 2 м га сиқилган бўлса унда унинг олдида жойлаштирилган 3 кг массали шарикка қандай тезлик беради?
15. Агар автомобилнинг тезлиги икки марта ошса, унинг минимал тормоз йўли неча марта ошади?

Rotational Motion

АЙАНМА ҲАРАКАТ

Режа

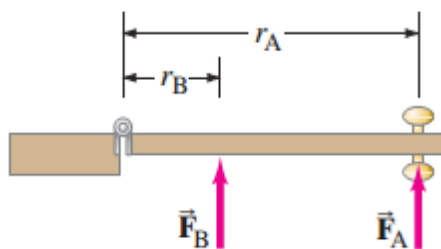
1. Моддий нукта ва қаттиқ жисмнинг инерция моменти
2. Штейнер теоремаси. Куч моменти
3. Айланма ҳаракат динамикасининг асосий тенгламаси.
4. Импульс моменти ва унинг сақланиш қонуни
5. Айланма ҳаракат қилаётган жисм энергияси

Куч моменти

Иккита кучнинг моменти миқдор жиҳатдан кучлардан бирининг шу куч қўйилган нуктагача бўлган масофага кўпайтмасига тенг.

Бурчак тезланиш кучнинг куч елкасига кўпайтмасига пропорционал. Бу кўпайтма айланиш ўқиға нисбатан куч моменти (ёки айлантирувчи момент) дейилади ва тбилан белгиланади¹.

$$\tau \sim a = F \cdot r$$



6.1 - расм. Ҳар хил елкаға эға бўлган иккита бир хил кучнинг жисмға таъсири.²⁰

Бунда \vec{F} моддий нуктаға таъсир этувчи барча кучларнинг тенг таъсир этувчисидир. Куч моменти \vec{M} псевдовектор бўлиб, у \vec{r} ва \vec{F} векторлар ётган текисликка тик йўналган, йўналиши эса ўнг винт қоидаси билан аниқланади, яъни ўнг винтни \vec{r} дан \vec{F} га қараб бураганда винтнинг илгарилама ҳаракати \vec{M} нинг йўналиши билан мос тушади. Куч моментининг сон қиймати, равшанки:

$$M = Fr \sin \alpha = Fl \quad (11)$$

Бу ерда α – \vec{r} ва \vec{F} векторлар орасидаги бурчак $l = r \sin \alpha$ эса О нуктадан \vec{F} кучнинг таъсир чизиғига туширилган тик чизикнинг узунлиги (О нуктадан \vec{F} кучнинг таъсир чизиғигача бўлган энг яқин масофа) бўлиб, у куч елкаси дейилади. Z ўқ \vec{M} векторнинг йўналиши билан мос тушса, у ҳолда куч моменти ўқ йўналишидаги вектор тарзида ифодаланиши мукин.

$$\vec{M}_z = [\vec{r}, \vec{F}]_z \quad (12)$$

²⁰ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, 198-200 б

Энди n та моддий нуқтадан иборат тизимни олиб қарайлик. Тизимдаги i моддий нуқтанинг O нуқтага нисбатан вазиятини \vec{r}_i радиус-вектор билан ва унга таъсир қилувчи \vec{F}_i орқали белгиласак, O нуқтага нисбатан мазкур кучнинг моменти:

$$\vec{M}_i = [\vec{r}_i, \vec{F}_i] \quad (13)$$

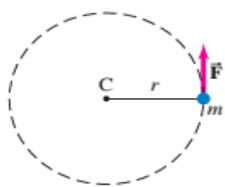
тарзда ифодаланади. O нуқтага нисбатан моддий нуқталар тизимига таъсир этувчи куч моментини тавсифлашда барча моддий нуқталарнинг O нуқтага нисбатан бир бутун (яхлит) тарзда олиб қаралади (қаттиқ жисмни моддий нуқталар тизими деб қараш мумкин.). *О нуқтага нисбатан моддий нуқталар тизимига таъсир этувчи куч моменти деб ҳар бир моддий нуқтага қўйилган куч моментларининг вектор йиғиндисига айтилади:*

$$\vec{M} = \sum_i \vec{M}_i = \sum_i [\vec{r}_i, \vec{F}_i] \quad (14)$$

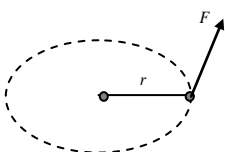
бунда \vec{F}_i – i моддий нуқтага таъсир этувчи ташқи кучнигина ифодалайди. Шу нарсани алоҳида таъкидлаш лозимки, тизимидаги ҳар бир моддий нуқтага таъсир этувчи ташқи кучдан ташқари, моддий нуқталарнинг ўзаро таъсири туфайли вужудга келувчи кучлар ҳам мавжуд. Маълумки, бу кучлар ички кучлар дейилади. Ички кучларнинг вектор йиғиндисини нолга тенг бўлганлиги туфайли (14) ифодада фақат ташқи кучларгина акс эттирилади

Айланма ҳаракат динамикасининг асосий тенгламаси. Жисмни Δm_i элементар массаларга бўлиб чиқамиз. Шунда ҳар бир Δm_i га элементар айлантирувчи куч ΔF_i таъсир қилади (6.2-расм). Ньютоннинг 2 қонунига биноан.

$$\Delta F_i = \Delta m_i a_i \quad (6.1)$$



6.2-расм



бу ерда a_i – Δm_i нинг чизикли тезланиши. Бу тенгламанинг икки тарафини r_i га кўпайтирамиз

$$\Delta F_i \cdot r_i = \Delta m_i a_i \cdot r_i \quad (6.2)$$

Δm_i элементлар массасининг чизикли тезлиги $v_i = \omega r_i$ бўлгани учун бу тезлик ўзгармас радиусда фақат ω ўзгарганда ўзгариши мумкин:

$$\Delta v_i = \Delta \omega r_i$$

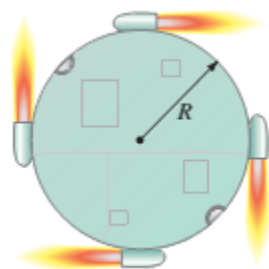
Бу формуладан $\Delta \omega = \frac{\Delta v_i}{r_i}$ эканлигини аниқлаймиз. Бу ифодадан Δm_i нинг бурчак тезланишини топамиз:

$$\varepsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{1}{r_i} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_i}{\Delta t} = \frac{1}{r_i} a_i$$

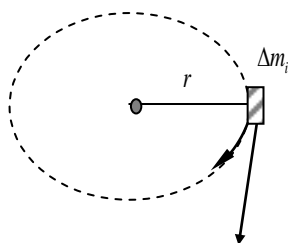
Бу ерда $a_i = \varepsilon r_i$ эканлигини аниқлаймиз. Бу ифодани (6.2) га қўйсақ қуйидаги муносабат ҳосил бўлади:

$$\Delta F_i \cdot r_i = \Delta m_i \cdot r_i^2 \varepsilon \quad (6.3)$$

$\Delta F_i r_i = \Delta M_i$ - айлантирувчи куч моменти. $\Delta m_i r_i^2 = \Delta J_i$ (6.3-расм) деб белгилаймиз.



6.3-расм



$$\Delta J_i = \Delta m_i \cdot r_i^2$$

Демак,
$$\Delta M_i = \Delta J_i \varepsilon$$

ΔJ_i элементар масса Δm_i нинг инерция моменти деб аталади. ΔM_i нинг Суммаси қуйидагича баробар¹:

$$M = \sum_i \Delta M_i = \varepsilon \sum_i \Delta J_i = J \varepsilon \quad (6.4)$$

$M = \sum_i \Delta M_i$ - жисмга қўйилган айлантирувчи момент, $J = \sum_i \Delta J_i$ - жисмнинг тўлаинерция

моменти. Демак $M = J \varepsilon$ (6.5) - айланиш динамикасининг асосий қонуни.

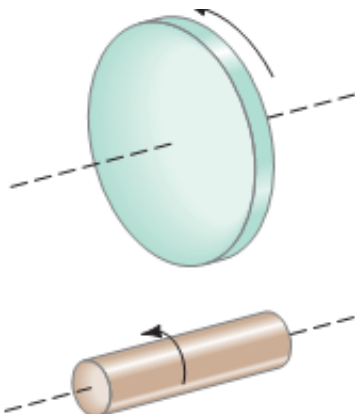
Жисмларнинг инерция моменти. Инерция моменти (тўғри чизиқли ҳаракатдаги масса каби) жисмнинг айланиш ҳаракатидаги инерция хусусиятини англатади.

Моддий нуктанинг инерция моменти деб, шу нукта массасининг айланиш ўқиғача бўлган масофанинг квадратиға кўпайтмасига айтилади:

Системанинг инерция моменти (қаттиқ жисмнинг) деб, система моддий нукталарининг массалари йиғиндисини айланиш ўқиғача бўлган масофаларнинг кўпайтмасига тенг бўлган катталиққа айтилади¹:

$$J = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$$

Лекин, айланиш ўқи қаердан ўтишига қараб инерция моменти ҳам ҳар хил бўлиши мумкин, масса эса ўзгармас. Инерция моменти бирлиги $[kg \cdot m^2]$.



6.4 - расм. Диаметри катта бўлган цилиндрнинг инерция моменти, шундай массали, лекин диаметри кичик бўлган цилиндр инерция моментида катта бўлади¹.

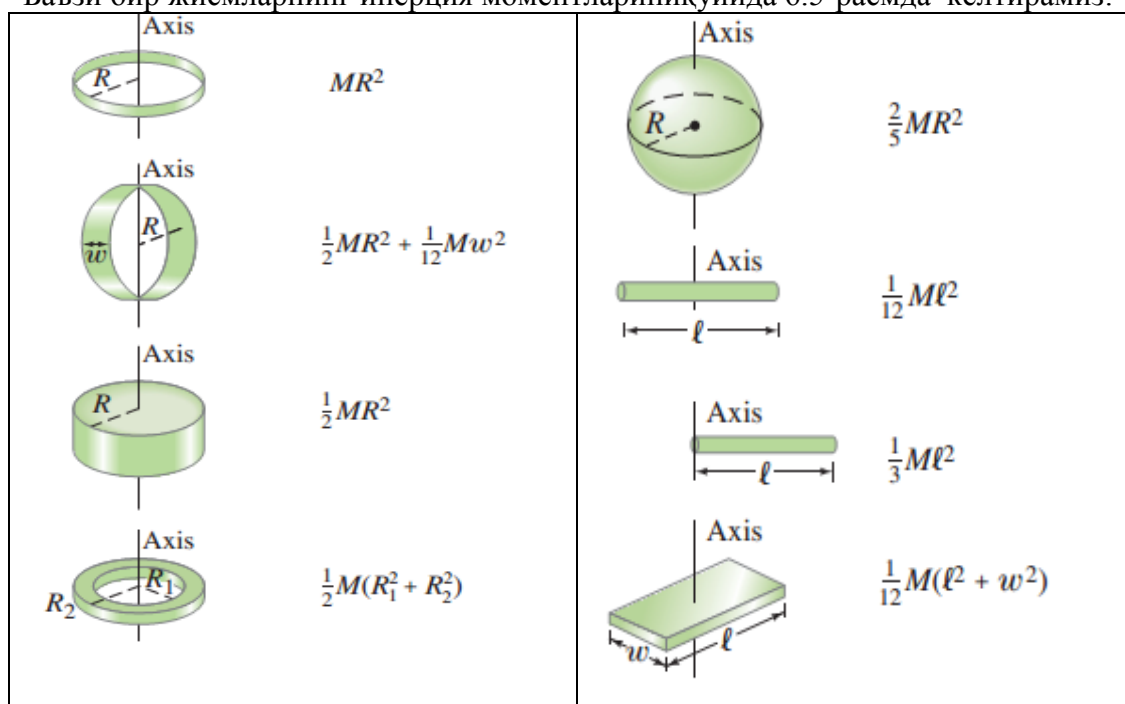
Агар $M = const$ ва $J = const$ бўлса, у ҳолда $M = J \frac{\omega_0 - \omega}{\Delta t}$ ва $M \Delta t = J \omega_0 - J \omega$ ($F \Delta t = m v_0 - m v$ ни эслаймиз) вақт ичида ω , ω_0 дан ω , гача ўзгаради.

$M \Delta t$ куч моментининг импульси (аналог $F \Delta t$).

$I\omega$ - ҳаракат миқдори моменти (аналог $m\upsilon$)

Демак - маълум вақт оралиғидаги ҳаракат миқдорининг ўзгариши шу вақт ичидаги куч моментининг импульсига тенг - бу ҳаракат миқдори моментининг ўзгариши қонунидир.

Баъзи бир жисмларнинг инерция моментларини қуйида 6.5-расмда келтирамиз:²¹



6.5-расм

Айланма ҳаракат қилаётган жисмнинг энергияси. Берк системада жисмларнинг ҳаракат миқдорлари моментларининг йиғиндиси (суммаси) ўзгармас миқдордир (илгариланма ҳаракат учун $m_1\upsilon_1 + m_2\upsilon_2 + \dots + m_n\upsilon_n = \text{const}$ бўлгани каби).

$$J_1\omega_1 + J_2\omega_2 + \dots + J_n\omega_n = \text{const} \quad (6.6)$$

Агар жисм битта бўлса, у ҳолда $J\omega = \text{const}$. (Мисол: ўз ўқи атрофида айланаётган конкичи). Айланаётган жисмнинг кинетик энергияси тенг:

$$W_k = \frac{J\omega^2}{2} \quad (6.7)$$

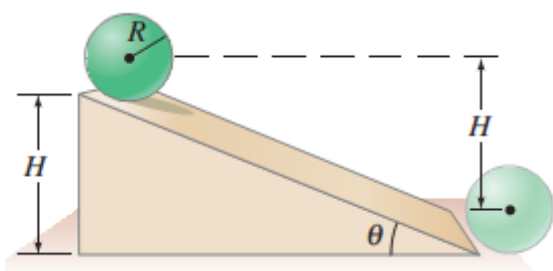
Айланиш кинетик энергиясининг ҳисобига бажарилган иш:

$$A = \frac{J\omega_0^2}{2} - \frac{J\omega^2}{2} \quad (6.8)$$

Агар жисм ҳам айланиб, ҳам тўғри юриб ҳаракатланса, унинг кинетик энергияси W_k тенг.

²¹ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, 209 б

$$W_k = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} \quad (6.9)$$



6.6 - расм. Қия текисликдан пастга думалаётган жисм бир вақтнинг ўзида илгариланма ҳаракат ва айланма ҳаракат кинетик энергияларига эга бўлади

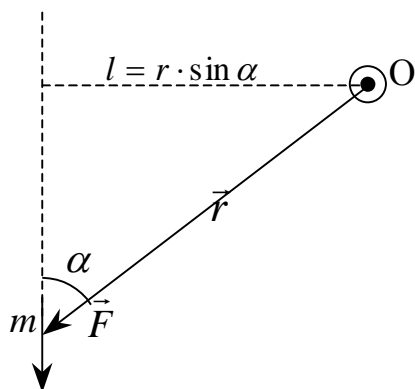


6.7 - расм. Сувга сакраётган одам қўли ва оёғи йиғилган ҳолда тезроқ айланади. Сувга сакраётган одамнинг импульс моменти ўзгармас сақланади²²

Импульс моменти ва унинг сақланиш қонуни

Импульс моментининг сақланиш қонуни.

Импульс моменти.



Фараз қилайлик, массаси m бўлган ҳаракатдаги моддий нуктанинг ихтиёрий пайтдаги вазияти O нуктага нисбатан аниқланаётган бўлсин. Моддий нуктанинг O нуктага нисбатан импульс моменти деб қуйидагича ифодаланган векторга айтилади:

$$\vec{L} = [\vec{r}, \vec{p}] = [\vec{r}, m\vec{v}] \quad (20)$$

Бунда \vec{r} санок боши ҳисобланган O нуктадан

моддий нуктага ўтказилган радиус-вектор. (20) дан кўриниб турибдики, \vec{L} нинг йўналиши \vec{r} ва \vec{p} векторларнинг вектор кўпайтмаси тарзда аниқланади, яъни импульс моменти вектори \vec{r} ва \vec{p} векторлардан ясалган параллелограмм текислигига тик равишда O нуктадан ўтган бўлиб, унинг йўналиши парма қонидаси билан аниқланади. Импульс моментининг сон қиймати, маълумки:

$$L = rp \sin \alpha \quad (21)$$

Бу тенгликда $r \sin \alpha = l$ - моддий нукта импульсининг O нуктага нисбатан елкаси дейилади. Елка тушунчасини киритиб (2) ни

$$L = lp = mvl \quad (22)$$

²² Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, 211-216 б

кўринишида ёзиш мумкин. Охирги икки тенгликдан кўринадики, импульс моменти моддий нукта ҳаракати йўналишининг ва тезлигининг сон қиймати ўзгариши билан ўзгаради, агар моддий нукта тўғри чизик бўйлаб ўзгармас тезлик билан ҳаракатланётган бўлса О нуктага нисбатан унинг импульс моменти ўзгармай қолади.

Моддий нукталар тизимининг бирор О нуктага нисбатан импульс моменти деб мазкур тизимдаги айрим моддий нукталарнинг ўша О нуктага нисбатан импульс моментларининг вектор йиғиндисига айтилади:

$$\vec{L} = \sum_i \vec{L}_i = \sum_i [\vec{r}_i, \vec{p}_i] = \sum_i [\vec{r}_i, m\vec{v}_i] \quad (24)$$

бунда \vec{r}_i - қаралаётган О нуктадан i моддий нуктага ўтказилган радиус-вектор, \vec{v}_i - ўша i -моддий нуктанинг тезлиги.

Фараз қилайлик, массаси m ва тезлиги \vec{v} бўлган моддий нуктага санок боши О га нисбатан қандайдир \vec{F} куч таъсир қилаётган бўлсин. Натижада моддий нуктанинг импульси ва ихтиёрий О нуктага нисбатан унинг импульс моменти ўзгариб боради, яъни $\vec{L} = [\vec{r}, \vec{p}]$ вақтнинг функциясидир. Айтайлик, моддий нуктанинг вазиятини аниқловчи радиус-вектор dt вақт оралиғида $d\vec{r}$ га ўзгарсин:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d}{dt} [\vec{r}, \vec{p}] = \left[\frac{d\vec{r}}{dt}, \vec{p} \right] + \left[\vec{r}, \frac{d\vec{p}}{dt} \right] \quad (25)$$

бунда $d\vec{r}/dt$ - моддий нуктанинг t пайтдаги тезлиги ($d\vec{r}/dt = \vec{v}$); $d\vec{p}/dt$ эса Ньютоннинг II қонунига кўра моддий нуктага таъсир этувчи кучларнинг тенг таъсир этувчиси. Буларни ва $\vec{p} = m\vec{v}$ эканлигини назарда тутиб (1) ни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = [\vec{v}, m\vec{v}] + [\vec{r}, \vec{F}]$$

Бу тенгликнинг ўнг томонидаги биринчи қўшилувчи ҳад иккита коллинеар векторларнинг вектор кўпайтмаси бўлганлиги сабабли нолга тенг, иккинчи қўшилувчи ҳад эса моддий нуктага таъсир этувчи ташқи кучлар О нуктага нисбатан моменти (\vec{M}) ни ифодалайди. Шунинг учун юқоридаги тенглик қуйидагича кўринишга келади:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M} \quad (26)$$

Бу ифода моддий нукта учун *моментлар тенгламаси* дейилади. (26) дан кўринадики, импульс моментининг вақт бўйича ўзгариши моддий нуктага таъсир этувчи ташқи кучларнинг О нуктага нисбатан моменти билан аниқланади (моментлар тенгламасининг Ньютоннинг иккинчи қонунига ўхшашлиги кўзга ташланади, моддий нукта импульсининг вақт бўйича ўзгариши унга таъсир этаётган барча ташқи кучларнинг тенг таъсир этувчисига тенг).

Моддий нуктага таъсир этувчи барча ташқи кучлар тенг таъсир этувчисининг О нуктага нисбатан моменти нолга тенг ($\vec{M} = 0$) бўлса (26) тенглик қуйидагича ёзилади:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = 0 \quad (27)$$

Ўзгармас катталиқнинг вақт бўйича ҳосиласи нолга тенг экандигини назарда тутсак, (27) дан:

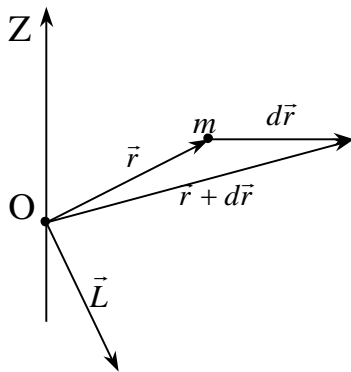
$$\vec{L} = const \quad (28)$$

эканлиги келиб чиқади. Бу натижа моддий нукта импульс моментининг сақланиш қонунини ифодалайди, моддий нуктага таъсир этаётган кучларнинг тенг таъсир этувчисининг ихтиёрий О нуктага нисбатан моменти нолга тенг бўлса моддий нукта импульсининг шу нуктага нисбатан моменти вақт ўтиши билан ўзгармайди.

Моддий нуктанинг импульс моменти ихтиёрий О нуктадан ўтувчи бирор ўққа нисбатан аниқланаётган бўлса (2) тенглик қуйидаги кўринишни олади:

$$\frac{dL_z}{dt} = M_z \quad (29)$$

бунда L_z ва M_z – \vec{L} ва \vec{M} векторларнинг мос равишда Z ўққа туширилган проекциялари. Шундай қилиб ўққа нисбатан импульс моментининг вақт бўйича ўзгариши моддий нуктага таъсир этувчи ташқи кучлар моментининг мазкур ўққа туширилган проекциясига тенг экан.



Энди моддий нукталар тизимини олиб қарайлик. Умуман, тизимдаги ҳар бир моддий нуктага ташқи ва ички кучлар таъсир этади. Ички кучлар тизимидаги моддий нукталарнинг ўзаро таъсир кучларидан иборат бўлганлиги туфайли уларнинг вектор йиғиндиси нолга тенг ва бинобарин, ички кучларнинг О нуктага нисбатан моменти ҳам нолга тенг.

Шунинг учун тизимга таъсир этувчи кучлар фақат ташқи кучлардан иборат бўлади. Демак, n та моддий нукталар тизими учун (2) ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{d}{dt} \sum_i \vec{L}_i = \sum_i \vec{M}_i \quad (30)$$

бунда $\sum_i \vec{L}_i = \sum_i [\vec{r}_i, m\vec{v}_i]$ – тизимнинг ихтиёрий О нуктага нисбатан импульс моменти. (30)

тенглик моддий нукталар тизими учун моментлар тенгламасини ифодалайди.

Шундай қилиб, моддий нукталар тизимнинг ихтиёрий О нуктага нисбатан импульс моментидан вақт бўйича олинган ҳосила барча ташқи кучларнинг шу нуктага нисбатан куч моментиларининг вектор йиғиндисига тенг.

(30) ифодадаги барча вектор катталикларнинг О нукта оркали ўтувчи Z Ўққа проекцияси олинса, қуйидаги муносабат ҳосил бўлади:

$$\frac{d}{dt} \sum L_z = \sum M_z \quad (31)$$

яъни, тизимдаги моддий нукталарнинг О нуктадан ўтувчи ўққа нисбатан импульс моментларининг алгебраик йиғиндисининг вақт бўйича ўзгариши шу ўққа нисбатан олинган куч моментларининг алгебраик йиғиндисига тенг.

Агар моддий нукталар тизими берк бўлса (тизимга ташқи кучлар таъсир қилмаса), (30) ифоданинг ўнг томони нолга тенг бўлади, бундан:

$$\sum_i \vec{L}_i = const \quad (32)$$

деган хулосага келамиз. (32) тенглик моддий нукталар тизими учун импульс моментининг сақланиш қонунини ифодалайди, моддий нукталар берк тизимнинг ихтиёрий О нуктага нисбатан импульс моменти вақт ўтиши билан ўзгармайди. Бу натижа моддий нукталар берк тизимининг О нуктадан ўтувчи ўққа нисбатан импульс моменти учун ҳам ўринлидир. Тизимга таъсир этувчи ташқи кучлар тенг таъсир этувчисининг бирор ўққа нисбатан моменти нолга тенг бўлса, бу кучлар тизимнинг шу ўққа нисбатан импульс моментини ўзгартира олмайди.

Таянч сўз ва иборалар

Абсолют қаттиқ жисм, импульс, импульс моменти, куч моменти, куч елкаси, инерция моменти, айланма ҳаракат, жисмнинг инерция маркази, айланма ҳаракат учун Ньютоннинг 2-чи қонуни.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Абсолют қаттиқ жисм деб нимага айтилади?
2. Куч моменти ва инерция моменти қандай бирликларда улчанади?
3. Қаттиқ жисм инерция маркази ҳаракатини тушунтиринг?
4. Айланма ҳаракат қандай содир бўлади?]
5. Инерция моменти қандай катталик?
6. Куч моментининг физик мазмунини тушунтиринг?
7. Импульс моментининг йўналиши қандай аниқланади?
8. Куч моментининг йўналиши қандай усул билан аниқланади?
9. Импульс моментининг сақланиш қонуни қандай шароитда бажарилади?
11. Таёқ силлиқ горизонтал текисликда ишқаланишсиз вертикал ҳолда турибди. Қачонки таёқ ўзининг енгил бир тарафига эгилади ва йиқилади. Бу ҳаракатни тушинтиринг?
12. Соат секунд стрелкасига қаранг. Секунд стрелкасинг импульс моменти қандай йўналган?
13. Хом ва яхши қайнатилган тухумни айлантиришга ҳаракат қилинг. Нима учун бу ҳолатда тухум енгил айланади ва бошқасида қийин?
14. Ҳаво билан тўлдирилган енгил пластинкадан ясалган уйингоҳ нотўғри геометрик шаклга эга. Нима учун бола уйингоҳни кафти билан бир неча бор урса у юқорига сакрайди?
15. Биз тасдиқлаймиз импульс ва импульс моменти сақланади. Шунга қарамай кўп илгарланма ва айланма ҳаракатларда жисм вақт ўтиши билан секин ҳаракатланади ва тўхтади. Тушунтиринг?

16. Импульс моментнинг сақланиш қонунидан шу нарса маълум бўладики, нима учун вертолёт биттадан кўп парракка эга бўлиши керак. Иккинчи парракнинг энг қулай жойлашиши вертолётни турғун бўлишини таъминловчи функцияси эканлигини тушинтиринг?

17. Автомобил ўнгга бурилишни қандай бажаради? Бурилиш учун зарур бўлганда, импульс моменти нима вазифани бажаради?

18. Агар жисмга $F=F(r)$ марказий куч таъсир қилса, системанинг импульс моменти сақланадими? Марказий кучлар ҳосиласи учун Кеплернинг иккинчи қонуни ўринлими?

19. Ғилдирак вертикал ўққа нисбатан эркин айланади. Ғилдирак бирмунча майдаланади, ундан бўлакчалар отилиб кетади. Бу ҳолда импульс моменти сақланадими? Кинетик энергияси сақланадими? Бу ҳолатларни тушунтиринг?

Амалий машғулот

6-мавзу. Қаттиқ жисмнинг айланма ҳаракат динамикаси.

Куч моменти. Инерция моменти

1. Массаси 10 кг радиуси 0,2 м бўлган қаттиқ шарнинг айланиш ўқининг марказидан ўтувчи инерция моментини ҳисобланг?

2. 0,84 м диаметрли қаттиқ шар 12,3 н·м куч моменти таъсирида 5 с вақт давомида тинч ҳолатидан тезлашиб марказидан ўтувчи ўз ўқи атрофида 180 марта тўлиқ айланди. Шарнинг массаси қанча?

3. Ротор центрофугаси 10000 айл/мин частота билан айланади ва 0,2 н·м ишқаланиш куч моменти таъсирида тўхтади. Агар ротор массаси 4,3 кг, инерция радиуси 0,07 м бўлса у тўла тўхташи учун қанча айланади?

4. Массаси M ва радиуси R_0 бўлган юпка ҳалқанинг инерция моментлари қуйидаги ҳоллар учун ҳисоблансин: а) айланиш ўқи марказидан ўтувчи ва ҳалқа текислигида ётувчи б) айланиш ўқи ҳалқа четида.

5. Стержин марказига перпендикуляр ўтувчи узунлиги L бўлган бир жинсли стержиннинг инерция моменти ҳисоблансин?

6. 1500 айл/мин тезлик билан айланаётган радиуси 12 см бўлган бир жинсли массаси 2,3 кг бўлган ўткирловчи (точильный) тошнинг импульс моменти нимага тенг?

7. Бу тошни 7,0 с да тўхтатиш учун қандай куч моменти қўйиш керак. Ернинг импульс моментини ҳисобланг: а) ўзининг айланиш ўқига нисбатан б) унинг қуёш атрофидаги орбита бўйлаб ҳаракати давомида.

8. Ротор центрофугаси инерция моменти $4,0 \cdot 10^{-2}$ кг·м² га тенг. Уни 10000 айл/мин частота билан айлантириш учун унга қандай микдорда энергия бериш керак?

9. Карусель 150 кг масса ва инерция радиуси 18 м га тенг. Уни тинч ҳолатдан қўзғатиб 7,0 с да бир айланиш ҳосил қилиш учун қандай иш бажариш керак?

10. $I=63,6$ кг·м² инерция моментига эга ғилдирак $\omega=31,4$ рад/с бурчак тезлик билан айланмоқда. Агар ғилдирак тормозловчи куч таъсирида $t=20$ сек ўтиб тўхтаса, тормозловчи кучнинг моментини аниқланг.

11. Радиуси $R=1$ м бўлган массаси эса $m=40$ кг ғилдиракка $F=98,1$ Н куч таъсир қилмоқда. Ғилдиракнинг бурчак тезланишини топинг.

12. Узунлиги $\ell=40$ см бўлган стержень $m=6$ кг массага эга. Стержень, узунлигига перпендикуляр ва ўртасидан ўтган ўқ атрофида айланади. Стержень бурилиш бурчагининг t вақтга боғлиқлиги $\varphi=3t^3-t^2+4t$ тенглама билан ифодаланади. Ҳаракат бошлангандан сўнг $t=2$ с ўтгач, стерженга таъсир қилаётган айлантирувчи куч моменти топилсин.

МЕХАНИК ТЕБРАНИШЛАР

Режа

1. Гармоник тебранма ҳаракат
2. Гармоник тебранма ҳаракат тенгламаси
3. Гармоник тебранишлар тезлиги ва тезланиши
4. Маятниклар
5. Гармоник тебранишлар энергияси

Агар система ўз мувозанат ҳолатидан четланиб яна шу ҳолатига қайтиб келса, ва ҳаракат ҳар доим қайталаниб тураверса, бундай ҳаракатга тебранма ҳаракат дейилади.

Маълум вақт оралиғида такрорланадиган жараён ёки ҳаракатга тебранма ҳаракат дейилади.

Тебранма ҳаракат вақтида энергия доимий равишда бир турдан бошқа турга айланади.

Система мувозанат вазиятидан чиқарилгандан кейин, унга ташқи кучлар таъсир қилмаса, бундай тебраниш эркин тебранишлар дейилади.

Система мувозанат вазиятидан чиқарилгандан кейин, унга доимий ўзгариб турувчи ташқи кучлар таъсир қилса, бундай тебранишлар мажбурий тебранишлар дейилади.

Тебранишга қаршилиқ қилувчи ташқи кучлар таъсирида содир бўладиган тебранишлар сўнувчи тебранишлар дейилади.

Таъсир қилиш вақтини ўзи белгилайдиган ташқи мажбурловчи кучлар таъсиридаги тебранишларга автотебранишлар дейилади¹.

Агар системанинг тебраниш даври унинг параметрларидан бирининг ўзгаришига боғлиқ бўлса (масса, ипнинг узунлиги), бундай тебранишларга параметрли тебранишлар дейилади.²³

Гармоник тебранишлар ва уларнинг тенгламалари. Агар система ўз мувозанат ҳолатидан четланиб яна шу ҳолатига қайтиб келса, ва ҳаракат ҳар доим қайталаниб тураверса, бундай ҳаракатга тебранма ҳаракат дейилади. Агар қайтиб келиш жараёни бир хил вақт оралиғида юз бериб турса, бундай тебранишга даврий тебраниш деб аталади. Тебранма ҳаракат табиатда жуда кўп тарқалган ва ҳар хил бўлади, лекин унинг энг оддийси - гармоник тебранишдир. Фараз қилайлик М материал нуқта соат стрелкасига қарши А радиусли айланада ω бурчак тезлиги билан айланапти.



М нинг вертикал ўққа проекцияси N бўлса, у ҳолда N, O марказ атрофида тебраниб туради. Агар ON силжишни x деб белгиланса, у ҳолда $x = A \sin \varphi$ деб ёзишимиз мумкин. $\varphi = \omega t$ бўлганлиги учун $x = A \sin \omega t$ бўлади

Бундан ташқари $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ бўлганлиги учун юқоридаги ифодани қуйидагича ёзиш мумкин.

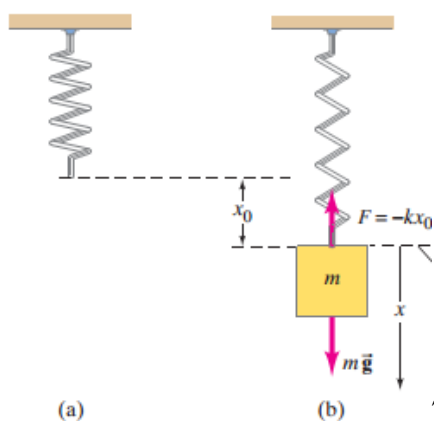
$$x = A \sin \frac{2\pi}{T} t \text{ ёки } x = A \sin 2\pi \nu t \quad (7.1)$$

A - амплитуда, ν - частота.

Булар гармоник тебранишларнинг тенгламаларидир. Демак синус ёки косинус қонуниятлари билан юз берадиган тебранишларни гармоник тебранишлар деб аташ мумкин. Бунда $\varphi = \omega t$ -фаза деб аталади ва у силжишнинг исталган пайтдаги қийматини аниқлайди. Бошқача айтганда, фаза тебранаётган системанинг ҳолатини белгилайди.

²³ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, 215-216 б

Гармоник тебранма ҳаракат тенгламасининг дифференциал кўриниши



$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

Гармоник тебранма ҳаракат тенгламасининг дифференциал кўриниши.

7.2-расм

Гармоник тебранишлар тезлиги ва тезланиши.

N нуқтанинг тебраниш тезлиги қуйидагидек аниқланади:

$$v = \frac{dx}{dt} = \omega A \cos \omega t = \omega A \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (7.2)$$

Демак v вақтга боғлиқ, бошқача айтганда, бундай тебраниш тезланишга эга:

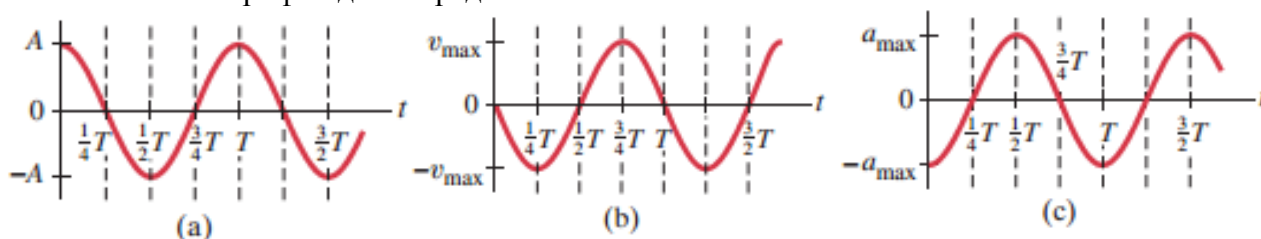
$$a = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 A \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = \omega^2 A \sin(\omega t + \pi) = -\omega^2 A \sin \omega t = -\omega^2 x \quad (7.3)$$

Демак,

тебранишларнинг фазалари фарқи ҳархил:

тезликнинг тебраниши силжишга қараганда $\frac{\pi}{2}$ га илгарилаб кетади,

тезланиш эсатескари фазада юз беради.¹



силжиш

тезлик

тезланиш

7.3-расм

m массали, тебранма ҳаракат қилаётган жисмга таъсир қилаётган куч:

$$F = ma = m \cdot A \omega^2 \cdot \cos(\omega t + \varphi + \pi) = -m \omega^2 A \cdot \cos(\omega t + \varphi) = -m \omega^2 x$$

Юқорида кўрдикки, тебранишларнинг тезланиши вақтга боғлиқ экан, демак, тебранишни юзага келтираётган F куч ҳам вақтга боғлиқ:

$$F = ma = -m \omega^2 x = -kx \quad (7.4)$$

бу ерда $k = m \omega^2$. Демак, F силжишга қарама-қарши йўналган. Демак гармоник тебранишлар силжишга пропорционал, лекин унга қарама-қарши йўналган кучларни юзага келтирар экан. Эластик кучлар ҳам шундай йўналган бўлганлиги учун бундай кучларни квазиэластик кучлар деб аташ мумкин. Агар нуқтанинг массаси m ва k маълум бўлса:²⁴

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (6.5) \quad \text{ва} \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (7.5)$$

Маятниклар

²⁴Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, 218-222 б

Оғирлик маркази осилиш нуқтасидан пастда жойлашган ҳар қандай жисмга маятник дейилади.

Математик маятник

Чўзилмайдиган вазнсиз ипдан ва унга осилган массаси m бўлган моддий нуқтадан иборат тизимни математик маятник дейилади. Маятникни мувозанат вазиятидан чиқарсак, яъни уни мувозанат вазиятига нисбатан φ бурчакка оғдирсак, уни мувозанат вазиятига қайтарувчи куч пайдо бўлади. Бу куч сон жиҳатидан қуйидагига тенг:

$$f_1 = mg \sin \varphi. \quad (13)$$

Бу куч пуржинанинг қайишқоқлик кучига жуда ўхшаш. Чунки бу куч ҳам, пуржинанинг қайишқоқлик кучи ҳам тебранувчи тизимни мувозанат вазиятига қайтаришга интилади. Шу туфайли f_1 куч қайишқоқлик кучи бўлмаса ҳам уни *квазикайишқоқ* куч деб юритилади.

Тизимни мувозанат вазиятига қайтарувчи f_1 куч таъсирида массаси m бўлган шарча a тезланиш олади. Бу хусусий ҳол учун Ньютоннинг иккинчи қонуни қуйидагича ёзилади:

$$m\vec{a} = -m\vec{g} \sin \varphi, \text{ бундан } \vec{a} = -\vec{g} \sin \varphi \quad (14)$$

Манфий ишора \vec{f}_1 кучнинг йўналиш силжишга қарама-қарши эканлигини билдиради. Математик маятник φ бурчакка четланганда шарча босиб ўтган траекторияни радиуси l бўлган айлананинг ёйи бўйлаб ҳаракатидаги бурчак тезланиш чизикли тезланиш билан қуйидагича боғланган:

$$a = \varepsilon l = \ddot{\varphi} l,$$

бунда $\varepsilon = \ddot{\varphi}$ эканлиги эътиборга олинди. Энди бу ифодани (14) қўйсак, уни

$$\ddot{\varphi} l = -g \sin \varphi \quad \text{ёки} \quad \ddot{\varphi} l + g \sin \varphi = 0 \quad (15)$$

тарзда ёзиш мумкин. Маятникнинг кичик тебранишлари билан чегараланамиз: у ҳолда $\sin \varphi \approx \varphi$ деб қабул қилиш мумкин. Шунга кўра (3) ифодани қуйидагича ёзамиз.

$$\ddot{\varphi} l + g \varphi = 0 \quad \text{ёки} \quad \ddot{\varphi} + \frac{g}{l} \varphi = 0.$$

Охирги тенгламада

$$\frac{g}{l} = \omega_0^2 \quad (16)$$

белгилашни киритиш муайян физик маънога эга. Натижада

$$\ddot{\varphi} + \omega_0^2 \varphi = 0 \quad (17)$$

кўринишдаги дифференциал тенгламага эга бўламиз. (17) тенгламанинг ечими:

$$\varphi = A \sin(\omega_0 t + \alpha) \quad (18)$$

ёки

$$\varphi = A \cos(\omega_0 t + \alpha) \quad (19)$$

эканлиги табиий (бунда α – тебранишнинг бошланғич фазаси, A – четланиш бурчагининг амплитуда қиймати). (18) ва (19) тенгламалар *гармоник ҳаракат тенгламаларидир*. Демак, кичик тебранишларда математик маятник ўзининг мувозанат вазияти атрофида

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (20)$$

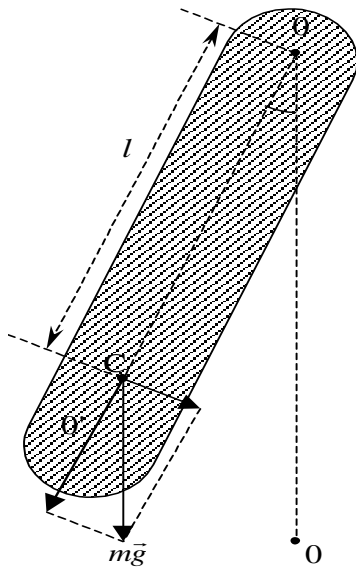
доиравий частота билан тебранма ҳаракат қилади. Бу частота математик маятникнинг *хусусий тебраниш частотаси* дейилади. Иккинчи томондан $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$ эканлиги ва (20) тенгликни назарда тутсак, математик маятникнинг тўла тебраниш даври

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (21)$$

бўлади. Бундан кўринадики, математик маятникнинг тўла тебраниш даври фақат унинг узунлигига ҳамда оғирлик кучи таъсирида жисмнинг эркин тушиш тезланишига боғлиқ бўлиб, тебранувчи жисмнинг массасига ва тебраниш амплитудасига боғлиқ эмас

Физик маятник.

Физик маятник деб, оғирлик марказидан ўтмайдиган ўқ атрофида тебранма ҳаракат қила оладиган қаттиқ жисмга айтилади. Мазкур ўқ (О нуқтадан ўтган ўқ) *осилиш ўқи* дейилади. Бу ўқ оғирлик маркази (С) дан l масофада жойлашган. Маятникни мувозанат вазияти (ОО') дан бирор бурчакка, айтайлик чап томонга



оғдирсак оғирлик кучининг ташкил этувчиси \vec{P}_τ уни мувозанат вазиятига қайтаришга интилади. Маятник оғирлик марказидан ўтаётганда ўз инерцияси таъсирида ҳаракатини давом эттириб ўнг томонга оғади ва бу жараён такрорланади, яъни у мувозанат вазияти атрофида тебранма ҳаракат қилади. Агар осилиш ўқидаги ишқаланиш кучини ҳисобга олмасак, тебраниш оғирлик кучининг $\vec{P}_\tau = -m\vec{g} \sin \varphi$ ташкил этувчиси туфайли содир бўлади. Манфий ишора кучининг четланиш ($\varphi \sim \sin \varphi$)га қарама-қарши эканлигини билдиради. \vec{P}_τ нинг таъсирида маятникни мувозанат вазиятига қайтарувчи

$$M = -mgl \sin \varphi \quad (22)$$

га тенг куч momenti вужудга келади; бунда l -осилиш ўқиға нисбатан \vec{P}_τ кучининг елкаси

Осилиш ўқиға нисбатан жисмнинг инерция моментини I билан ҳисобласак жисмга куйилган куч momenti:

$$M = I\epsilon \quad (23)$$

тарзда ифодалади. Ва (23) тенгликлардан куйидагига эга бўламиз:

$$I\ddot{\varphi} = -mgl \sin \varphi \quad (24)$$

кичик тебранишлар учун $\sin \varphi \approx \varphi$ деб қабул қилиб (24)тенгликни

$$I\ddot{\varphi} + mgl \varphi = 0 \quad (25)$$

кўришимиз. Охирги ифодага

$$\frac{mgl}{I} = \omega_0^2 \quad (26)$$

белгиларни киритамиз; бунда ω_0 -физик маятникнинг хусусий тебраниш частотаси дейилади. Шунда (25) тенгламани

$$\ddot{\varphi} + \omega_0^2 \varphi = 0 \quad (27)$$

кўринишда ёзамиз. Бу тенглама гармоник тебранма ҳаракатнинг дифференциал тенгламасидир, чунки (27) да силжиш ўрнида оғиш бурчаги (φ) қатнашаяпти. Маълумки унинг ечими $\varphi = A \sin(\omega_0 t + \alpha)$ ёки $\varphi = A \cos(\omega_0 t + \alpha)$ кўринишга эга.. (26), (27) ва охирги тенгликлардан шундай хулосага келамизки, кичик тебранишлардан физик маятник

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{mgl}{I}} \quad (28)$$

хусусий частота билан ўзининг мувозанат вазияти атрофида гармоник тебранма ҳаракат қилади. Унинг тўла тебраниш даври, равшанки

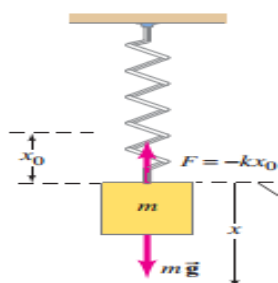
$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}} \quad (29)$$

формула билан аниқланади. Бу формулага кўра физик маятникнинг тебраниш даври учун массаси (m) га боғлиқдек кўринади; аслида эса у массага эмас, балки массанинг маятникга тақсимланишини ифодаловчи катталиқ I/m га боғлиқ.

(29) тенгликни худди математик маятникнинг тебраниш даврига ўхшатиб

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

кўринишда ёзиш мумкин, бундаги $L = \frac{I}{ml}$ -физик маятникнинг келтирилган узунлиги дейилади ва расмда кўрсатилган OO' нукталар орасидаги узунликка тенг. O' нукта шундай хусусиятга эгаки, агар физик маятник осилган O нуктадаги ўқни OC чизиқнинг давомига O' нуктага кўчирсак, унинг тебраниш даври ўзгармайди.



Пружинали маятник.¹

7.4-расм

Тортиш кучи таъсирида тебранаётган қаттиқ жисмга физикавий маятник деб аталади. P таъсирида маятникнинг оғирлик маркази CD ёйни чизади. Маятник ўннга силжиса α ни мусбат, чапга силжиса α ни манфий деб ҳисоблаймиз. Шунда квазиэластик (орқага қайтарувчи) куч тенг:

$$F = -P \sin \alpha = -mg \sin \alpha \quad (7.6)$$

Агар α кичик бўлса, $\sin \alpha \approx \alpha$ бўлади ва $F = -mg\alpha = -mg \frac{x}{\ell}$, $x = OC$, $\ell = BC$ -маятник узунлиги.

Демак, физик маятникни орқага қайтарувчи куч ҳам квазиэластик куч экан. Шунинг учун ҳам тебраниш гармоник бўлади. Айланиш динамикасининг асосий қонунига биноан:

$$M = F\ell = J\varepsilon$$

J -маятникнинг осилган нуктасига нисбатан инерция моменти.

ε -бурчак тезланиш. Шунда:

$$F = \frac{J\varepsilon}{\ell} \quad (7.7)$$

$$\text{Лекин, } \varepsilon = \frac{a}{\ell} \text{ бўлгани учун. } F = \frac{Ja}{\ell^2} = -\frac{J}{\ell^2} \omega^2 x \quad (7.8)$$

Демак, иккала формулани солиштириб қуйидаги формулани ҳосил қиламиз:

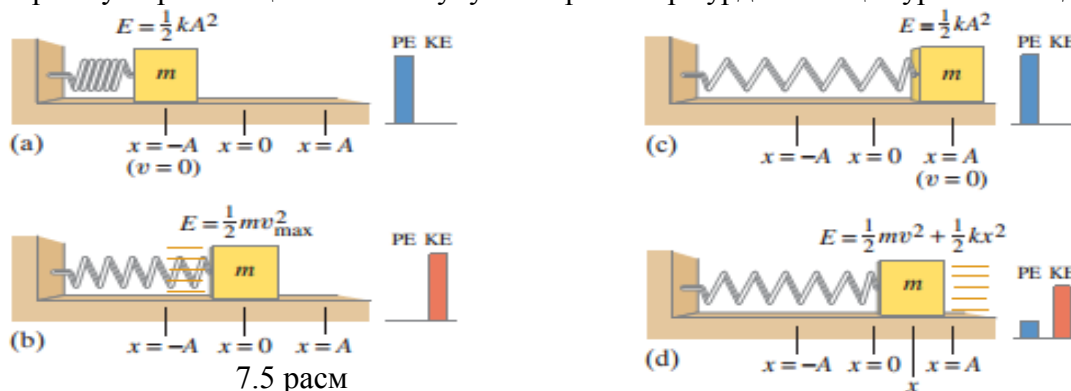
$$\left(-mg \frac{x}{\ell} = -\frac{J\omega^2 x}{\ell^2} \right) mg\ell = J\omega^2 \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{mg\ell}{J}}, \quad (7.9)$$

ва $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mg\ell}}$; (7.10). Агар физик маятникни массасининг асосий қисми оғирлик марказида бўлса, уни математик маятник деб қараш мумкин. Унинг инерция моменти қуйидагига тенг: $J = m\ell^2$ (7.11)

Шунда математик маятникнинг даври $T = \sqrt{\frac{m\ell^2}{mg\ell}} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$; бу формула кичик бўлганда ўринлидир.

Гармоник тебранишлар энергияси.

Оралик нуқталарда кинетик ва потенциал энергиялар нольга тенг эмас ва тўла механик энергия ўзгармас сақланганлиги учун¹Энергия бир турдан бошқа турга айланади.¹



7.5 расм

Тебранишда математик маятникнинг кинетик ва потенциал энергиялари даврий равишда бир-бирига айланиб туради. Уларнинг йиғиндиси тўла энергияни беради:

$$W = W_k + W_p \quad (7.12)$$

$$W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{m}{2} \omega^2 A^2 \sin^2\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = \frac{m}{2} \omega^2 A^2 \cos^2 \omega t$$

$$W_p = \frac{kx^2}{2} = \frac{k}{2} A^2 \sin^2 \omega t, \text{ лекин } k = m\omega^2 \text{ бўлгани учун } W_p = \frac{m}{2} \omega^2 A^2 \sin^2 \omega t$$

$$W = \frac{m\omega^2 A^2}{2} (\cos^2 \omega t + \sin^2 \omega t) = \frac{m\omega^2}{2} A^2 \quad (7.13)$$

Демак, $W = \text{const}$ ва $\sim A^2$

Мажбурий тебранишлар.

Даврий ўзгарувчан ташқи куч таъсирида тизимда вужудга келадиган тебранишларга мажбурий тебранишлар дейилади.

Мажбурий тебранишларнинг эркин тебранишлардан фарқи шундаки, мажбурий тебранишларнинг частотаси тизимнинг ўз хусусиятидан келиб чиқмай, балки ташқи таъсирнинг частотаси билан аниқланади. Қуйида биз энг оддий ҳолни тизимга таъсир этувчи ташқи куч гармоник қонун билан ўзгарадиган ҳолни қараб чиқиш билан чегараланамиз, яъни ташқи куч ω частота билан

$$F = F_0 \cos \omega t$$

тарзда ўзгариши, бунда \vec{F}_0 — ташқи кучнинг амплитуда қиймати. Даврий равишда ўзгариб турадиган бундай ташқи кучни мажбур этувчи куч дейилади. Тинч турган тизимга ўзгарувчан ташқи куч таъсир қилса, у ўзининг мувозанат вазиятидан аста-секин қўзғала бошлайди. Мазкур жараёнда ташқаридан берилган энергия қисман тизимнинг ҳаракат энергиясини оширишга сарфланса, қисман ишқаланиш кучини ҳамда муҳитнинг

қаршилик кучини енгишга сарфланади. Шу билан бирга тебранишнинг амплитудаси орта боради. Бирор вақтдан кейин тизим томонидан ишқаланиш кучини ҳамда муҳитнинг қаршилик кучини енгишга вақт бирлиги ичида сарфланаётган энергия ташқаридан узатилаётган энергияга тенг бўлиб қолади. Шу пайтдан бошлаб тизимнинг тебраниши барқарорлашади, яъни у ўзгармас амплитуда билан тебрана бошлайди. Барқарор ҳолатга келган тебранишларни қараб чиқайлик.

Мажбурий тебранма ҳаракат қилаётган тизимга бир вақтнинг ўзида квазиқайишқоқ куч $(-kx)$ ва муҳитнинг қаршилик кучи $(-r \frac{dx}{dt})$ дан ташқари, ташқи куч $(F = F_0 \cos \omega t)$ ҳам таъсир этади. Бинобарин, мажбурий тебранишлар учун Ньютоннинг иккинчи қонунини қуйдагича ёзишимиз мумкин:

$$m = \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx - r \frac{dx}{dt} + F_0 \cos \omega t$$

бу тенгламани қуйдагича кўринишда ёзамиз.

$$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t \quad (49)$$

Барқарор ҳолатга келган мажбурий тебраниш ω частота билан содир бўлишини кўзда тутсак тенгламани ечилиши

$$x = A \cos(\omega t + \alpha) \quad (50)$$

тарзда ифодалаш мақсадга мувофиқ бўлади. (50) ифода (49) тенгламанинг ечими эканлигини текшириб кўрамиз. Бунинг учун $\dot{x} = -\omega A \sin(\omega t + \alpha)$; $\ddot{x} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \alpha)$ эканлигини эътиборга олиб (50) ифодани ва охирги икки тенгликни (49) тенгламага қўямиз. Натижада мазкур тенглама айниятга айланади ва унинг мажбурий тебраниш амплитудаси A ни аниқлаймиз:

$$-\omega^2 A \cos(\omega t + \alpha) - 2\delta\omega A \sin(\omega t + \alpha) + \omega_0^2 A \cos(\omega t + \alpha) = \frac{F_0}{m} \cos \omega t.$$

маълум тригонометрик формулалардан фойдаланиб (синус ва косинусларни ёйиб чиқиб) бу тенгламани қуйдагича езиш мумкин:

$$\begin{aligned} & -\omega^2 A (\cos \omega t \cos \alpha - \sin \omega t \sin \alpha) - 2\delta\omega A (\sin \omega t \cos \alpha + \cos \omega t \sin \alpha) + \\ & + \omega_0^2 A (\cos \omega t \cos \alpha - \sin \omega t \sin \alpha) = \frac{F_0}{m} \cos \omega t \end{aligned}$$

бу тенглама айниятга айланиши учун чап ва ўнг томонидаги $\cos \omega t$ ва $\sin \omega t$ коэффицентилар ўзаро тенг бўлиши керак:

$$\begin{aligned} -\omega^2 A \cos \alpha &= 2\delta\omega A \sin \alpha - \omega_0^2 A \cos \alpha + \frac{F_0}{m} \\ \omega^2 A \sin \alpha &= 2\delta\omega A \cos \alpha + \omega_0^2 A \sin \alpha. \end{aligned}$$

охирги икки тенгламани

$$A(\omega_0^2 - \omega^2) \cos \alpha - 2\delta\omega A \sin \alpha = \frac{F_0}{m} \quad (51)$$

$$A(\omega_0^2 - \omega^2) \sin \alpha + 2\delta\omega A \cos \alpha = 0 \quad (52)$$

кўринишида ёзамиз. Энди уларни алоҳида-алоҳида квадратга кўтариб, сўнгра ҳадма-ҳад қўшсак, қуйдагига эга бўламиз:

$$A^2[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2\omega^2] = \frac{F_0}{m^2}$$

бундан тизимнинг мажбурий тебраниш амплитудаси

$$A = \frac{F}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2\omega^2}} \quad (53)$$

эканлиги келиб чиқади. (52) тенгламадан эса мажбурий тебраниш фазасини аниқлаймиз:

$$\operatorname{tg} \alpha = -\frac{2\delta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (54)$$

(53) ва (54) тенгликлардан кўринадики, мажбурий тебраниш амплитудаси ва фазаси ташқи кучнинг ўзгариш частотаси (ω) га боғлиқ равишда ўзгаради ($\omega_0 = \text{const}$). Амплитуда ва фаза ташқи кучнинг ўзгариш частотасига қандай боғлиқлигини қараб чиқайлик.

Амплитуда энг катта қийматга эришиш учун (53) ифоданинг махражи энг кичик қийматга эришиши лозим. Махраж энг кичик қийматга эришиши учун илдиз остидаги ифоданинг ҳосиласи нолга тенг бўлиши керак:

$$-2(\omega_0^2 - \omega^2)2\omega + 8\delta^2\omega = 0 \quad \text{ёки} \quad -(\omega_0^2 - \omega^2) + 2\delta^2 = 0$$

бундан:

$$\omega^2 = \omega_0^2 - 2\delta^2$$

Демак, ташқи кучнинг частотаси

$$\omega = \omega_p = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2} \quad (55)$$

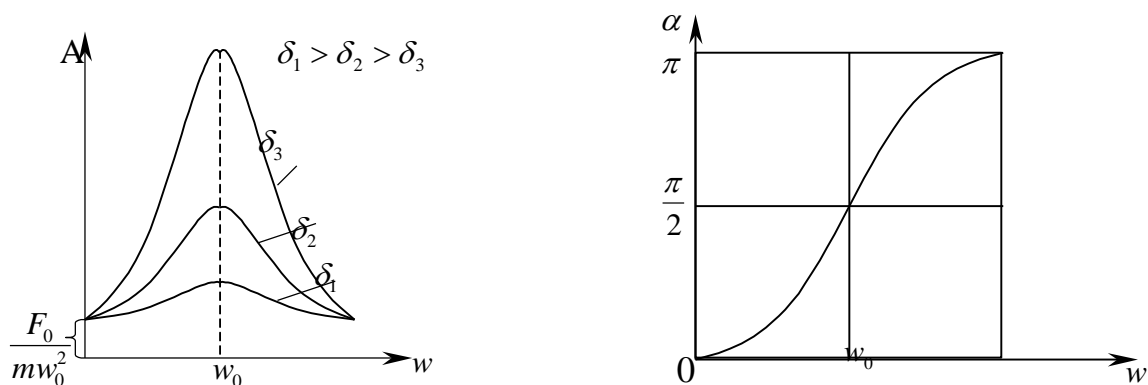
бўлганда мажбурий тебраниш амплитудаси энг катта қийматга эришади. Бу ҳодиса резонанс ҳодисаси дейилади ва ташқи кучнинг бу частотаси резонанс частота дейилади.

Резонанс частотада мажбурий тебраниш амплитудаси нимага тенг эканлигини аниқлайлик. Шу мақсадда (55) тенгликни (53) га қўйиб, қуйидагига эга бўламиз:

$$A_p = \frac{F_0}{2m\delta\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}} \quad (56)$$

Кўриниб турибдики, δ камайган сари мажбурий тебраниш амплитудаси A_p ошиб боради. Хусусий ҳолда яъни сўниш бўлмаганда ($\delta=0$ бўлганда) резонанс частота тизимнинг хусусий тебраниш частотасига тенг бўлиши ва мажбурий тебраниш амплитудаси чексиз катта қийматга эришиши керак. Табиий шароитларда эса δ нинг қиймати нолдан фарқли, бинобарин A_p чексиз катта бўла олмайди. δ нинг қиймати нолдан фарқли бўлганлиги туфайли ташқи кучнинг частотаси тизимнинг хусусий тебраниш частотасига яқинлашганда резонанс ҳодисаси содир бўлади.

Бинобарин резонанс ходисаси ташқи кучнинг ўзгариш частотаси тизимнинг хусусий тебраниш амплитудасининг кескин ошишидан иборат экан.



Сўниш коэффиценти ҳар хил қийматларда мажбурий тебраниш амплитудасининг ташқи куч частотасига боғлиқ эгри чизиклари бу эгри чизиклар *резонанс эгри чизиклари* дейилади. Ташқи кучнинг ўзгариш частотаси нолга тенг бўлганда, яъни тизимга ўзгармас куч таъсир қилганда, резонанс эгри чизиклари амплитуда ўқини

$$A_0 = \frac{F_0}{m\omega^2} \quad (57)$$

қийматда кесиб ўтади. Бу тизимга ўзгармас куч ($\omega=0$) таъсир этиб турса, у ўзининг мувозанат вазиятидан (57) ифода билан аниқланадиган масофага четланиб туради деган маънони англатади.

Гармоник тебранма ҳаракат энергияси

Гармоник тебранма ҳаракат қилаётган тизим ўзининг мувозанат вазиятидан четланганда потенциал энергия учун ноль сатҳ деб ҳисобланган сатҳга нисбатан вақт ўтиши билан ҳар хил баландликка кўтарилади, яъни тизимнинг потенциал энергияси вақт ўтиши билан ўзгаради. Бу билан бир қаторда унинг кинетик энергияси ҳам вақт ўтиши билан ўзгаради. Тизим ўзининг мувозанат вазиятидан ўтаётганда, унинг тезлиги энг катта қийматга эришади ва аксинча мувозанат вазиятидан энг четга оғганда унинг тезлиги нолга тенг бўлади.

Энергиянинг сакланиш қонунига кўра берк тизимнинг тўла энергияси вақт ўтиши билан ўзгармай қолади: тебраниш жараёнида тизимнинг потенциал энергияси кинетик энергиясига ва аксинча кинетик энергия потенциал энергияга айланиб туради. Жисм ўзининг мувозанат вазиятидан энг катта четланганда унинг тўла энергияси фақат потенциал энергиядан, мувозанат вазиятдан ўтаётганда эса унинг тўла энергияси фақат кинетик энергиядан иборат бўлади.

Мувозанат вазиятидан x масофага силжитилган пружинали маятникнинг потенциал энергияси:

$$E_n = \frac{kx^2}{2}.$$

$k = \omega_0^2 m$ ва $x = A \sin(\omega_0 t + \alpha)$ эканлигини эътиборга олиб юқоридаги тенгликни қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$E_n = \frac{1}{2} m \omega_0^2 A^2 \sin^2(\omega_0 t + \alpha) \quad (58)$$

Мазкур тенглама тизим потенциал энергиясининг вақт ўтиши билан ўзгаришини ифодалайди.

Тезлиги нолдан фарқли бўлган барча вазиятларда массаси m бўлган моддий нуктанинг кинетик энергияси ҳам нолдан фарқли, яъни

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

Гармоник тебранма ҳаракат қилаётган моддий нуктанинг тезлиги ҳам гармоник тарзда ўзгаради. Шунинг учун (1) ифодани назарда тутсак, тебранаётган моддий нуктанинг кинетик энергияси

$$E_n = \frac{1}{2} m \omega_0^2 A^2 \cos^2(\omega_0 t + \alpha) \quad (59)$$

кўринишда ёзилади.

(58) ва (59) ифодалардан кўринадики, моддий нуктанинг потенциал ва кинетик энергиялари вақт ўтиши билан 0 дан $\frac{1}{2} m \omega_0^2 A^2$ гача гармоник равишда ўзгаради.

Энергиянинг сақланиш қонунига мувофиқ гармоник тебранма ҳаракат қилаётган моддий нуктанинг тўла энергияси E унинг потенциал ва кинетик энергияларининг йиғиндисидан иборат:

$$E = E_n + E_k = \frac{1}{2} m \omega_0^2 A^2 [\sin^2(\omega_0 t + \alpha) + \cos^2(\omega_0 t + \alpha)]$$

бунда ўрта қавс ичидаги ифода маълумки 1 га тенг. Шундай қилиб, гармоник тебранма ҳаракатининг тўла энергияси

$$E = \frac{1}{2} m \omega_0^2 A^2 = \text{const} \quad (60)$$

вақт ўтиши билан ўзгармайди.

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Тебранма ҳаракат, гармоник тебраниш, тебраниш даври, амплитуда, фаза, силжиш, частота, математик маятник, физик маятник, тезлик, тезланиш, энергия.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Тебранма ҳаракат деб нимага айтилади?
2. Қандай тебранишларга гармоник тебранишлар дейилади?
3. Гармоник тебранма ҳаракат тенгламасини изоҳланг?
4. Математик ва физик маятникларнинг тебраниш даври формулаларини келтириб чиқаринг ва изоҳланг?
5. Гармоник тебранма ҳаракатда тезлик ва тезланишни тушунтиринг?
6. Тебраниш даври, частотаси ва амплитудасини тушунтиринг?

Амалий машғулот

7-мавзу. Механик тебранишлар. Тебранма ҳаракат тезлиги ва тезланиши. Маятниклар. Гармоник тебранма ҳаракат энергияси.

1. Моддий нукта $t = 2$ мин да $N = 60$ марта тебранади. Тебранишнинг даври T , частотаси n ва циклик частотаси ω ни топинг.

2. Моддий нукта $x = 0,25 \sin\left(\pi \cdot t + \frac{\pi}{3}\right)$ м қонун бўйича гармоник тебранса, тебранишнинг амплитудаси A , даври T , частотаси n , циклик частотаси ω ва бошланғич фазаси φ_0 ни топинг.

3. Агар $t = 1$ мин да $N = 150$ тебраниш бўлиб, тебранишларнинг бошланғич фазаси $\varphi_0 = 45^\circ$ га тенг ва амплитудаси $A = 5$ см бўлган гармоник тебранма ҳаракат тенгламасини ёзинг.

4. Амплитудаси $A = 0,1$ м, даври $T = 4$ с ва бошланғич фазаси нолга тенг бўлган гармоник тебранма ҳаракат тенгламасини ёзинг.

5. Гармоник тебранишлар амплитудаси $A = 50$ мм, даври $T = 4$ с ва бошланғич фазаси $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$. Мазкур тебранишнинг тенгламасини ёзинг.

6. Гармоник тебранаётган нукта ҳаракат бошланишидан қанча вақт ўтгач мувозанат вазиятдан ярим амплитудага тенг силжийди. Тебраниш даври $T = 24$ с, бошланғич фаза нолга тенг.

7. $x = 7 \sin 0,5\pi \cdot t$ тенглама бўйича тебранма ҳаракат қилаётган нукта ҳаракат бошлаганидан қанча вақт ўтгач мувозанат вазиятидан максимал силжишига қадар йўлни ўтади?

8. Моддий нукта $x = 0,04 \sin\left(2\pi \cdot t + \frac{\pi}{2}\right)$ м қонун бўйича гармоник тебранса, тебранишнинг амплитудаси A , даври T , частотаси n , ва циклик частотаси ω , бошланғич фазаси φ_0 ни, шунингдек, максимал тезлиги v_{\max} ва максимал тезланиши a_{\max} ни топинг.

9. Нуктанинг ҳаракат тенгламаси $x = 2 \sin\left(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{4}\right)$ см кўринишда берилган. 1) тебранишлар даври T , 2) нуктанинг максимал тезлигини v_{\max} , 3) унинг максимал тезланиши a_{\max} ни топинг.

10. Нукта ҳаракат тенгламаси $x = \sin \frac{\pi}{6}t$ кўринишда берилган. Максимал тезлик v_{\max} ва максимал тезланишларга a_{\max} эришиладиган вақт пайтларини топинг.

11. Нукта гармоник тебранади. Тебранишлар даври $T = 2$ с, амплитудаси $A = 50$ мм, бошланғич фазаси нолга тенг. Нуктанинг мувозанат вазиятидан $x = 25$ мм га силжиган пайтдаги тезлигини топинг.

12. Нуктанинг максимал тезланиши $a_{\max} = 49,3$ см/с², тебранишлар даври $T = 2$ с ва нуктанинг мувозанат вазиятидан $x = 25$ мм га силжиган бошланғич вақт пайтидаги гармоник тебранишнинг ҳаракат тенгламасини ёзинг.

13. Гармоник тебранишнинг бошланғич фазаси нолга тенг. Нукта мувозанат вазиятидан $x_1 = 2,4$ см силжиганда нуктанинг тезлиги $v_1 = 3$ см/с бўлади, $x_2 = 2,8$ см силжиганда эса тезлиги $v_2 = 2$ см/с бўлади. Шу тебранишларнинг амплитудаси A ва даври T ни топинг.

14. $m = 1,6$ г массали моддий нуктанинг тебраниш тенгламаси $x = 0,1 \sin\left(\frac{\pi}{8}t + \frac{\pi}{4}\right)$ м кўринишга эга. Нуктага таъсир этувчи максимал куч F_{\max} қиймати топилсин.

ЛАБОРАТОРИЯ ИШИ

ТЕБРАНМА ҲАРАКАТ ҚОНУНЛАРИНИ ЎРГАНИШ

Ишнинг мақсади: физик ва математик маятникларни тебранма ҳаракатга келтириш билан физик маятникнинг инерция моментини ва математик маятник ёрдамида жисмларнинг эркин тушиш тезланишини аниқлаш.

Керакли асбоб ва буюмлар: секундомер, чизғич, штангенциркуль.

НАЗАРИЙ ҚИСМ

Ўзининг маълум даражада такрорланувчанлиги билан фарқ қилувчи ҳаракатларга тебранма ҳаракатлар дейилади.

Тебранма ҳаракатларга мисол қилиб, соат маятникнинг ҳаракати, чолғу асбобидаги торнинг тебраниши, тебраниш контуридаги ток кучининг вақт ўтиб бориши билан ўзгариши ва бошқаларни келтириш мумкин.

Ушбу лаборатория ишида фақат механик тебранма ҳаракатлар ҳақида сўз юритилади. Фараз қилайлик, 12-расмда кўрсатилганидек икки девор орасидаги стерженга шарча ўрнатилган бўлиб, шарча ўз навбатида пружина орқали деворга боғланган бўлсин.

Шарчанинг мувозанат вазиятини X ўқининг X_0 нуқтасида деб олайлик. Агар шарчани мувозанат вазиятидан бирор масофага силжитиб, сўнгра

қўйиб юборсак, шарча ўзининг мувозанат вазиятига нисбатан гоҳ бир томонга, гоҳ иккинчи томонга силжиб тебранма ҳаракатда иштирок эта бошлайди. Бу ҳаракатни формула тарзида ҳамифодалаш мумкин. Умуман, механик тебранма ҳаракат формуласи деганда тебранма ҳаракатда иштирок этаётган жисмнинг исталган вақтда ўзининг мувозанат вазиятидан қайси томонга ва қанча масофага силжиганлигини ифодаловчи математик тенгламани тушунамиз. Биз кузатаётган ҳаракатда шарча билан стержен орасида ва шарча билан ҳаво орасида қаршилик кучлари мутлақо йўқ деб фараз қилсак, содир бўлган тебранма ҳаракат формуласини қуйидагича

ёзиш мумкин:

$$x = A \cdot \cos(\omega t + \alpha) \quad (1)$$

Бунда x -шарчанинг исталган вақтдаги силжиш масофаси, A -силжиш масофасининг энг катта қиймати-тебраниш амплитудаси, ω - тебранишнинг доиравий частотаси, t -вақт ва α -тебранишнинг бошланғич фазаси.

Кузатилаётган физик катталиқнинг қиймати (мисол учун шарчанинг мувозанат вазиятидан силжиш масофаси, маятникнинг оғиш бурчаги ва ҳоказо) вақт ўтиши билан синусоида ёки косинусоида қонуни асосида ўзгариб турса, бундай ҳаракатга тебранма ҳаракат деб аталади.

Тебранма ҳаракатни характерлаш учун яна қуйидаги физик катталиқлардан фойдаланилади. T -тебраниш даври, бу катталиқ тебранма ҳаракатда иштирок этаётган жисмнинг бир марта тўла тебраниши учун кетган вақтни ифодалайди. ν -тебраниш частотаси бўлиб, бир секунд вақт оралиғида тўла тебранишлар сонини кўрсатади.

1 - машқ

Физик маятникнинг инерция моментини аниқлаш

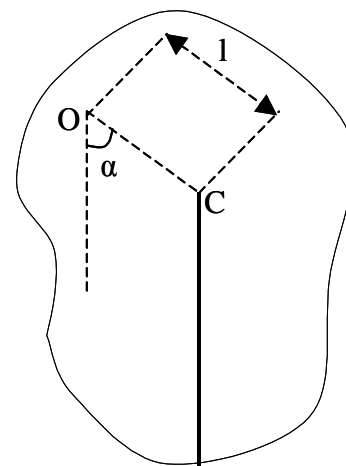
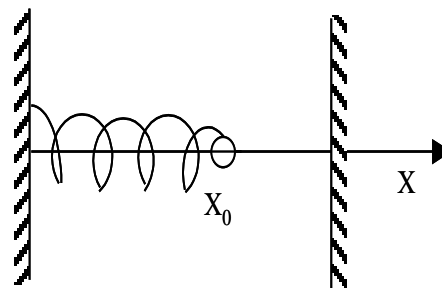
Инерция марказидан ўтмайдиган горизантал ўқ атрофида оғирлик кучи таъсирида тебрана оладиган қаттиқ жисмга физик маятник дейилади (13-расм). O -маятникнинг осилиш нуқтаси, C -инерция маркази, OC - маятник инерция маркази билан осилиш нуқтаси орасидаги масофа бўлиб, одатда физик маятник елкаси дейилади.

Маятникни бирор бурчакка оғдирилса, уни мувозанат вазиятга келтирувчи оғирлик кучининг моменти қуйидагича аниқланади:

$$M = -mgl \sin \varphi \quad (2)$$

(2) ифодадаги минус ишора куч моментининг таъсири оғиш бурчаги йўналишига қарама-қарши эканлигини кўрсатади.

Маятникнинг осилиш ўқиға нисбатан инерция моментини I десак, қаттиқ жисмнинг айланма ҳаракат



динамикасининг асосий тенгламасига кўра, қуйидаги тенгликни ёза оламиз:

2-расм.

$$I\varepsilon = -mg\ell \sin \varphi \quad \text{бундан} \quad \varepsilon = \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \varphi''$$

$$\text{эганини хисобга олсак,} \quad I\varphi'' = -mg\ell \sin \varphi \quad (3)$$

$$\text{бундан} \quad \varphi'' + \frac{mg\ell}{I} \sin \varphi = 0 \quad (4)$$

кўринишдаги иккинчи тартибли бир жинсли дифференциал тенгламани ҳосил қиламиз.

Оғиш бурчаги кичик бўлган ҳолларда $\sin \varphi \approx \varphi$ дейиш мумкин. Натижада (4) тенглама қуйидаги кўринишга келади:

$$\varphi'' + \frac{mg\ell}{I} \varphi = 0 \quad (5)$$

$$(5) \text{ формулага қуйидагича } \frac{mg\ell}{I} = \omega_0^2 \quad (6)$$

белгилаш киритайлик. У ҳолда (5) тенглама қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\varphi'' + \omega_0^2 \varphi = 0 \quad (7)$$

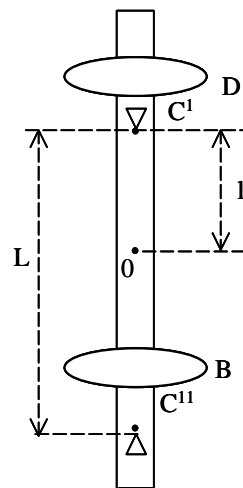
Бу гармоник тебранма ҳаракатнинг дифференциал тенгламаси бўлиб, унинг ечими $\varphi = \varphi_0 \sin(\omega_0 t + \alpha + \frac{\pi}{2})$ ёки $\varphi = \varphi_0 \cos(\omega t + \alpha)$ (8) шаклда ёзилади

Демак, оғиш бурчаги кичик қийматга эга бўлганда физик маятникнинг ҳаракати гармоник тебранма ҳаракатдан иборат бўлиб, бурилиш бурчагининг катталиги вақт ўтиши билан синусоида ёки косинусоида қонунияти асосида ўзгариб турар экан. (6) ифодага асосан физик маятникнинг тебраниш даври қуйидагича бўлади:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mg\ell}} \quad (9)$$

бўлади. Бу тажрибада кузатиладиган физик маятник 3-расмда кўрсатилган.

Физик маятник стерженга ўрнатилган Д ва В дисклардан, С' ва С'' призмалардан тузилган. У кронштейннинг илиш жойига осиб қўйилган. Таянч призмалар С' ва С'' орасидаги масофани L билан белгилаймиз. Бу катталикка асосан маятник елкасини қуйидагича аниқлаймиз. Маятникнинг бир ҳолатдаги



4-расм

тебраниш даврини T_1 , бу ҳолатга нисбатан маятник елкасини ℓ десак, (9) формулага биноан унинг инерция моменти қуйидагича бўлади:

$$I_1 = \frac{T_1^2}{4\pi^2} mg\ell \quad (10)$$

Агар маятникни тўнқарсак, физик маятникнинг инерция марказидан таянчгача (айланиш ўқигача) бўлган масофа (елка) ва тебраниш даври ўзгаради. Бу елгага нисбатан унинг тебраниш даврини T_2 дейлик. У ҳолда унинг инерция моментини қуйидаги ифодадан аниқлаймиз:

$$I_2 = \frac{T_2^2}{4\pi^2} mg(L - \ell) \quad (11)$$

Айланиш ўқлари параллел кўчирилганда Штейнер теоремасига кўра, маятникнинг биринчи ва иккинчи ҳолатлардаги инерция моментларини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$I_1 = I_0 + m\ell^2 \quad (12)$$

$$I_2 = I_0 + m(L - \ell)^2 \quad (13)$$

Бунда I_0 - физик маятникнинг инерция марказидан ўтган горизонтал ўққа нисбатан инерция моменти. (13) ифодадан (12) ифодани айирамиз, у қуйидагича бўлади:

$$I_2 - I_1 = mL(L - 2\ell) \quad (14)$$

ва бу ифодага (10) ва (11) ифодадаги I_1, I_2 ларнинг қийматларини келтириб қўйсак

$$\frac{1}{4\pi^2} mg[(L - \ell)T_2^2 - \ell T_1^2] = mL(L - 2\ell)$$

шаклдаги тенглик ҳосил бўлади.

$$\ell = \frac{4\pi^2 L^2 - gLT_2^2}{8\pi^2 L - g(T_2^2 - T_1^2)} \quad (15)$$

Тажрибада маятникнинг икки тебраниш ҳолатига нисбатан тебраниш давлари T_1 ва T_2 ларни аниқлаб (15) ифодадан маятникнинг елкаси ҳисобланади. Сўнг (10) ва (11) формулалардан маятникнинг икки ҳолатлари учун инерция моментлари I_1 ва I_2 лар аниқланади.

1 – машқда ишни бажариш тартиби

1. Маятникни C' призма орқали осиб, уни мувозанат вазиятдан $4-5^\circ$ га оғдирилади.

Сўнг секундомер ёрдамида 50 марта тебраниш учун кетган вақт топилиб $T_1 = \frac{t_1}{n_1}$

ифодадан тебраниш даври аниқланади.

2. Маятникни тўнқариб (ағдариб) унинг тебраниш даври иккинчи C'' таянчга нисбатан аниқланади. Икки таянч орасидаги масофа $L=0,73$ м.

3. (15) формуладан бир таянч нуқтадан инерция марказигача бўлган масофа (маятник елкаси) аниқланади.

4. (10) ва (11) формулалардан физик маятникнинг икки ҳолати учун инерция моменти аниқланади.

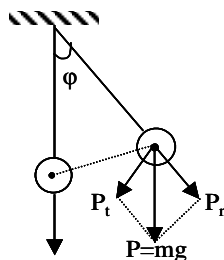
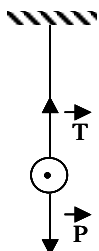
Ўлчаш ва ҳисоблаш натижалари қуйидаги жадвалга ёзилади.

№	n	t_1 с	T_1 с	$\langle T_1 \rangle$ с	$\langle T_1^2 \rangle$ с	n_2	T_2 с	T_2 с	$\langle T_2 \rangle$ с	$\langle T_2^2 \rangle$ с	ℓ м	L м	I_1	I_2
1														
2														
3														

2 - машқ

Математик маятник ёрдамида жисмларнинг эркин тушиш тезланишини аниқлаш

Чўзилмайдиган, вазнсиз ип ва унга осилган шарсимон жисмдан иборат системага математик маятник дейилади. Лекин, амалда, узун ингичка ипга осилган кичик ҳажмдаги оғирроқ шарчадан иборат системани математик маятник деб олиш мумкин. Агар математик маятникни мувозанат вазиятидан чиқарилса, у оғирлик кучининг P_t ташкил этувчиси таъсирида ўзининг мувозанат вазиятига интилади (15-расм).



5-расм

Юқоридаги физик маятникка татбиқ этилган амалларни (2,8-формулар) математик маятникка қўласак, оғиш бурчаги кичик бўлганда математик маятник ҳаракати ҳам гармоник тебранишдан иборат эканини аниқлаймиз, яъни:

$$\varphi = \varphi_0 \cos(\omega t + \alpha) \quad (16)$$

Математик маятникнинг айланиш марказига нисбатан инерция моменти эканини эътиборга олсак, (9) ифодадан фойдаланиб, математик маятникнинг тўла тебраниш даври учун қуйидаги формулани ҳосил қиламиз:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad (17)$$

Демак, математик маятник физик маятникнинг хусусий ҳоли экан. Юқоридаги (17) ифодадан математик маятникнинг тебраниш даври маятник узунлиги ва эркин тушиш тезланишига боғлиқ бўлиб, тебраниш амплитудаси ҳамда шарча массасига боғлиқ эмаслигини кўрамиз. (17) ифодадан эркин тушиш тезланиш учун қуйидаги формулани келтириб чиқарамиз:

$$g = \frac{4\pi^2 \ell}{T^2} \quad (18)$$

Бунда $\ell = \ell_0 + \frac{d}{2}$ бўлиб, ℓ_0 - ипнинг узунлиги, d - шарчанинг диаметри.

2-машқда ишни бажариш тартиби

1. Барабanni айлантириб, шарчани $\ell_0 = 70$ см га туширамиз (ℓ_0 - узунлик осилиш нуқтасидан шарча сиртигача олинади).

2. Штангенциркуль ёрдамида шарча диаметрини ўлчаб, $\ell = \ell_0 + \frac{d}{2}$ дан маятник узунлиги аниқланади.

3. Секундомер ёрдамида математик маятникнинг олинган узунлик учун 20 та тўла тебраниш вақти аниқланиб, тебраниш даври $T = \frac{t}{n}$ ҳисобланади.

4. Узунликларнинг 50 см, 60 см қийматлари учун тажриба айнан такрорланади ва бу узунликларга мос бўлган даврлар ҳисобланади.

5. (18) формуладан оғирлик кучининг тезланиши ҳисобланади.

Ўлчаш ва ҳисоблаш натижалари қуйидаги жадвалга ёзилади.

№	ℓ (м)	n	t (с)	T (с)	g (м/с ²)	$\langle g \rangle$ (м/с ²)	Δg (м/с ²)	$\langle \Delta g \rangle$ (м/с ²)	$\frac{\langle \Delta g \rangle}{\langle g \rangle} \cdot 100\%$
1									
2									
3									
4									

Синов саволлари

1. Тебранма ҳаракат деб қандай ҳаракатга айтилади.
2. Гармоник тебранма ҳаракат деб қандай тебранишга айтилади.
3. Гармоник тебранма ҳаракат тенгламасини ёзинг.

- 4.Физик маятник деб нимага айтилади.
- 5.Математик маятник деб нимага айтилади.
- 6.Физик ва математик маятникларининг тебраниш даврининг формулаларини келтириб чиқаринг.
- 7.Физик маятник инерция моментини аниқлаш формуласини ёзиб тушунтиринг.
- 8.Математик маятник ёрдамида эркин тушиш тезлигини аниқлаш формуласини келтириб чиқаринг.

МЕХАНИК ТЎЛҚИНЛАР

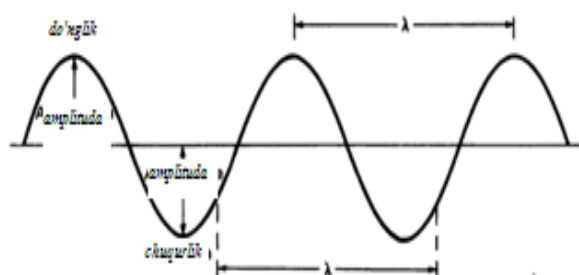
Режа

- 1.Тўлқин жараёнлар.
- 2.Бўйлама ва кўндаланг тўлқинлар.
- 3.Тўлқин тенгламаси ва энергияси.
- 4.Тўлқин узунлиги ва сони
- 5.Товуш тўлқинлари. Гуруҳли ва фазавий тенгликлар
- 6.Тўлқин ҳодисалари. Доплер эффекти.

Тўлқин ҳосил бўлиши ва унинг қандай тарқалишини кўриб чиқамиз. Алоҳида тўлқин импульсини, бир учи маҳкамланган арқон, иккинчи учини қўлимизни тез ҳолатда тепага-пастга ҳаракати натижасида ҳосил қилишимиз мумкин. Арқонни учини юқорига кўтарганимизда, арқон ёнидаги бўлақлар билан боғлиқ бўлганлиги учун, уларга юқорига қўйилган куч таъсир қилади ва бу бўлақлар ҳам тепага ҳаракат қила бошлайди. Қўлимизни пастга томон ҳаракатлантурсак арқонга берилган куч таъсирида у тебранма ҳаракат қила бошлайди. Шундай қилиб, тарқалаётган тўлқин импульсининг манбаи ғалаёнланишидир, ва унинг тарқалиш сабаби бўлақлар орасидаги ўзаро таъсир кучларидир [1].

Даврий равишда тарқалаётган тўлқин манбаи тебранма ҳаракатдир ва у тўлқин кўринишида тарқалади. Агар манба синусоидал кўринишда гармоник тебранма ҳаракат қилаётган бўлса, у ҳолда тўлқин ҳам, абсолют эластик муҳитда, вақт ва маконда синусоидал кўринишда тарқалади. Қуйидаги графикда даврий синусоидал тўлқинларнинг асосий параметрлари келтирилган. Тўлқин тарқалишида энг юқори нукталар тўлқин дўнглиги (пучност), энг пастки нукталар тўлқин чуқурлиги(впадина) дейилади. Тўлқин дўнглиги ва тўлқин чуқурлигининг мувозанат вазиятига нисбатан максимал баландлиги тўлқин амплитудаси деб аталади. Иккита қўшни дўнгликлар орасидаги масофа тўлқин узунлик λ дейилади. Бир марта тўлиқ тебраниш учун кетган вақт тебраниш даври T дейилади. Вақт бирлиги ичидаги тебранишлар сони тебраниш частотаси ν дейилади.

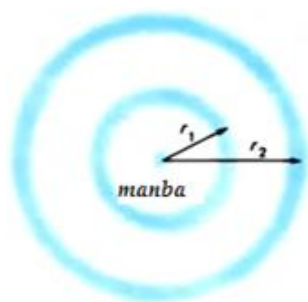
Тебраниш даври тебраниш частотасига тесқари катталиқ ҳисобланади.



$$T = 1/\nu, \quad f = \frac{1}{T} \quad \text{and} \quad T = \frac{1}{f}.$$

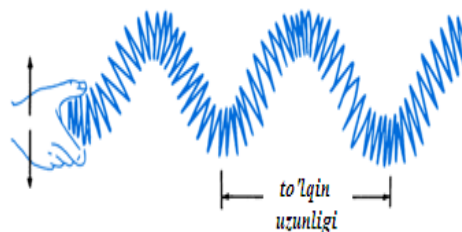
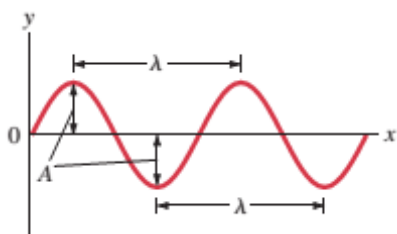
Тўлқин тезлиги деб тўлқин дўнглигининг кўчиш тезлигига айтилади.

$$v = \lambda / T = \lambda \cdot \nu$$

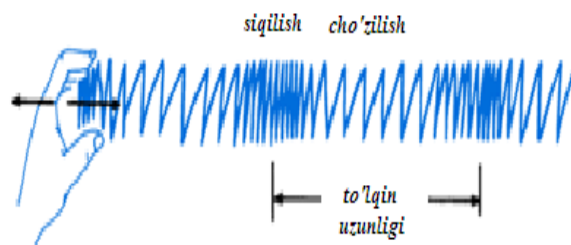


Механик тебранишларнинг мухитда тарқалиш жараёни тўлқин жараён ёки тўлқинлар дейилади. Мухит эластик бўлса, тўлқинлар эластик бўлади. Тебраниш эластик мухитда механик деформация (ўз частотасига мос равишда) уйғотади. Механик эластик мухитда жойлашибтебраниш тарқатиш натижасида тўлқин ҳосил қиладиган жисм тўлқин манбайи дейилади. Бу ерда ҳаво эластик мухит вазифасини бажариди [2].

Табиатда икки хил тўлқин мавжуд: бўйлама тўлқин ва кўндаланг тўлқин. Агар мухит заррачалари тебраниши тўлқин тарқалиши йўналиши билан бир йўналишда йўналган бўлса, бундай тўлқин бўйлама тўлқин дейилади. Бўйлама тўлқин қаттиқ, суяқ ва газсимон мухитларда ҳам тарқалиши мумкин. Ҳавода тарқалаётган товуш тўлқинлари бўйлама тўлқинга мисол бўла олади.¹



Агар эластик мухит заррачаларининг тебраниш текислиги тўлқин тарқалиш тезлигига перпендикуляр бўлса, бундай тўлқин кўндаланг тўлқин дейилади. Кўндаланг тўлқинлар эластик мухитнинг силжиш деформацияси билан силжиш деформацияси билан боғлиқ бўлади. Шу сабабли бу тўлқин формалари эластик бўлган қаттиқ жисмларда пайдо бўлади ва шундай жисмларда тарқалади. Мусиқа асбоблари торларида тарқалувчи тўлқин кўндаланг тўлқинга мисол бўла олади.¹



Физика ва техникада сирт тўлқинлари алоҳида ўрин тутди. Сирт тўлқинлари суяқлик сирти бўйлаб тарқалади ва механик объектларнинг суяқлик сиртига тасирдан ҳосил бўлади. Сирт тўлқинларида суяқлик заррачалари бир вақтнинг ўзида ҳам бўйлама, ҳам кўндаланг тебранишларда бўлиб, траекториялари эллиптик ва ундан ҳам мураккаброк бўлади.

Тўлқин тўғри чизик бўйлаб, v тезлик билан тарқалсин. У ҳолда мухит заррачаларининг бир нуқтадаги тарқалиш тенгламаси

$$x = A \sin 2\pi \nu t$$

бўлади, кейинги нуқтага ($t - t_1$) кечикиш билан етиб келади. У ҳолда бу нуқтадаги тенглама

$$x = A \sin 2\pi \nu \left(t - \frac{l}{v} \right) \text{ бўлади}$$

Бу тенгламаларни ҳисобга олиб, тўлқин тенгламасини қуйидагича ёза оламиз.¹

$$x = A \sin 2\pi \left(vt - \frac{l}{v} \right), \quad x = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{l}{\lambda} \right)$$

Бу тенглама югурувчи тўлқин тенгламаси бўлиб, тебраниш манбаидан l масофада жойлашган муҳитнинг ҳар қандай нуктасидаги заррачаларнинг силжишини аниқлайди. Агар манбадан чиққан тўлқин бирор тўсикқа учраб қайтса, турғун тўлқин ҳосил бўлади. Бу тўлқиннинг тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$x = 2A \cos \frac{2\pi l}{\lambda} \cdot \sin \frac{2\pi t}{T}$$

Турғун тўлқин, югурувчи тўлқинга қарама-қарши ўлароқ ўзи билан энергия олиб юрмайди, чунки тўғри(югурувчи) тўлқин ва тесқари тўлқин олиб юрувчи энергиялар бир бирига тенг ва бир-бирини компенсация қилади

Тўлқинлар ўзи билан энергия олиб боради. Агар тўлқинлар қандайдир муҳит орқали тарқалаётган бўлса, энергия бир заррачадан иккинчи заррачага ўтадиган энергия кўринишида узатилади. Узатилаётган энергиянинг тенгламаси қуйидагича бўлади

$$E = 2\pi^2 \rho A v t v^2 D_m^2$$

бу эрда ρ -муҳит зичлиги, A ва D –заррачанинг мувозанат ҳолатидан энг катта силжиши, v -тўлқин тезлиги, v -заррачанинг тебраниш частотаси.

Вақт бирлиги ичида узатилган энергия ўртача қувват деб аталади .

$$\bar{P} = E/t = 2\pi^2 \rho A v v^2 D_m^2$$

Товуш тўлқинларининг интенсивлиги юза бирлиги орқали ўтувчи ўртача қувватга миқдор жихатидан тенг бўлган катталиққа айтилади.²⁵

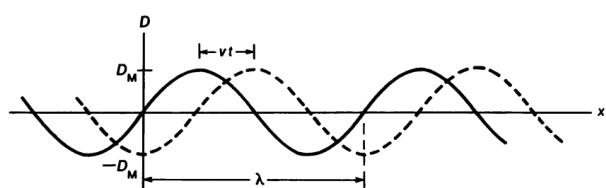
$$I = \bar{P}/A = 2\pi^2 \rho v v^2 D_m^2$$

Акустик тўлқин ва унинг характеристикалари

Фақатгина моддий, эластик муҳитда тарқалувчи ва инсон қулоғи орқали қабул қилинувчи механик тўлқинларни **товуш** ёки **акустик тўлқин** дейилади.

Одатдаги шароитларда инсон қулоғи 16 ÷ 20000 Гц частотали тебранишларни товуш сезгиси сифатида қабул қилади. Мазкур интервалга нисбатан паст частотали тебранишларни – **инфратовуш**, юқори частотали тебранишларни эса **ултратовуш** деб юритилади.

Газ ёки суюқликларда товуш муҳитнинг галма-гал келувчи сиқилиш ва сийраклашиш жараёнидан иборат бўлиб, у



бўйлама тўлқин ҳолида тарқалади. Табиийки, бунда муҳит зичлиги ва босимининг муттасил ўзгариб туриши, яъни босим (зичлик) тўлқини кузатилади:

²⁵ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, 326-328 б

$$\Delta p = (\Delta p)_m \sin \left(t - \frac{x}{g} \right) \quad (1)$$

бунда $(\Delta p)_m$ – босимнинг тебраниш амплитудаси, g – тўлқиннинг фазавий тезлиги, x – галаёнланиши кузатилаётган нуқтагача бўлган масофа.

Қаттиқ жисмларда товуш тўлқинлари бўйлама ҳам, кўндаланг ҳам бўлиши мумкин. Чунки қаттиқ жисм бўйлама ва силжиш деформацияларига нисбатан эластиклик хусусиятини намоён қилади.

Акустик тўлқин хоссаларини ифодаладиган ҳар бир физик катталиқ бир-биридан фарқли икки мустақил меъзон билан баҳоланади.

Инсон қулоғи анчагина мураккаб тузилишга эга бўлган эшитиш асбоби бўлиб, у ўзи қабул қилган товушни фарқлаш ва уларни товуш сезгиси сифатида баҳолаш қобилиятига эга. Бу **субъектив баҳо** бўлади. Бошқа томондан, товуш манбаи тебранишларининг ҳар бир характеристикасини физик асбоблар билан ўлчаш орқали баҳоланади. Бу эса **объектив баҳо** ҳисобланади:

- 1) **Объектив баҳо:** Амплитуда. Частота. Шакл.
- 2) **Субъектив баҳо:** Қаттиқлик. Баландлик. Тембр.

Товуш тўлқинларининг фазода тарқалиш жараёни энергия узатилиши билан юз беради. Товуш сезгисини келтириб чиқариш учун тўлқин бирор минимал интенсивликка эга бўлиши керак. Бу интенсивликнинг қиймати **эшитиш бўсағаси** ҳисобланади.

Тўлқинларнинг тарқалиш йўналишига перпендикуляр бўлган бир бирлик сиртдан бир секундда оқиб ўтадиган ўртача кинетик энергия миқдори **товушнинг интенсивлиги** дейилади:

$$I = W / (S \cdot t) \quad (2)$$

Товушнинг интенсивлиги тебраниш амплитудаси ва тебранувчи жисм сирт катталигига боғлиқ бўлади [10-11].

Товушни узатувчи муҳит зарраларининг тебраниш амплитудаси эса анча кичик миқдордир:

$$A = \frac{(\Delta p)_m g}{\rho \omega} \quad (3)$$

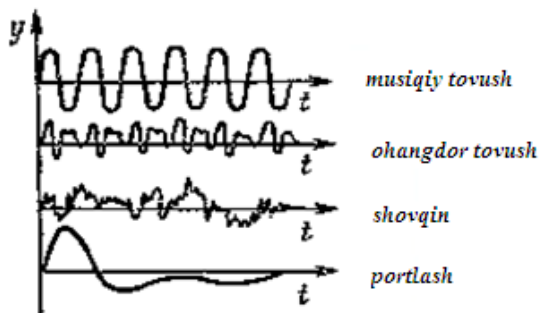
бунда ρ – тўлқинланмаган газнинг зичлиги, $\gamma = 1,40$ (ҳаво учун) – адиабата кўрсаткичи, ω – тсиклик частота.

Юқоридаги формулалардан фойдаланиб, товуш тўлқинларининг интенсивлиги (**кучи**) ни топамиз:

$$I = \frac{(\Delta p)_m^2}{2 \rho g} \quad (4)$$

Одам қулоғи $1000 \div 4000 \text{ Гц}$ частотали товушларга жуда сезгир бўлиб, бу ҳолат учун эшитиш чегараси 10^{-12} Вт/м^2 га мос келади.

Интенсивлик тахминан $1 \div 10 \text{ Вт/м}^2$ чегарасига этганида акустик тўлқин товуш сифатида сезилмай қолади. У қулоқда фақат оғриқ ва босим сезгисини уйғотади. Интенсивликнинг ана шундай сезги уйғотадиган қиймати **оғриқ сезиш бўсағаси** деб аталади.



Ешитиш ва оғрик сезиш чегараларининг қиймати – товуш тўлқинларининг частотасига боғлиқ бўлади (34-расм).

Тажриба – интенсивлик геометрик прогрессия бўйича ўсганида қаттиқликнинг арифметик прогрессия қонуни билан ошишини кўрсатади. Бу боғланиш **Вебер – Фехтернинг физиологик** (психофизик) **қонуни** билан аниқланади:

$$L = 10 \lg (I/I_0) \quad (5)$$

бунда L – товушнинг интенсивлик ёки қаттиқлик даражаси дейилади. Агар кулоқнинг максимал сезгирлик ҳолатидаги эшитиш чегарасига мос тушувчи интенсивликни $I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$ деб олсак, унда $L_0 = 0$ бўлади.

L – икки хил бирлик билан ифодаланади, у :

- 1) интенсивлик даражаси сифатида **бел** (B) ёки **децибел** ($дБ$) бирликларида ($дБ = 0,1 B$);
- 2) қаттиқлик даражаси сифатида эса **фон** бирлигида ўлчанади.

Стандарт соф тон частотаси ҳисобланган 1000 Гц частотали товуш учун интенсивлик даражаси 1 дБ бўлса, унда қаттиқлик даражаси 1 фон бўлади. Таққослаш учун, катта тезликда ҳаракатланаётган метро-вағонидаги шовкин $\approx 90 \text{ фон}$, 1 м масофа наридаги шивирлаш эса $\approx 20 \text{ фон}$ қаттиқлик даражаси ҳосил қилишини кўрсатиб ўтиш мумкин.

Акустик тўлқин инсон кулоғида товуш сезгисини уйғота оладиган интенсивликларнинг бутун соҳаси $(1 \cdot 10^{-12} \div 10) \text{ Вт/м}^2$ га, қаттиқлик даражасининг эса $(0 \div 130) \text{ дБ}$ қийматларига мос келади.

Ҳар қандай реал товуш – **товушнинг акустик спектри** деб аталувчи, маълум частоталар тўпламига эга бўлган гармоник тебранишлар йиғиндисидан иборат.

Акустик товуш ўзининг ҳосил бўлиш табиати ва спектрал таркибига кўра қуйидаги турларга бўлинади (35-расм).

- 1) **Музыкавий тон** – синусоидли тебранишдан иборат.
- 2) **Оҳангдор товуш**-бир нечта музыкавий тоннинг қўшилишидан ҳосил бўладиган ногармоник тебраниш бўлиб, у чизикли спектрга эга.
- 3) **Шовқин** – частоталари турлича, амплитудаси эса тахминан бир хил бўлган жуда кўп сонли тебранишлар аралашмасидан ташкил топувчи – номунтазам тебранишдир. Шовқинлар туташ акустик спектрни ҳосил қилади.
- 4) **Портлаш** - қисқа вақт давом этувчи, кучли товуш тўлқини.

Оҳангдор товушнинг баландлиги **асосий тон** деб аталувчи энг кичик частота билан белгиланади. Унга нисбатан юқори частотали тебранишларни **обертонлар** дейилади. У ёки бу товушга хос бўлган турли сондаги обертонлар товушга алоҳида ўзига хослик, яъни ранг – баранглик беради ва товуш тембрини белгилайди:

Товушнинг тембри – овоз чиқарувчи жисм ҳосил қиладиган тебранишлар таркибидаги обертонларнинг сонига ва уларнинг нисбий интенсивлигига боғлиқ бўлади.

Бу қонунни 1862 йилда немис физиги Герман фон Гелмгольц аниқлаган.

Тажриба шуни кўрсатдики, айна бир товуш манбаи учун товуш тембри овоз чиқарувчи жисми қанақа тарзда қўзғатилиб, тебраниш ҳосил қилинганлигига боғлиқ бўлар экан.

Ҳар хил музика асбоблари уйғотадиган товушлар турли спектрал таркибга эга. Шунинг учун, уларнинг тембрига кўра биз скрипканинг товушини роялникдан, гитаранинг товушини флейтаникидан, дуторнинг товушини рубобникидан осон ажратамиз, таниш кишиларимизнинг овозларидан билиб оламиз.²⁶

Агар товуш манбаи кузатувчига яқинлашаётган бўлса, товуш баландлиги, манбанинг тинчликдаги баландлигига нисбатан, кучаяди. Агар манба кузатувчидан узоқлашаётган бўлса, товуш баландлиги пасаяди. Бу ҳодиса Доплер эффекти дейилади. Доплер эффекти ҳар қандай тўлқин учун ўринли.¹

Маълумки, моддалар турли агрегат ҳолатида ҳам товуш узатиш хусусиятига эга. Тўлқин – муҳитда, товуш манбаининг частотасига тенг частота билан тарқалади. Унинг тарқалиш тезлиги муҳитнинг зичлиги ва эластиклик хусусияти билан аниқланади:

1) Қаттиқ жисмлар (масалан, узун стержен) да товушнинг тарқалиш тезлиги:

$$g = \sqrt{E/\rho} \quad (6)$$

бунда ρ – стерженнинг эластиклик модули, E – унинг зичлиги.

2) Суюқликларда товуш тезлиги:

$$g = \sqrt{K/\rho} \quad (7)$$

бунда K – суюқликнинг ҳажмий сиқилиш модули. Мудомики, товушнинг тезлиги зичлик орқали ифодаланар экан, у температурага боғлиқ бўлади.

3) Газларда товуш тезлиги:

$$g = \sqrt{\gamma R T / \mu} = \langle g \rangle \sqrt{\gamma \pi / 8} \approx 3/4 \langle g \rangle \quad (8)$$

бунда P – моляр газ доимийси; μ – моляр масса, $\gamma = C_p/C_v$ ўзгармас босим ва ҳажмда газ моляр иссиқлик сиғимларининг нисбати; T – термодинамик температура.

Товушнинг газдаги тезлиги молекулаларнинг иссиқлик ҳаракати ўртача тезлиги $\langle g \rangle$ дан бир неча марта кичик бўлади. Унинг сон қиймати газнинг фақат температурасига боғлиқ, босимига эса боғлиқ эмас.

Товуш газларда $(0,2 : 1,2) \text{ км/с}$, суюқликларда $(1,2 : 2,0) \text{ км/с}$ ва қаттиқ жисмларда эса $(2,0 : 5,0) \text{ км/с}$ тезлик билан ҳаракатланади. Муҳитнинг температураси кўтарилганда,

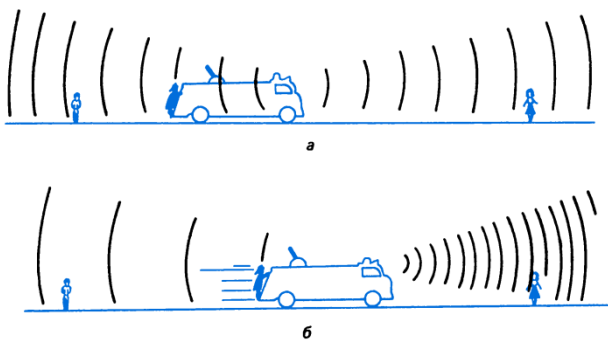
товуш тезлиги тахминан термодинамик температуранинг квадрат илдизига пропорционал тарзда ошади.

4) Ҳавода товуш тўлқинининг тарқалиш тезлиги:

$$g = (331,6 + 0,6 t) \text{ м/с} \quad (9)$$

бунда $g_0 = 331,6 \text{ м/с}$ – 0°C температура ва 1 атм. босимда товушнинг ҳаводаги тарқалиш тезлиги.

Атмосферада сув буғларининг мавжудлиги товушнинг қуруқ ҳаводагига



нисбатан тарқалиш тезлигини ўзгартириши мумкин.

Ҳаво қовушқоқ муҳит бўлганлиги ва товуш энергиясининг бир қисми муҳитнинг ички энергиясига айланганлиги учун товуш тарқалиш жараёнида сўнади. Шу сабабли, товуш ҳосил қилиш ва уни узатиш учун доимо энергия керак бўлади.

²⁶ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, Prentice Hall; 6th edition January 17, 2004 USA

Товуш дисперсия хоссасига эга эмас, яъни унинг тезлиги частотага боғлиқ ҳолда ўзгармайди. Акс ҳолда нутқ яратиш жуда қийин бўларди. Куй эшитишнинг эса мутлақо иложи бўлмасди.

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Тўлқин жараёни, бўйлама ва кўндаланг тўлқинлар, эластик тўлқинлар, тўлқин майдони, тўлқин фронти, сферик тўлқинлар, тўлқин тарқалиш тезлиги, тўлқин узунлиги, тўлқиннинг ҳаракат тенгламаси, фазавий ва гуруҳли тезлик.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Эластик муҳитда тебранишларнинг тарқалишини қандай тушунтириш мумкин? Тўлқин нима?
2. Бўйлама ва кўндаланг тўлқинларга таъриф беринг. Улар қачон ҳосил бўладилар?
3. Тўлқин узунлиги деб нимага айтилади? Тўлқин узунлиги, тезлиги ва фазаси орасида қандай боғланиш мавжуд?
4. Товуш тўлқинларини таърифланг. Уларнинг ҳавода бўйлама ва ёки кўндаланг тўлқин шаклида тарқалишини аниқланг
5. Товуш вакуумда тарқала оладими? Нима учун?
6. Товуш қаттиқлиги, баландлиги ва тембри нимага боғлиқ бўлади?
7. Доплер эффекти нима?
8. Шамолнинг тезлиги Доплер эффектига қандай таъсир ўтказди?
9. Товушнинг акустик спектри ҳақида маълумот беринг.
10. Товушнинг муҳитда тарқалиш тезлиги нималарга боғлиқ бўлади?

Амалий машғулот

Механик тўлқинлар

1. Сув сиртида тўлқин 3 м/с тезлик билан тарқалмоқда. Бунда тўлқин дўнглигидаги зарраларнинг тезлиги қандай бўлади?
2. Қуйи кенгликларда океан соҳилларида спортнинг «серфинг» тури-тўлқин дўнглигида тахта устида сузиш кенг тарқалган. Агар 25 м тўлқин узунлигида сув сиртидаги зарралар 1,5 с давр билан тебранса, тўлқин одамни қандай тезликда олиб юради?
3. Қаерда товушнинг тезлиги катта: ҳаводами ёки темирдами? Товуш вакуумда тарқалиши мумкинми?
4. Баъзан биз эшикни очаётиб, ғичирлаган товушни эшитамиз. Бу товушнинг ҳосил бўлишини қандай тушунтириш мумкин? Эшикнинг роли қандай?
5. Товушнинг берилган муҳитда, масалан, ҳавода тарқалиш тезлиги нимага боғлиқ?
6. Нима учун поезд яқинлашаётганини билиш учун релсларга қулоқ тутилади?
7. Камертон **264 Гц** частота билан тебранмоқда. Камертон шохчаларининг тебраниш кенглиги мувозанат вазиятидан **1,5 мм**. Камертон шохчаларининг а) максимал тезлигини; б) максимал тезланишини ҳисобланг.
8. Массаси **1,0 кг** жисм **$x = 0,42 \cos 7,40t$** қонуният бўйича тебранмоқда, бу ерда **t** секундларда, **x** метрларда ўлчанади. **$x = 0,16 м$** бўлганида а) тебраниш амплитудасини; б) частотасини; в) тўла энергиясини; г) кинетик ва потенциал энергияларини топинг.
9. Пружинали болалар қуролининг пружинасини **0,10 м** га сиқиб, массаси **0,200 кг** шарча билан зарядланди. Унга **60 Н** куч қўйиш керак. Шарча стволдан қандай тезликда учиб чиқади?
10. Бир тизимнинг энергияси бошқасиникидан ўн марта катта, аммо биринчисининг бикрлиги иккинчисиникидан икки марта ортиқ. Бу тизимларнинг амплитудалари ўзаро қандай боғланган?

11. Товуш манбаи **2,8 м** ва **3,10 м** тўлқин узунликли товуш тўлқинлари ҳосил қилади. а) **20°C** температурада секундига неча марта зарб товуши эшитилади? б) Муҳитнинг қандай масофасигача товушнинг максимал интенсивлиги жойлашади? (Товуш тўлқинининг **20°C** температурадаги тезлиги **343 м/с** га тенг).
12. Икки тепловознинг товуш сигналининг частоталари **260 Гц** га тенг. Тепловозлардан бири тинч турган кузатувчига нисбатан **80 км/соат** тезлик билан узоқлашиб бормокда, иккинчиси эса жойида турибди. Кузатувчи қанақа тебраниш частотасини қабул қилади.¹

УЗЛУКСИЗ МУҲИТЛАР МЕХАНИКАСИ ЭЛЕМЕНТЛАРИ

Режа

Суюқлик ва газларнинг умумий ҳоссалари. Гидродинамиканинг асосий тенгламаси. Сикилмайдиган суюқлик гидростатикаси. Идеал суюқликнинг турғун ҳаракати. Узлуксизлик ва Бернулли тенгламалари. Ёпишқоқ суюқлик гидродинамикаси. Ёпишқоқлик коэффиценти. Суюқликнинг найларда оқиши.

Таянч иборалар: Гидродинамика, гидростатика, сикилмайдиган суюқлик, ёпишқоқ суюқлик, идеал суюқлик, узлуксизлик тенгламаси, ҳажмий кучлар

Суюқликларнинг ҳаракат ва мувозанат тенгламаси.

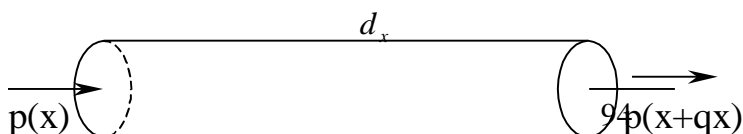
Суюқликлар ва газлар ҳаракатининг мураккаб манзарасини тушуниш учун биз уларни дастлаб ёпишмайдиган ва сикилмайдиган суюқлик сифатида қараб чиқамиз.

Ҳаракат тезликлари катта бўлганида енгил сиқилувчи газлар ҳам унда ҳаракатланувчи жисмларга худди сикилмайдиган суюқликлардек таъсир кўрсатади. Кичик тезликлар билан ҳаракатланувчи суюқлик ичига киритилган жисмларга таъсир этувчи кучларнинг пайдо бўлишига асосан ёпишқоқлик сабаб бўлади, катта тезликларда эса суюқликларнинг инерцияси кўпроқ таъсир кўрсатади. Бу кучларнинг миқдори ва йўналиши суюқлик билан унга киритилган қаттиқ жисмнинг бир-бирига нисбатан кўчиш тезлигига боғлиқ бўлади.

Умуман суюқликларда таъсир этувчи кучларни ҳажмий кучларга ва сирт кучларига ажратиш мумкин. *Ҳажмий кучлар* масса dm га ва u билан боғлиқ бўлган кучга мутаносибдир. Бу кучни $\vec{f}dV$ деб белгиласак, \vec{f} ни *ҳажмий кучларнинг зичлиги* дейиш мумкин. Ҳажмий кучларга оғирлик ва инерция кучлар мисол бўла олади. Равшанки, оғирлик кучининг ҳажмий зичлиги $\vec{f} = \rho\vec{g}$, ρ - суюқлик зичлиги, g -эркин тушуш тезланиши. Сирт кучлари эса суюқликнинг ҳар бир кичик ҳажмига уни ўраб турган суюқлик бўлаклари томонидан таъсир этувчи тик ва уринма тарзда йўналган кучлардан иборат. Тинч турган суюқлик учун уринма кучларни эътиборга олмай, фақат тик йўналган босим кучлардан иборат ҳолни кўриб чиқайлик. Кичик ҳажм бўлақчаси dV учун узинлиги dx ва кўндаланг кесими юзаси dS бўлган цилиндрни олайлик.

Босим кучининг цилиндрнинг биринчи асосига таъсир этувчисини $p(x)dS$ десак, иккинчиси $p(x+dx)dS$ га тенг бўлади. Аслида \vec{p} куч u ва z координаталарга ҳамда

вақтга ҳам боғлиқ бўлади. Цилиндрнинг ён томонларига таъсир этувчи босим кучлари x



ўқига тик бўлганда, уни ҳисоблашда y ва z ўқлар бўйлаб таъсир этувчи кучларни қараб ўтирмасак ҳам бўлади.

Қаралаётган ҳажм бўлакчасига таъсир этувчи босим кучининг X ўқи йўналишидаги ташкил этувчиси $[p(x) - p(x + dx)]dS$ га тенг бўлади. Чексиз кичик ўзгаришни дифференциал билан алмаштириш мумкинлигидан,

$$p(x + dx) - p(x) = -dp = -\frac{dp}{dx} dx$$

деб ёзиш мумкин. y, z ва t ларни ўзгармас деб қаралаётганда, $p(x, y, z, t)$ функциянинг x бўйича олинган ҳосиласи хусусий ҳосиладан иборат бўлгани туфайли,

$$-\frac{dp}{dx} dx = -\frac{\partial p}{\partial x} dx = T_x dx$$

дейиш мумкин. Шунга ўхшаш p нинг y ва z лар бўйича хусусий ҳосиласининг $\frac{\partial p}{\partial y}$ ва $\frac{\partial p}{\partial z}$

десак, босим кучининг X, Y ва Z ўқлари бўйича ташкил этувчиларни қуйдагича ёзиш мумкин:

$$T_x = -\frac{\partial p}{\partial x}, \quad T_y = -\frac{\partial p}{\partial y}, \quad T_z = -\frac{\partial p}{\partial z}. \quad (1)$$

Шундай қилиб, суюқликнинг бирлик ҳажмига босим p туфайли вужудга келган қуйидаги сирт кучлари таъсир этади:

$$\vec{T} = -\frac{\partial p}{\partial x} \vec{i} - \frac{\partial p}{\partial y} \vec{j} - \frac{\partial p}{\partial z} \vec{k} \quad (2)$$

p скаляр катталиқнинг градиентини

$$\text{grad } p = \frac{\partial p}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial p}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial p}{\partial z} \vec{k} \quad (3)$$

$$\text{деб белгиласак,} \quad \vec{T} = -\text{grad } p \quad (4)$$

деб ёзиш мумкин, яъни \vec{T} вектор p скаляр катталиқнинг тескари ишора билан олинган градиентига тенг экан. Шундай қилиб, \vec{T} вектор босим p нинг миқдори билан эмас, балки унинг фазодаги йўналишлар бўйлаб ўзгариши билан аниқланади.

Суюқликларнинг мувозанат ҳолатида T куч ҳажмий куч \vec{f} билан мувозанатда бўлиши туфайли қуйдагига эга бўламиз:

$$\text{grad } p = \vec{f}$$

Бу тенглама *гидростатиканинг асосий тенгламаси* дейилади (5) тенгламанинг координаталар бўйича ёзилган кўриниши қуйдагича:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = f(x), \quad \frac{\partial p}{\partial y} = f(y), \quad \frac{\partial p}{\partial z} = f(z). \quad (6)$$

Агар идеал суюқлик қандайдир \vec{v} тезлик билан ҳаракатланаётган бўлса, (4) ва (5) формулаларни ҳисобга олиб, суюқликнинг ҳаракат тенгламасини қуйдагича ёзишимиз мумкин:

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{f} - \text{grad } p \quad (7)$$

Бу тенглама *идеал суюқлик гидродинамикасининг асосий тенгламаси* бўлиб, у *Эйлер тенгламаси* деб ҳам аталади. Реал суюқликларда суюқликнинг ҳаракат тенгламалари анча мураккаблашади.

Сиқилмайдиган суюқлик гидростатикаси.

Агар суюқликлардаги ҳажмий кучларини йўқ деб фараз қилсак, у ҳолда $\vec{f}=0$ ва демак, $\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial p}{\partial z} = 0$ бўлади, яъни ҳажмий кучлар бўлмаган мувозанат шароитида

суюқликнинг барча нуқталарида босим бир хил бўлади.

Хусусан, ҳажмий кучлар бўлмаганда суюқликнинг бирдан-бир мувозанат шarti шундан иборатки, бу ҳолда суюқлик сиртининг барча нуқталарига таъсир этувчи босим бир хил ва у тaшқи босимдан иборат бўлади. Акс ҳолда суюқликнинг ҳаракати вужудга келади. Ҳажмий кучлар бўлмаганда суюқлик сиртга берилувчи муайян босим суюқлик ичидаги барча нуқталарда шундай босимни вужудга келтиради.

Агар суюқлик оғирлик майдонида бўлса, у ҳолда $\vec{f} = \rho \vec{g}$. Бу кучни Z ўқи бўйлаб йўналган деб ҳисобласак, мувозанатдаги суюқликнинг асосий тенгламаси қуйидагидан иборат бўлади:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g \quad (8)$$

Формуладан кўришиб турибдики, мувозанатда бўлган суюқликда босим X ва Y ўқларга боғлиқ бўлмасдан фақат Z га боғлиқ бўлади. Z га тик текисликлар эса бир хил босимли текисликлар бўлади ва бундан суюқликнинг зичлиги фақат баландликка боғлиқ деган хулоса келиб чиқади.

Энди фараз қилайлик, суюқлик бир жинсли ва сиқилмайдиган ($\rho=\text{const}$) бўлсин ҳамда эркин тушиш тезланиши \vec{g} ҳам баландлика боғлиқ бўлмасин. Бу шароитларни ҳисобга олган ҳолда (8) тенгламанинг интегрaли қуйидагини беради:

$$p = p_0 - \rho g z. \quad (9)$$

Интеграллиш доимийси p_0 маъно жиҳатидан $z=0$ даги суюқликнинг босимидан иборат.

(9) формула идишдаги суюқликнинг тагига ва деворларига ҳамда суюқликка ботирилган жисмнинг сиртига таъсир этувчи кучларни ҳам аниқлаш имконини беради.

Маълумки, Архимед қонунига биноан суюқлик ва газга ботирилган ҳар қандай жисмга у сиқиб чиқарган суюқлик ёки газ оғирлигига тенг гидростатик кўтариш кучи таъсир қилади. Бу куч жисм сиртига суюқлик ёки газ таъсир қилувчи босим кучларнинг тенг таъсир этувчиси бўлиб, тик равишда юқорига йўналади. Жисмнинг оғирлиги кўтариш кучидан катта бўлса жисм чўқади, кичик бўлса чўкмайди. Бу сўнгги хусусият жисмларнинг суюқлик ва газларда сузиш қонунининг асосини тaшкил этади.

Агар суюқликка қандайдир жисм киритилган бўлса ва у механика нуқтаи назаридан мувозанатда бўлса, у ҳолда унга таъсир этувчи тaшқи кучларни жисмнинг оғирлик кучи ва жисмга ҳар томондан таъсир этувчи босим кучларидан-Архимед кучларидан иборат деб қараш мумкин. Бу кучлар бир-бирига тенг ва қарама-қарши йўналган бўлса, жисм мувозанатда бўлади. Масалан, кеманинг сузишини текширадиган бўлсак, сув устида бемалол сузиб юриши учун кеманинг сувга ботирилган қисми сиқиб чиқарган сувнинг оғирлиги кеманинг юки билан биргаликдаги ҳаводаги оғирлигига тенг бўлиши лозим.

Идеал суюқликнинг турғун ҳаракати.

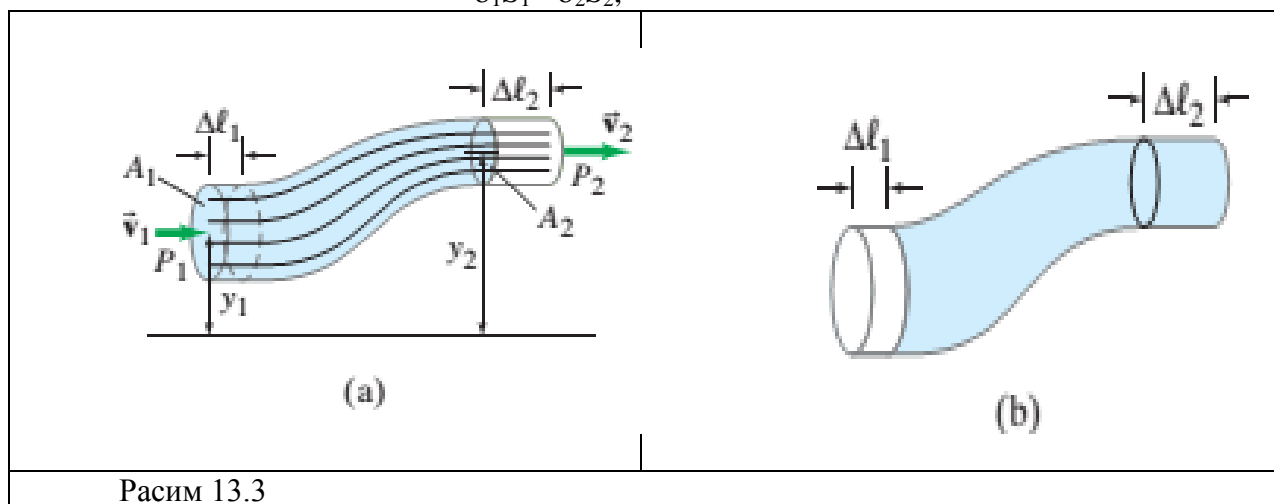
Бернулли тенгламаси.

Реал суюқликлар ҳаракатининг қонунларини ўрганиш анча мураккаб бўлгани учун биз асосан ёпишқоқлик кучларини ҳисобга олмасдан, идеал суюқликнинг ҳаракатини қарайлик. Албатта, бу ҳолда суюқликларда мавжуд бўладиган ички ишқаланишнинг тик ва уринма кучларини чексиз кичик деб қараш мумкин. Бу ҳолда идеал суюқликдаги

мавжуд бўлган бирдан-бир куч – унинг тик йўналган босим кучидир. Бу босим кучи (p^*) суюқликнинг зичлиги билан аниқланади.

Суюқликнинг кўндаланг кесими турлича бўлган оқим найида оқиш жараёнини қараб чиқайлик. Маълумки, суюқлик оқимининг ҳеч ерда узилмаслиги, яъни унинг узлуксизлигидан суюқлик тезлигининг оқим найининг кўндаланг кесимига кўпайтмасининг ўзгармас эканлиги келиб чиқади. Бу эса маълум вақт оралиғида найнинг бир учидан оқиб кираётган суюқликнинг ҳажми унинг қарама-қарши томонидан оқиб чиқаётган суюқлик ҳажмига тенг бўлишини билдиради:

$$v_1 S_1 = v_2 S_2,$$



Расим 13.3

яъни Δt вақт оралиғида S_1 кесим орқали оқиб кираётган суюқликнинг тезлиги v_1 ва босими p_1 бўлса, ҳудуди шу вақт ичида S_2 кесимдан v_2 тезлик ва p_2 босимларда бир хил суюқлик массаси оқиб ўтар экан.

Оғирлик кучи таъсирида рўй берувчи турғун ҳаракатни қараб чиқайлик. Бу ҳаракат учун энергиянинг сақланиш қонунини татбиқ этиш мумкин.

Оқим турғун бўлганлигидан, найнинг ажратиб олинган қисмларида энергия тўпланмайди ҳам, сарф бўлмайди ҳам. Демак, Δt вақт ичида S_1 кесим орқали узатилаётган энергия худди шу вақтда S_2 кесим орқали узатилаётган энергияга тенг бўлиши керак. Бу ҳолда S_1 кесимдан оқиб ўтаётган m массали суюқликнинг кинетик энергияси $mv_1^2/2$ ва потенциал энергияси mgh_1 бўлганидан, Δt вақт оралиғида оғирлик кучлари таъсирида S_1 кесим орқали узатиладиган энергия миқдори $\frac{mv_1^2}{2} + mgh_1$ бўлади. Бундан ташқари

орқадаги суюқлик қисми ўзининг олдидаги қисмини силжитиши учун $p_1 S_1$ кучнинг $v_1 \Delta t$ ўтилган кўпайтмасига тенг бўлган иш бажаради. Шундай қилиб, Δt вақтда кўндаланг кесим орқали узатиладиган умумий энергия миқдори қуйидагига тенг бўлади:

$$E = \frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 + p_1 S_1 v_1 \Delta t \quad (10)$$

Найнинг ҳеч бир қисмида энергия тўпланмаганлиги ва сарф ҳам бўлмаганлиги сабабли, S_2 кесим орқали Δt вақтда узатиладиган энергия ҳам худди шундай қўшилувчилар йиғиндисига тенг бўлади.

Демак,

$$\frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 + p_1 S_1 v_1 \Delta t = \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2 + p_2 S_2 v_2 \Delta t \quad (11)$$

Оқимнинг узлуксизлик шартига мувофиқ Δt вақтда найга оқиб кираётган суюқлик ҳажми $S_1 v_1 \Delta t$ га, худди шу вақт ичида ундан оқиб чиқаётган суюқлик ҳажми $S_2 v_2 \Delta t$ га тенг. (11) нинг икки томонини бу тенг ҳажмларга бўлсак ва $(m/Sv\Delta t) = \rho$ – суюқликнинг зичлиги эканлигини ҳисобга олсак, (11) ўрнига қуйидагини ёзиш мумкин:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + P_1 + \rho g h_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + P_2 + \rho g h_2$$

$$P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1.$$

ёки

$$\frac{\rho v^2}{2} + P + \rho g h = const \quad (12)$$

Бу тенглама Бернулли тенгламаси деб аталади. Бернулли тенгламасидан келиб чиқадиган ҳулосалардан бири шундай:

Оқим найининг ингичка қисмида суюқликнинг тезлиги бошқа қисмлардагига қараганда катта бўлади.

Суюқликнинг найларда оқиши. Пуазейль формуласи

Реал суюқликларда ҳаракат идеал суюқликлардагидан фарқли бўлиб, уларда ички ишқаланиш кучлари вужудга келади. Бундай суюқликларда ички ишқаланиш кучлари қатламларнинг ҳаракатига ва демак, ундаги жисмларнинг ҳаракатига ҳам, қаршилиқ кўрсатувчи куч сифатида намоён бўлади. Бу ҳодисани ўрганиш учун биз бирор суюқлик суртилган икки пластинкани олиб, устидаги пластинкани остидагисига нисбатан ҳаракатлантирайлик. Бунда уларга тегиб турган суюқлик қатламлари уларга ёпишади, қолган барча қатламлар эса бир-бирига нисбатан сирпаниб кўчади. Бу ҳолда пластинкалардан узоқда турган қатламларнинг сирпаниш тезлиги яқин турганларникидан катта бўлади. Қатламлар ҳаракатининг тезлигини ҳаракатга тик бўлган Z ўққа нисбатан қарайлик. Бу ҳолда ҳаракатнинг Z ўқи бўйича ўзгариш тезлиги (тезлик градиенти) $\frac{d\bar{v}}{dz}$ бўлади. Агар координата z ни орттириш билан қатламларнинг тезлиги бир текисда ортса, у ҳолда тезлик градиенти суюқликнинг барча массаси учун бир хил бўлади. Бир-биридан Δz узоқликда турган қатламларнинг тезликлари v_1 ва v_2 бўлса, у ҳолда тезлик градиенти $(v_2 - v_1)/\Delta z$ бўлади.

Суюқлик қатламлари орасида мавжуд бўлган ишқаланиш кучи F учун Ньютон қуйидаги қонуниятни аниқлади:

$$F = \eta \left| \frac{d\bar{v}}{dz} \right| S \quad (13)$$

бунда, η - суюқликнинг қовушоқлик коэффиценти; S - қатламлар юзаси; dv/dz катталиқ (тезлик градиенти) бир қатламдан иккинчи қатламга ўтганда суюқлик қатламлари тезликларининг ўзгариш жадаллигини ифодалайди. Ишқаланиш кучи (F) икки «қўшни» қатламнинг тезроқ ҳаракатланаётганини тўхтатишга, секинроқ ҳаракатланаётганини эса тезлатишга интилади.

(13)га кўра η нинг СИ даги бирлиги қилиб шундай суюқликнинг қовушоқлиги олинадики, бунда тезлик градиенти $\frac{dv}{dz} = 1 \frac{м}{с \cdot м} = \frac{1}{с}$ бўлганда, суюқликнинг икки «қўшни» қатламлари орасидаги $S = 1 \text{ м}^2$ сиртида мавжуд бўлган ишқаланиш кучи 1 Н га тенг бўлади. Бу бирлик паскаль-секунд ($\text{Па} \cdot \text{с}$) деб аталади.

Унча катта бўлмаган тезликларда суюқлик қатлам-қатлам бўлиб оқади. Бундай оқиш *ламинар оқим* дейилади. Ламинар оқишда суюқлик қатламлари най деворларидан қанча узоқ турса, бир-бирига нисбатан шунча каттароқ тезлик билан сирпанади (суюқликнинг

ламинар оқишида най ичига юборилган бўёқли суюқлик аниқ чегараланган шаклда қолаверади). Тезлик ортиши билан суюқлик қатламларининг аралашиб оқиши вужудга келади. Бундай оқиш *турбулент оқим* дейилади. Бунда тоза ва бўялган суюқликлар орасидаги кескин чегара йўқолиб, найнинг ҳамма жойларида тартибсиз уюрмавий ҳаракатлар юзага келади. Ламинар оқим турбулент оқимга айланиш пайтидаги тезлик *критик тезлик* деб аталади.

Техника тараққиётининг бугунги босқичида суюқликларнинг ҳар хил найлардаги ўртача тезликларини билиш катта амалий аҳамиятга эга. Тажрибаларда аниқланишича, ҳар хил диаметрли найларнинг кўндаланг кесим юзидан вақт бирлигида оқиб ўтадиган суюқлик миқдори M ўртача оқиш тезлиги v нинг кўндаланг кесими юзи S га кўпайтмасига тенг экан:

$$M = v \cdot S.$$

Француз олими Пуазейль (1841 й.) суюқликларнинг найларда оқиш тезликларини тажриба йўли билан ўрганиб, суюқликнинг най бўйлаб ўртача ламинар оқиш тезлиги най узунлик бирлигидаги босимнинг тушиши ҳамда най радиусининг квадратига тўғри мутаносиб ва қовушоқлик коэффициентига тескари мутаносиб эканлигини аниқлади:

$$v = \frac{P_1 - P_2}{l} \cdot \frac{R^2}{8\eta} \quad (14)$$

Шунинг учун ҳам бу қонун *Пуазейль қонуни* деб аталади. Най учун $S = \pi R^2$ ва $M = v \cdot S$ эканлигини ҳисобга олиб Пуазейль қонунинг қуйдагича ёзиш мумкин:

$$M = \frac{P_1 - P_2}{l} \cdot \frac{\pi R^4}{8\eta} \quad (15)$$

Суюқлик ва газларда жисмларнинг ҳаракатига кўрсатиладиган қаршилик.

Реал суюқлик ёки газларда ишқаланиш кучлари мавжудлиги туфайли уларда ҳаракатланувчи жисмларга таъсир этувчи қаршилик кучлари пайдо бўлади. Бу кучларнинг миқдори асосан жисмнинг ҳаракат тезлигига боғлиқ бўлади. Стокс *катта бўлмаган v тезликлар билан ҳаракатланувчи r радиусли шарсимон жисмларга муҳит томонидан таъсир этувчи қаршилик кучи F жисмнинг тезлиги ва ўлчамларига ҳамда муҳитнинг қовушоқлик коэффициенти η га тўғри мутаносиб* эканлигини кўрсатди:

$$F = 6\pi\eta r v \quad (16)$$

(1) **Стокс формуласи** дейилади. Бу формуланинг амалий аҳамияти шундан иборатки, у жисмнинг қовушоқ муҳитда эркин тушиш тезлигини аниқлашда, ҳар хил зичликка эга бўлган муҳитларда томчи ёки кичик зарраларнинг радиусларини уларнинг бу муҳитларда эркин тушишини кузатиш орқали аниқлашда ва шу каби вазифаларни ҳал қилишда қўлланилади.

Катта тезликларда газ ва суюқликларнинг қаршилиги асосан уюрма ҳосил қилиш учун иш бажарилиши натижасида юзага келади. Бу қаршилик *пешона қаршилик* деб аталиб, у Ньютон кашф қилган қонунга биноан *ҳаракат тезлигининг квадрати билан жисм ҳаракатига тик бўлган кўндаланг кесим юзасига мутаносибдир*:

$$F = C_x \cdot \frac{\rho v^2}{2} S, \quad (17)$$

бу ерда ρ -муҳитнинг зичлиги; C_x -пешона қаршилик коэффициенти бўлиб, унинг қиймати жисмнинг шаклига боғлиқ.

Тезликнинг кичик қийматларида қаршилик, Стокс формуласига мувофиқ, тезликнинг иккиламчи даражасига эмас, балки бирламчи даражасига мутаносиб бўлар экан. Товуш

тезлигига яқин тезликларда бу боғланиш v^3 га, товуш тезлигидан жуда катта бўлган тезликларда яна v^2 га мутаносиб бўлар экан. Шундай қилиб, ҳар хил тезликларда ҳаракатланувчи суюқлик ва газлардаги турли шаклдаги жисмларга таъсир этувчи кучларни қарашда биз (17) формуладаги қаршилик коэффиценти C_x нинг муҳитнинг қовушоқлик коэффиценти (η), зичлиги (ρ) ва жисмнинг ҳаракат тезлиги (v) ҳамда ўлчам (r) нинг қандайдир функциясидан иборат дейишимиз ҳақиқатга яқин бўлади. Олиб борилган изланишлар C_x нинг фақат $\frac{\rho l v}{\eta}$ га боғлиқ эканлигини кўрсатди:

$$C_x = f(Re), Re = \frac{\rho l v}{\eta}, \quad (18)$$

(18) даги Re ўлчамсиз катталиқ бўлиб, *Рейнольдс сони* деб аталади. Муҳит қовушоқлик коэффицентининг унинг зичлигига нисбати η/ρ эса *кинематик қовушоқлик* деб аталади:

$$\frac{\eta}{\rho} = \nu, \quad (19)$$

Амалда Рейнольдс сони қовушоқлик коэффиценти орқали эмас, балки кинематик қовушоқлик орқали ифодаланади:

$$Re = \frac{l v}{\nu}, \quad (20)$$

Етарли даражали катта тезликларда ламинар оқишнинг бузилиши-ламинар оқишнинг беқарорлиги вужудга келади. Бунинг натижасида ҳаракат турбулент ҳаракатга айланади. Турбулент ҳаракатда суюқлик ёки газнинг гидродинамик хоссалари (тезлик, босим, газлар учун эса зичлик ва ҳарорат) тез ва тартибсиз ҳолда ўзгариб туради. Турбулент оқимга тоғ дарёларидаги сувнинг ҳаракати, тез сузувчи кеманинг орқасидаги сувнинг ҳаракати ҳамда қувурлардан тартибсиз чикувчи тутунлар ва бошқалар мисол бўлади. Бундай ҳаракатларнинг ҳаммаси гидродинамик нотурғунлик юзага келувчи оқимларда содир бўлади. Турбулент оқимда суюқлик зарраларининг траекториялари най ўқиға параллел бўлмасдан, мураккаб эгри чизиклардан иборат бўлади. Траекториялар вақт давомида турғун бўлмасдан, ўзгариб туради. Шундай қилиб, табиатан нотурғунлик, тезликнинг суюқликнинг асосий кўчма ҳаракат йўналишига тик бўлган ташкил этувчилари мавжудлиги турбулент оқимни ламинар оқимдан фарқлаб турувчи муҳим белгилар ҳисобланади.

Назорат саволлар

1. Нисбий зичлик а) хавоники; б) музники; в) олтинники нимага тенг?
2. Агар биринчи модданинг зичлиги иккинчисидан катта бўлса бу биринчи модданинг массаси иккинчисидан катта эканлигини билдирадими?
3. Чўмилиш бассейнида ўзингизни танангизни зичлигини аниқлашнинг осон усулини топинг.
4. Самолёт йўловчилари учидан кейин кометика ва духи идишларида оқиб қолишни кузатадилар. Бундай ходисанинг сабаби нимада?
5. Расмда кўрсатилган идишлар сувга тўлдирилган. Уларнинг сув сатхлари бир хил. Идиш тубларининг юзаси бир хил. Бундан ҳар бир идиш тубига бериладиган сув босими ҳамда тўла таъсир этувчи кучи бир хил булади. Аммо сувнинг оғирлиги идишларда ҳар хил. Бундай гидростатик породоксни қандай тушинтириш мумкин?
6. Тасаввур қилинг сиз бир хил куч билан қалам ва игнанинг тўнтоқ томонидан сикдингиз. Терини қайсиси тезроқ жароҳатлайди? Бу ерда босими ёки натижавий куч ахамиятлими?

7. Оғзи очик сувм бор бутилкада пўкак сузиб юрибди. Агар насос ёрдамида бутилкани юқори қисмидан сиқилса идишдаги пўкакни чўктиришимиз мумкинми?
8. Чўмилиш бассейнида бир оёғингизни массасини аниқлашнинг усилини ўйлаб топинг.
9. Олтинни ювишни мохиятини шу бобда олган маълумотларингиз билан тушинтиринг.
10. Нима учун денгиз сви юзасида чучук сувга нисбатан ўзингизни ушлаб туриш осонроқ?
11. Сув ғоввоси қопқоғига таъсир этувчи итариш кучи чуқурликда ва текисликка яқин юзасида аниқ бирхил бўладими? Тушинтиринг.
12. Хаво шари атмосферанинг чекланмаган баландлигига кўтарилиш мумкинми? Тушинтиринг.
13. Тош ортилган баржа паст кўприкдан ўтолмаяпди. Нима қилиш керак, юкни олиш керакми ёки юк ортиш керакми?
14. Ваннадаги сувчиқиб кетадиган тешигидаги пробкани сув тўлалигидами ёки бўшлигида олиш қийинми? Сизнинг жавобингиз Архимед қонунига зид эмасми? Тушинтиринг.
15. Муз кубиги четигача сув тўлдирилган стаканда сузиб юрибди. Муз эриганда стакандаги сув тўкиладими?
16. Нима учун ёғоч қалам сувда горизонтал сузади, вертикал сузмайди?
17. Суви бор стакан горизонтал юзада ўнг томонга доимий тезланиш олади. Нима учун сув юзаси бунда горизонтал текисликка нисбатан бурчак остида бўлади? У қайси томонга эгилган бўлади?
18. Қисмн ботирилган жисмга таъсир этувчи итарувчи куч сиқиб чиқарилган суюқликнинг оғирлик марказ қаерда жойлашган нуқтага қўйилганлигини кўрсатинг. Бу нуқта сузувчанлик маркази дейилади. б) Кема мувозанатда бўлиши учун оғирлик маркази сузувчанлик маркази оғирлик марказидан юқоридами, пастидами ёки шу нуқтадами? Тушинтиринг.
19. Бўш ёки хаво билан тўдирилган шарлар бир хил оғирликда бўладими? Тушинтиринг.
20. Гелий билан тўлдирилган хаво шари узун бўлмаган ипда автомобил ўриндиғига боғлаб қўйилган. Агар автомобил чапга ҳаракат қилса у қайси томонга учади?
21. Нима учун чўкаётган кема чўкишдан олдин ён томонга оғади?
22. Архимед қонуни лифтда ўринлими, агар а) $g/2$ тезланиш билан ҳаракатланса? б) эркин тушаяпди?
23. Ванна ерда турган вақтда, ёғоч бўлағи ўзи ҳажмининг 60% ни сувга ботириб ваннада сузганди. Бу ёғоч бўлағи лифтда бўлганда чўкадими ёки сузадими агар а) $g/2$ тезланиш билан юқorigа ҳаракатланса? б) $g/2$ тезланиш билан пастга ҳаракатланса? в) эркин тушаяпди?
24. Машина ёғи бўлган 5 литрли туника банкага озгина сув қуйиб қайнатишгача олиб келинади. Кейин банка оловдан олинади ва қоқоғи ёпилади. Шундан сўнг тез орада банка бўжмаяди. Бу ерда нима бўлди?
25. Хар замонда “сув ўзининг сатҳини топади” деганни эшитиш мумкин. Буни қандай тушиниш керак?
26. Сувга шўнғувчининг найдан нафас олиш чуқурлигининг чегараси бўладими?
27. Идишдаги сув сифон орқали йўлнинг бир қисмида юқorigа кўтарилишига қарамасдан юқори идишдан пастки идишга қуйиляпди (сифоннинг ишлаши учун най олдиндан сувга тўлдирилган бўлиши керак). Нима учун найнинг хар бир бикилган бўлагидан сув идишга тушиб кетмаяпди?
28. 6400 м баландликдаги Ернинг сунъий йўлдошидаг барометр симоби тахминан қандай баландликка кўтарилади?

29. Артериал босимни ўлчаганда манометр билан ўлчанган анжетни қўлга юрак сатхи билан баробар қўйилдади?
30. Нима учун дераза ойнасига расмда кўрсатилгандек тарнов қўйилади?
31. Ўрдак патларини тозалаяпганда патларига ёғ қатлами билан қоплайди. Шунинг учун у сувда сузиб юради. Ўрдакни сузиши учун сиртий таранглик уни сузишига йўл қўйяпти?

МОЛЕКУЛЯР-КИНЕТИК НАЗАРИЯ АСОСЛАРИ.

Режа

- 1.Молекуляр-кинетик назариясининг асосий тенгламаси
- 2.Термодинамик параметрлар. Изожараёнлар ва идеал газ қонунлари.
- 3.Идеал газнинг ҳолат тенгламаси.
- 4.Газ босимининг молекуляр-кинетик назария асосида тушинтириш.

Бу бобда биз ўзаро бири билан боғлиқ бўлган тушунчалар, температура ва иссиқлик, ҳамда термодинамик ва кинетик (атом) назария асосларини ўрганамиз.

Аниқ системанинг ҳолатини, масалан идишдаги газни тушунтириш учун биз микраскопик ёки макроскопик нуқтаи назарларни қўллашимиз мумкин.

Микраскопик таъриф - бунда биз атом ва молекулаларнинг деталининг ҳаракатини система ҳосил қилади деб қараймиз ва бундай таъриф мураккаб бўлиши мумкин; бу кинетик назариянинг қисмати.

Макроскопик таъриф эса, бизнинг сезги органларимиз орқали у ёки бу даражада ўлчанган катталиклар орқали берилади; буларга ҳажм, масса, босим ва температура киради.

Макроскопик катталиклар орқали жараёнларни ўрганиш билан термодинамика шуғулланади⁽¹⁾²⁷

Термодинамика – макроскопик жисмлар системасида кечадиган жараёнларда энергиянинг бир турдан иккинчисига айланиши тўғрисидаги фандир. Энергия эса материя ҳаракатининг умумий шлчови бўлиб, унинг механик, иссиқлик, электромагнит, кимёвий турлари мавжуд. Жисмлар ўзаро таъсирлашганида бир тур энергия (ҳаракат кориниши) йўқолиб, ўрнига иккинчи тур энергия пайдо бўлиши кузатилади. Тажрибалар шуни кўрсатадики, ўзгараётган энергиялар қийматларининг умумий муносабати доимо бир хиллигича қолар экан. Термодинамикада материянинг иссиқлик ҳаракати тушунчаси муҳим роль ўйнайди. Бу тушунча фақатгина микрозарраларнинг улкан йиғиндиларидан ташкил топган макроскопик жисмлар учунгина қабул қилиниши мумкин. Иссиқлик ҳаракати деганда, макроскопик жисмни ташкил қилган микроскопик зарралар хаотик ҳаракати тушунилади. Шунинг учун иссиқлик энергияси (ички энергия) деб, барча ташкил этувчи микрозарраларнинг тўла энергиялари йиғиндисига айтамиз.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, термодинамик услубларнинг қўлланилиши чегараланган бўлиб, улар фақат макроскопик жисмлар, яъни микрозарраларнинг етарлича катта миқдорига эга бўлган жисмларгагина қўллаш мумкин. Термодинамик қонунларни алоҳида микрозарраларга ҳам, чексиз коинотга ҳам қўллаш мумкин эмас, чунки бу қонунлар коинотнинг чегараланган қисмидаги макрожисмларни тажриба қилиш ёрдамида олинган (1).

Система ҳолатини аниқлаш учун зарур бўлган макроскопик ўзгарувчиларининг сони системанинг турига боғлиқ. Масалан, идишдаги тоза газнинг ҳолатини тушунтириш учун учта ўзгарувчи ҳажм; босим; температура керак бўлади.

²⁷ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, 359 б

Система ҳолатини тушунтирадиган бундай турдаги катталиклар ҳолат параметрлари дейилади.

Молекуляр физика – физикавий моддаларнинг тузилиши ва хоссалари, улар ташкил топган молекулаларнинг узлуксиз бетартиб ҳаракатларининг натижасидир деб ҳисобланувчи тасаввурлар асосида ўрганувчи бўлимдир.

Молекуляр физикада ўрганилаётган жараёнлар жуда кўп миқдордаги молекулалар ҳаракатининг натижасидир. Кўп миқдордаги молекулаларнинг ҳолати қонуни, статистик қонуниятлар бўлиб, статистик усул билан ўрганилади. Бу усул макроскопик системанинг хоссаси, системадаги зарралар хусусияти ва бу зарраларнинг динамик характеристикаларининг (тезлик, энергия ва ҳоказо) ўртача қиймати билан аниқланишга асосланган.

Термодинамик параметрлар. Берилган массали газни ҳолатини характерлаш учун босим P , ҳажм V ва температура T каби параметрлардан фойдаланилади. Агар газнинг ҳолати ўзгармаса бу параметрларнинг ҳаммаси ёки бир қисми ўзгаради.

Жисмларнинг иссиқлик даражасини характерлаш учун температура тушинчасидан фойдаланади. Агар қизитилган жисм (температураси юқори жисм) қизитилмаган жисмга (температураси паст жисмга) текизилса, улар орасида иссиқлик алмашинуви рўй беради. Энергия температураси юқорироқ жисмдан температураси пастроқ жисмга ўтади. Бу жараён жисмларнинг температуралари тенглашгунча, яъни иссиқлик мувозанати мужудга келгунча давом этади. Демак, иссиқлик мувозанатидаги жисмларнинг температуралари бир хил бўлади. Шунинг учун ҳам температура системанинг иссиқлик мувозанатини характерловчи катталик дейилади.

ТЕМПЕРАТУРА ВА ТЕРМОМЕТРЛАР

Кундалик ҳаётимизда температура иссиқ ёки совуқни ўлчови ҳисобланади. Иссиқ печь жуда юқори ва кўлдаги музлаган сув паст температурага эга. Модда хусусияти температура ўзгариши билан ўзгаради. Масалан: кўпгина материалларнинг температураси ортиши билан улар кенгайди. Темир балка совуқ ҳолатидан кўра, иссиқ ҳолатида узунроқ бўлади. Бетон йулла ва йўлаклар ҳам маълум интервалда жойларга маълум температурага мувофиқ равишда тортилади ва сиқилади (9-1 расм) (1).



9-1 расм. Кўприкнинг уланган қисмининг кенгайиши. Эслатма: йўлдаги оқ чизик бу шоссенинг маркази.

Модданинг электр хусусиятлари температура ўзгариши билан ўзгаради (18-боб). Юқори температурада нурланаётган модданинг ранги ўзгаради: газ плитасидаги оловнинг температураси юқори бўлганда қизил ранг бўлади. Темирга ўхшаш қаттиқ жисмлар ҳам юқори температураларда зарғалдоқ ёки оқ рангда нурланади. Чўғланма лампадаги волфрам симнинг жуда ҳам қизишидан оқ ёруғлик тарқалади. Қуёш ва юлдузларнинг

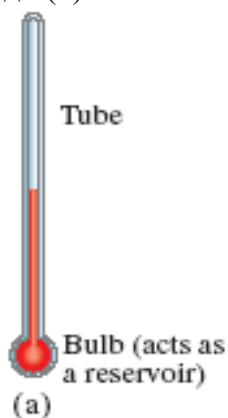
нурланиш рангидан (аникроғи тўлқин узунлигидан) уларнинг температурасини ўлчаш мумкин.

Температурани ўлчайдиган асбобларни термометрлар деб аталади. Термометрлар модданинг ҳарорати ўзгариши билан унинг хоссалари ўзгаришига қараб турлича бўлади. Кўпгина термометрлар модданинг ҳарорати ортиши билан унинг кенгайишига асосланган. Биринчи бўлиб, газнинг кенгайишига асосланган термометрни Галилео кашф этган. Ҳозирда ҳам қадимда ишлатилганидек, одатдаги термометрлар қизил бўёқли симоб ёки спирт билан тўлдирилган шиша идишдан ташкил топган (9-2 расм).



9-2 расм. Италия, Флоренциянинг дел Сименто академиясида ясалган энг биринчи ва машҳур бўлган термометрлар.

Термометрдаги суюқлик шиша идишга қараганда тезроқ кенгайди ва сатҳи ортади(9-3а-расм). Металлар ҳам ҳарорат ортиши билан кенгайади, лекин бу ҳароратни жуда кичик ўзгаришларини ўлчаб беролмайди. Шунга қарамай, икта турли хил кенгайдиган металлларни бирлаштириб ҳам фойдали термометр яшаш мумкин (9-3б-расм). Ҳарорат ортиши билан турли хажмдаги биметалл полосалар эгилади. Кўпинча, ғалтак кўринишидаги биметалл полосаларнинг бир учи маҳкамланиб, бир учи эса кўрсаткичга уланади(9-4 расм). Бундай термометрлар одатда, печларда, автомат равишда ўчадиган электр чойнакларда, хона термостатларида кондиционерларини ёқиш ёки ўчириш учун ишлатилади. Жуда катта аниқликда ишловчи термометрлар электр хусусиятига эга(18-боб), бундай термометрларга, қаршилик термометрлари, термопаралар ва термисторлар киради (1).²⁸



9-3а-расм. Симоб ёки спирт билан тўлдирилган термометр.

9-3б-расм. поласа

Биметалл 9-4 расм. Биметалл полоса ишлатиладиган ғалтакли термометр.

²⁸Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, 359-362 б

ТЕРМОМЕТР ШКАЛАСИ.

Температури қиймат жиҳатдан ўлчаш учун, қандайдир ўлчов шкаласини аниқлаш керак. Бугунги кунда энг кўп тарқалган шкала бу Цельсий шкаласидир. АҚШда эса Фаренгейт шкаласи кенг тарқалган. Илмий ишларда абсолют ва муҳим шкала Келвин шкаласи бўлиб, у ҳақида бу бобда муҳокама қилинади.

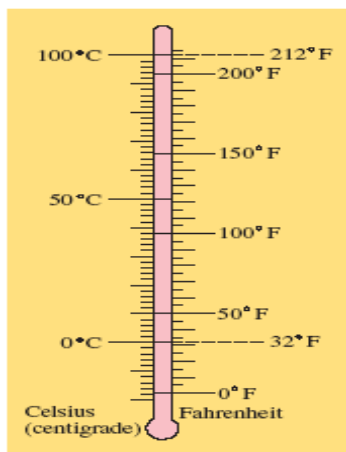
Температура шкаласини аниқлаш усули бу, ихтиёрий икки температурага қиймат беришдир. Бу икки Цельсий ва Фаренгейт шкалалари учун нормал атмосфера босимидаги музлаш ва қайнаш нуқтасининг муаллақ қиймати қабул қилинган. Цельсий шкаласида бу қийматлар музлаш нуқтаси 0°C (“Цельсий шкаласи бўйича ноль градус”) ва қайнаш нуқтаси 100°C деб танланган. Фаренгейт шкаласида эса, музлаш нуқтаси 32°F ва қайнаш нуқтаси 212°F га тенг. Амалда термометр, бу икки ҳароратни керакли муҳитда жуда диққат билан суюқлик сатҳини ёки кўрсаткичини текшириб тайёрланган ва калибровкаланган. Цельсий шкаласи учун бу икки ҳарорат оралиғи 100 та тенг интервалга 0° дан 100° гача бўлинган (“юз градусли Цельсий” атамаси юзта қадам маъносини билдиради). Фаренгейт шкаласидаги 32°F дан 212°F гача бўлган қиймат оралиғи эса 180 та тенг интервалга бўлинган. Сувни музлаш ва қайнаш ҳароратидан катта бўлган нуқталарида шкалада ишлатилган интервалда шкалани кенгайтириш мумкин. Лекин шунга қарамай, термометрлар ўз имкониятларидан келиб чиққан ҳолда ишлатилади, масалан, спиртли термометр спиртнинг парланиш ҳароратидан катта ҳароратларда фойдаланиб бўлмайди¹. Жуда юқори ва паст ҳароратларда махсус термометрлар фойдаланилади, бу ҳақида кейинроқ эслатамиз.

Цельсий температурасидаги ҳар бир шкала, Фаренгейт шкаласидаги маълум шкалага мос келади 9-5 расм. У шкаладан бу шкалага ўтишда, 0°C 32°F га тенглигини, Цельсий шкаласидаги 100° ли диапазон Фаренгейт шкаласида 180° эканлигини унутмаслик лозим. Шундай қилиб, бир градус Фаренгейт (1°F), $100/180=5/9$ Цельсий градуси (1°C)га тенг. Яъни, $1^{\circ}\text{F}=\frac{5}{9}^{\circ}\text{C}$. (аниқ бир ҳарорат ҳақида Цельсий градуси бўйича “ 20°C ” деб айтилганига аҳамият беринг. Лекин ҳарорат қандайдур интервалга ўзгарганда фақат градус Цельсий “ 2°C ” деб айтилади). Ҳароратни икки температура шкаласига ўтказиш учун қуйидаги амалларни бажарамиз (1):

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9} [T(^{\circ}\text{F}) - 32] \quad \text{ёки} \quad T(^{\circ}\text{F}) = \frac{5}{9} T(^{\circ}\text{C}) + 32$$

Бу амалларни эслаб қолиш ўрнига осонгина, 0°C 32°F га тенглигини ва 5°C 9°F га тенглигини эслаб қолиш қулайроқ.

Музлаш нуқтаси суюқлик ҳарорати ўзгариши билан, ҳеч қандай бошқа бир суюқликсиз қаттиқ ва суюқ ҳолатга ўтувчи суюқлик билан аниқланади. Экспериментал равишда бу фақатгина берилган босимда, аниқ бир ҳароратда содир бўлади. Қайнаш нуқтаси ҳам шу тариқа аниқланади, фақат бу нуқталар босим ўзгариши билан ўзгаради. Шунинг учун босим албатта кўрсатилиши лозим (одатда бу 1 атмосфера босимида бўлади).



9-5 расм.. Цельсий ва Фарангейт шкаласини таққослаш.

Celsius – Цельсий,
Fahrenheit – Фарангейт,
Centigrade - шкала

Температура – макроскопик системаларнинг мувозанат ҳолатини характерловчи физик катталиқ.

Хозирги вақтда иккита температуравий – термодинамик температура (Т) шкаласидаги температура келвинларда (К) ва халқаро амалий температура шкаласида (t) температура целсий градусларида ($^{\circ}\text{C}$) даражаланган шкалани ишлатиш мумкин

Халқаро амалий температура шкаласида сувнинг $1,013 \cdot 10^5$ Па босимда музлаши ва қайнаши мос равишда 0 ва 100°C (Цельсий шкаласида икки белгилар ораси 100 га тенг интервалларга бўлинган, шунинг учун “ Юз градусли шкала” номи “ юз қадам”ни билдиради).

Термодинамик температура шкаласи бир нуктада аниқланади, бу сифатида сувнинг учлик нуктаси (муз, сув ва тўйинган буғ 609 Па босимда термодинамик мувозанатда бўладиган температура) (1).

Термодинамик шкала бўйича бу нуктада температура $273,16$ К тенг. Сувнинг музлаш температураси термодинамик шкаласи бўйича $273,15$ К тенг (шу босимда халқаро амалий шкаладаги каби), шунинг учун термодинамик температура ва халқаро амалий температура шкалалари қуйидаги муносабат ёрдамида боғланган:

$$T = 273,15 + t.$$

Шкаланинг бошланғич нуктаси сифатида нол градус Келвин $0 \text{ K} = - 273, 15^{\circ}\text{C}$ қабул қилинган Бу температурада идеал газнинг босими нолга тенг бўлади, яъни молекулаларнинг ҳаракати тўхтайтиди. 0 K дан пастки температура бўлиши мумкин эмас ва шу билан бирга бу температурадага етишиб бўлмайди.

. Газ қонунлари (изожараёнлар)

Системадаги босим, ҳажм, ва температура бир бирига жуда боғлиқ. Газ параметрларининг бирортасининг ўзгариши ҳеч бўлмаганда иккинчисининг ўзгаришига олиб келади. Шунинг учун параметрлар ўртасидаги муносабатларни топишимиз керак. Системадаги жараёнларни соддалаштириб ўрганиш мақсадида параметрларнинг бирортаси ўзгармай қолган иккита ўзгарадигани орасидаги боғланишни кўрайлик.²⁹

Бу қонунлар молекуляр кинетик назария яратилганга қадар тажрибалар ёрдамида аниқланган. Шунинг учун ҳам улар идеал газнинг тажрибавий қонунлари дейилади.

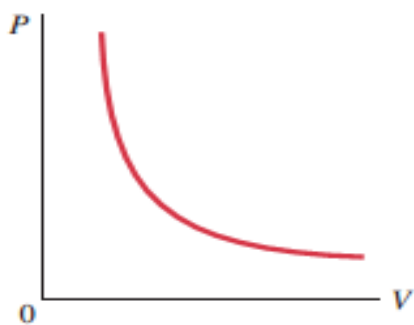
Изотермик газ жараёнларини ўрганиб туриб инглиз олими Бойль (1662й.) ва француз олими Мариотт (1667й.) қуйидаги газ қонунини яратдилар. Ўзгармас температурада газ ҳажми унга қўйилган босимга тескари пропорционал:

$$V \sim 1 / P$$

Бу муносабат Бойль қонуни сифатида маълум, уни қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$PV = const$ Бу ўзгармас температурада газнинг босими ёки ҳажми ўзгарса, бошқа катталиқлар ҳам ўзгарса аммо PV кўпайтмаси ўзгармас қолишини билдиради. Ўзгармас температурада Босим (P) ва ҳажим (V) орасидаги боғлиқлик 9-6 расмда келтирилган¹.

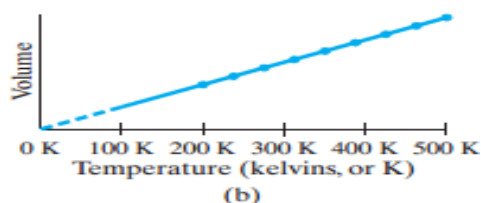
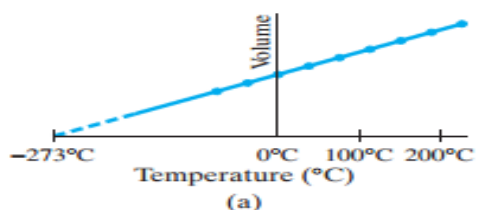
²⁹ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, 383-384 б



9-6 расм. Ҳарорат ўзгармас бўлганда, босимнинг ҳажмга тескари боғланишини Бойль қонуни орқали: босим камайганда ҳажм ортишини кўрсатилган

Ўзгармас температурада ҳажмнинг ўзгариши билан газнинг босими ўзгарса, бундай жараёнга изотермик жараён деб аталади.

Француз олими Жак Шарл, агар босим жуда баланд бўлмаса ва ўзгармас бўлса, га знинг температураси ошиши билан ҳажми тахминан чизиқли қонун бўйича ошиб боради (9-7а - расм). Бироқ паст босимда ҳамма газлар суюқ-ликка айланади (масалан, кислород -183°C суюлади) ва шунинг учун 9-7б расмдаги графикни суялганда вакондсацияланиш содир бўлиши мумкинбўлган нуқтасидан давом эттиришмумкин эмас. Шунда ҳам жуда паст температураларгача давом эттирсак (расмда штрих чизиқлар билан кўрсатилган), у ўқни -273°C температу-рада кесиб ўтади. Бу температурани абсолют температура деб аталади..



9-7а,б расм. а) Целсий шкаласи бўйича газ ҳажми температура функцияси;б) ўзгармас босимда Келвин шкаласи бўйича температура. (Volume – ҳажм, Temperature – температура, Kelvins – Келвин шкаласи

Ўзгармас босимда, берилган микдордаги газ ҳажми абсолют температурага пропорционал. Бу Шарл қонуни деб аталади ва қуйидаги кўринишда ёзилади:³⁰

$$V \sim T$$

Ўзгармас босимда температура таъсирида ҳажм ўзгарса, бундай жараёнга изобарик жараён деб аталади.

Газнинг берилган массаси учун ўзгармас босимда унинг ҳажми температурага пропорционал равишда ўзгаради (9-7а расм):

$$V = V_0(1 + \alpha t)$$

V_0 -газнинг 0°C даги ҳажми, α -газнинг ҳажмий кенгайиш коэффиценти, $\alpha = \frac{1}{273}^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Учинчи газ қонуни, Гей-Люссак қонуни сифатида маълум. Қонун ўзгармас ҳажмда газ босими абсолют температурага пропорционаллигини билдиради:

³⁰ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, 389-390 б

$$P \sim T$$

Газнинг берилган массаси учун унинг босими ўзгармас ҳажмда температурага пропорционал равишда ўзгаради (9-76 расм):

$$P = P_0 (1 + \gamma t)$$

P_0 - газнинг $P_0 - 0^\circ C$ даги босими, γ - босимнинг термик коэффициент, $\gamma = \alpha = \frac{1}{273^\circ C}$.

Юқорида кўриб чиқилган газ қонунларида газ параметрларидан биттаси ўзгармай, қолган иккитаси орасидаги боғланишни кўрдик. Бу жуда фойдали илмий усуллар билан олинган.

Маълум газ массасининг ҳолати учта термодинамик параметрлар билан аниқланади: босим p , ҳажм V ва температура T .

Энди уларнинг ҳар уччаласи ҳам ўзгарадиган ҳол учун танишайлик.

Бу параметрлар ўртасида ҳолат тенгламаси деб аталадиган маълум бир боғланиш бор, қайсики умумий ҳолда қуйидаги кўринишда бериладива у ҳолат тенгламаси дейилади

$$f(p, V, T) = 0,$$

бу ерда ҳар бир ўзгарувчи бошқа иккита ўзгарувчиларнинг функциясидир.

Француз физиги Б. Клапейрон юқорида айтиб ўтилган қонунларни бирлаштириб, идеал газнинг ҳола тенгламасини топди. Бу тенгламага мувофиқ берилган газ массаси учун газ босими ва ҳажми кўпайтмасининг температурага нисбати ўзгармас катталиқдир:

$$\frac{PV}{T} = B = const \quad \text{Бу тенглама Клапейрон тенгламаси дейилади.}$$

Бу ерда P газнинг босими, V -унинг ҳажми, T -температураси, B эса ўзгармас параметр. Лекин тенгламани бир камчилиги бор эди. Ундаги ўзгармас параметр ҳар хил газ учун ҳар хил қийматга эга эди.

1811 йилда италян олим Авогадро қуйидаги қонунни яратди. бир хил температура ва босимда ҳар қандай газнинг 1 киломоли бир хил ҳажмни V_m эгаллайди. Нормал шароитда бу ҳажм $22,42 \frac{m^3}{kmol}$ ёки $22,42 \cdot 10^3 \frac{liter}{kmol}$ ни ташкил этади.

Рус олими Д.И. Менделеев Клайпейрон тенгламасини Авогадро қонунидан фойдаланиб юқоридаги камчиликни йўқотиб, бу тенгламага ўзгартиришлар киритди ва ҳар қандай идеал газ учун ишлайдиган шаклда (1 мол газ учун) ёзди.

$$pV_m = RT$$

Тенглама фақат идеал газни қаноатлантиради ва *Клапейрон - Менделеев тенгламаси* деб ҳам аталувчи идеал газ ҳолати тенгламаси ҳисобланади.

Моляр газ доимийсининг сон қийматини газ нормал шароитда турибди деб ($p_0 = 1,013 \cdot 10^5$ Па, $T_0 = 273,15$ К, $V_m = 22,41 \cdot 10^{-3} m^3/\text{моль}$) (2) ифода орқали топамиз. $R = 8,31$ Дж/(моль•К).

Юқоридаги тенглама 1 моль газ учун ёзилган. Уни исталган моль газга маслаштириш учун V_m нинг ўрнига

$$V = (m/M) V_m,$$

Исталган массали газ учун

$$PV = \frac{m}{M} RT = nRT$$

Бу ерда m - идеал газнинг массаси, M – моляр масса(киломол газнинг массаси), Моляр массанинг бирлиги – кг/моль. R -универсал газ доимийси. Унинг қиймати:

$$R = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot 22,42}{273} \cong 8,32 \cdot 10^3 \frac{J}{grad \cdot kmol} \text{ га тенг.}$$

Бу тенглама Клапейрон-Менделеев деган ном олди.

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Босим, температура, ҳажм, молекула, Авогадро сони, моль, моляр масса, идеал газ, изотермик, изобарик, изохорик.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Молекуляр физика ва термодинамика нимани ўрганади?
2. Молекуляр физика нимани ва қандай тасаввурга асосан ўрганади?
3. Термодинамика нимани ўрганади?
4. Термодинамик параметрларни айтинг?
5. Температура шкаласини тушинтиринг.
6. Агар А система В система билан мувозанат ҳолда бўлса, аммо С система билан мувозанатда бўлмаса. Уҳолда А,В,Б системаларнинг температураси ҳақида нима дейиш мумкин?
7. Илмий нуқтаи назардан Фаренгейт, Цельсий ёки Кельвин шкалаларининг қайси бири табиий?
8. Нима учун спритли термометр симобли термометрга нисбатан температурани юқори аниқликда аниқлайди?
9. Агар совуқ симобли термометрни иссиқ сувга туширсак симоб сатҳи бошида пастлашади ва кейинкўтарилади. Тушинтиринг.
10. Идеал ҳолат тенгламасини зичлик орқали ёзинг.
11. Изожараёнлар деб қандай жараёнларга айтилади?
12. Бойль - Мариот қонунини тушинтиринг.
13. Шарл қонунини тушинтиринг.
14. Гей -Люссак қонунини тушинтиринг.
15. Авогадро қонунини тушинтиринг.
16. Идеал газнинг ҳолат тенгламасини тушинтиринг.

Амалий машғулот
Молекуляр-кинетик назария асослари. Идеал газ
қонунлари. Идеал газ ҳолат тенгламаси

1. 1 кг алюминий билан 1 кг темирдаги атомлар сонин солиштиринг?
2. Фараз қиламизки система С, система А ва система В билан мувозанотта бўлсин. Бунда А ва В системалар бир-бири билан мувозантда бўладими? Сиз А, В ва С системаларнинг температураси тўғрисида нимани ўйлайсиз?
3. Агар система А система В билан мувозанатда бўлиб, система В система С билан мувозанатда бўлмаса, системалар А, В ва С ларнинг температураси ҳақида нима дейиш мумкин?
4. Буғ трубиначанинг узунлигида тезда U-шаклдаги форма учрайди. Нима учун?
5. Нима учун нотўғри гапирилади, градус Цельсийда ҳаво 3,4 мл/л секунд билан кенгаяди? Бу тасдиқ қачон туғри?
6. Маълумки тош қачонки унга доимий температура берса қизийди. Нима учун (димоход) тутун тортувчи биноларнинг ёки (каркас) сифатида қўланилмайди?
7. Нима учун қизиган автомобиль моторига ёпиқ турган ҳолатда жуда секинлик билан сув қуйилади, бу ҳолатни тушунтиринг?
8. Нима учун ҳисоблаш мумкин, симобли термометрга қараганда спиртли термометр температурани юқори аниқликда улчайди?
9. Агар совуқ симобли термометрни иссиқ сувли ҳажмга киритсак, симоб устуни бирмунча пасаяди, кейин кўтарила бошлайди. Тушинтиринг?
10. Нима учун дарёнинг дастлаб юза қисми музлашини тушинтиринг?
11. Чуқур совуқ кўлнинг тубида сувнинг температураси қандай бўлиши тўғрисида сиз қандай ўйлайсиз?
12. Айланма ҳалқани 20 дан 80°C гача қиздирилди. Ҳалқада тешик катта ёки кичик бўладими? Бу микроскопик нуқтаи назардан тушунтиринг?

ТЕРМОДИНАМИКА АСОСЛАРИ

Режа

1. Энергиянинг эркинлик даражаси бўйича текис тақсимот қонуни
2. Идеал газнинг ички энергияси
3. Термодинамикада иш. Иссиқлик миқдори ва иссиқлик сиғими
4. Термодинамиканинг биринчи қонуни ва уни изожаараёнларга тадбиқи.
5. Адиабатик жараён. Пуассон тенгламаси.

Эркинлик даражаси – ўзаро боғлиқ бўлмаган ўзгарувчилар сони бўлиб, системанинг фазодаги вазиятини аниқлайди.

Молекулаларда атомлар бир-бири билан боғланган эмас, шунинг учун молекулалардаги атомларнинг тебранма ҳаракат эркинлик даражасини ҳам ҳисобга олиш керак.¹

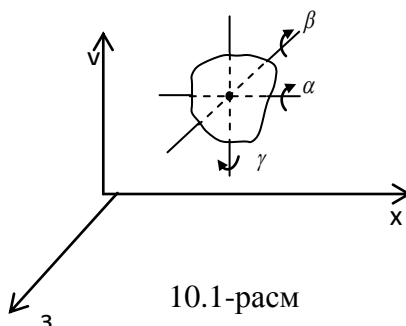
Идеал газ учун эркинлик даражаси

Эркинлик даражаси	Бир атомли газ	Икки атомли газ	Кўп атомли газ
Илгариланма	3	3	3
Айланма	-	2	3
Жами	3	5	6

Тўла энергияни ҳисоблаш учун эркинлик даражаси тушунчаси билан танишиб чиқайлик. Жисмнинг фазодаги вазиятини тўла равишда ифодалаш учун зарур бўлган эркин координаталар сонига шу жисмнинг эркинлик даражаси дейилади.

Моддий нуктанинг эркинлик даражаси учга тенг экан. Ҳар қандай атом ёки бир атомли молекула моддий нукта деб қаралиши мумкин. Агар молекула бир - бири билан эластик тарзда боғланган N та атомдан ташкил топган бўлса, молекуланинг берилган вақтда фазодаги вазиятини тўла аниқлаш учун $3N$ та эркин координата зарур бўлади. Яъни, бундай молекуланинг эркинлик даражаси $3N$ га тенг. Лекин шу молекуладаги исталган икки атом орасидаги масофа аниқ қийматга эга бўлиб, у вақт ўтиши билан ўзгармаса, молекуланинг эркинлик даражаси $3N$ дан битта кам бўлади. Бундай масофа бир нечта бўлса, $3N$ шундай масофалар сонига кам бўлади.

Икки атомли молекула эркинлик даражаси. Иккала атом орасидаги масофа вақт ўтиши билан ўзгармаса, бундай молекуланинг эркинлик даражаси $3N - 1 = 3 \cdot 2 - 1 = 5$ га ва аксинча, атомлар бир-бири билан эластик равишда боғланган бўлса, яни масофа вақт ўтиши билан ўзгариб турса, 6 га тенг бўлиши керак. Молекула инерция марказининг фазодаги вазияти X, Y, Z координаталари билан аниқланади.



Атомлар орасидаги масофа ўзгармас бўлса, молекуланинг фазодаги вазиятини аниқлаш учун зарур бўлган координаталар x, y, z ва α, β, γ лардан иборат бўлади ва бундай молекуланинг эркинлик даражаси 5 га тенг.

Шундай қилиб бир атомли молекуланинг эркинлик даражаси 3 га тенг, икки атомли молекула эркинлик даражаси 5 га ёки 6 га тенг ва ҳоказо. Демак илгариланма ҳаракат эркинлик даражаси ҳамма вақт 3 га тенг, айланма ва тебранма ҳаракат эркинлик даражалари кузатилаётган молекуланинг характериға қараб турли қийматларға эға бўлиши мумкин. Молекуланинг эркинлик даражаси i ни илгариланма, айланма ва тебранма ҳаракатлар эркинлик даражаларининг йиғиндисидан иборат деб қараш мумкин:

$$i = i_{ил} + i_{айл} + i_{теб} \quad (10.1)$$

Илгариланма ҳаракат эркинлик даражаси 3 га тенг эканлигини этиборға олиб, илгариланма ҳаракатнинг ҳар бир эркинлик даражасига $\frac{1}{2}kT$ энергия тўғри келади деган хулосаға эға бўламиз. Умуман, илгариланма, айланма ва тебранма ҳаракатнинг бирортаси иккинчисидан устун равишда ажралиб турмайди.

Статистик физиканинг муҳим қонунларидан бири - энергиянинг эркинлик даражаси бўйича бир хилда тақсимланиш қонуни илгариланма, айланма ва тебранма ҳаракатнинг ҳар бир эркинлик даражасига ўртача $\frac{1}{2}kT$ кинетик энергия тўғри келишини кўрсатади.

Демак, эркинлик даражаси i га тенг бўлган молекуланинг ўртача кинетик энергияси

$$\varepsilon = \frac{i}{2}kT \quad (10.2)$$

ифода орқали аниқланади. Лекин i ни аниқлашда қуйидагиларға этибор берилиши керак. Молекула илгариланма ёки айланма ҳаракатда қатнашаётган бўлса, у фақат кинетик энергияға эға бўлади. Молекуладаги атомлар тебранма ҳаракатда ҳам қатнашаётган бўлса, тебранма ҳаракат ҳам кинетик энергияға, ҳам потенциал энергияға эға бўлади ва бу кинетик энергиянинг ўртача қиймати потенциал энергиянинг ўртача қиймати билан бир хил бўлади. Шунинг учун тебранма ҳаракатнинг ҳар бир эркинлик даражасига $2 \cdot \frac{1}{2}kT$ энергия тўғри келади.

ИЧКИ ЭНЕРГИЯ

Моддани ташкил қилган барча молекулалар ва атомлар ҳаракатининг кинетик энергияси ҳамда уларнинг ўзаро таъсир потенциал энергиясининг йиғиндиси жисмнинг ички энергияси дейилади.

Ички энергия, иссиқлик ва ҳарорат орасидаги фарқ.

Энди ички энергия тушинчасини кўриб чиқамиз, бу иссиқлик ҳақидаги тасавурларни тушинтиришга ёрдам беради. Иссиқлик ёки ички энергия деб жисмга талукли бўлган барча молекулаларнинг бутун турдаги энергияларининг йиғиндисидир. Базида ички энергияни жисм “иссиқлик теплосодержаемый” дейди, бундай аташ уринли эмас, уни хусусий иссиқлик билан чалкаштириш мумкин.¹ Иссиқлик биз юқорида тушинтирганимиздек-бу жисимнинг хулосавий энергияси эмас, бу иссиқ жисмдан совук жисмга бериладиган энергия миқдоридир.

Температура, иссиқлик ва ички энергия орасидаги фарқни молекуляр кинетик назария орқали тушиниш мумкин. Температура бу жисмнинг алоҳида газ молекулаларининг ўртача кинетик энергиясидир. Иссиқлик ёки ички энергия бу жисм барча молекулаларининг тўлиқ энергиясидир. (шундай қилиб бир хил массали иккита иссиқ жисмларнинг ҳарорати бир хил бўлиши мумкин, лекин икки брусрқнинг иссиқлик энергия уларнинг биттасининг иссиқлик энергиясидан икки марта катта бўлади. Иссиқлик энергия узатишни характерлайди (асосан иссиқлик энергияси) яъни бир жисмдан иккинчи жисмга уларнинг ҳароратлари фарқи ҳисобига.

Этибор берамизки, икки жисм орасида йўналган иссиқлик оқими уларнинг ҳароратига боғлиқ бўлиб, уларнинг ҳар бири қанча ички энергияга эга эканлигига боғлиқ эмас. Шундай қилиб агар ҳарорати 30⁰С бўлган ва массаси 50 грамм сувни, массаси 200 грамм ва ҳарорати 25⁰С бўлган сув билан аралаштирсак, иссиқлик ҳарорати юқори бўлган сувдан ҳарорати паст бўлган сувга ўтади. Агарда 25⁰С ҳароратдаги сувнинг ички энергияси кўп, чунки бу ҳароратдаги сув миқдори катта.

n -моль бир атомли идеал газнинг (ҳар бир молекулага битта атом тўғри келади) ички энергиясини ҳисоблаймиз. Ички энергия U-барча атомларнинг илгариланма ҳаракати йиғиндиси ҳисобланади. Бу йиғинди битта молекуланинг ўртача кинетик энергиясининг тўлиқ молекулалар сони N-га кўпайтмасига тенг бўлади.

$$U = N \left(\frac{1}{2} m \bar{v}^2 \right) \quad (10-3)$$

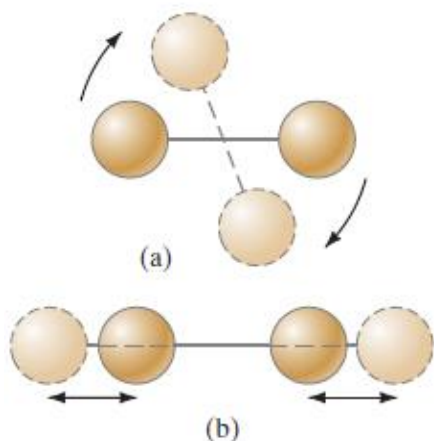
$\overline{KE} = \frac{1}{2} m \bar{v}^2 = \frac{3}{2} kT$ (идеал газ) муносабатни инобатга олсак биз қуйидагига эга бўламиз

$$\overline{KE} = N \left(\frac{1}{2} m \bar{v}^2 \right) = \frac{3}{2} kT \quad \text{у ҳолда} \quad U = \frac{3}{2} N k T \quad (10-4)$$

$$\text{ёки} \quad U = \frac{3}{2} n R T \quad (10-5) \quad (\text{кўп атомли идеаль газ учун})$$

бу ерда **n**-газнинг моллар сони. Шундай қилиб, идеаль газнинг ички энергияси фақат ҳарорат ва газнинг моллар (молекулалар) сони билан аниқланади¹.

Агар газ молекулалари битта атомдан кўп бўлса, у ҳолда молекулаларнинг айланма ва илгариланма ҳаракат энергиясини инобатга олиш керак (расм 10-2). Берилган ҳароратда кўп атомли газнинг ички энергияси бир атомлидан катта, шунинг учун бу энергия ҳароратнинг функцияси ҳисобланади.



расм 10-2 Малекулаларнинг: а) айланма ҳаракати б) илгариланма ҳаракати.

Реаль газларнинг ички энергияси ҳам ҳароратга боғлиқ бўлади, лекин бу областда уларнинг ўзини тутиши идеаль газдан фарқ қилса, ички энергия қандайдир даражада ҳажим ва босимга боғлиқ бўлади.

Суюқлик ва қаттиқ жисмлар ички энергияси жуда мураккаб кўринишда бўлади, яъни унга атом ва молекулалар орасида таъсир қилувчи кучлар билан боғланган электр ўзаро потенциал энергияси киради.³¹

ИССИҚЛИК СИҒИМИ

Системанинг ҳароратини ўзгартириш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори Q , система массаси m ва ҳароратнинг ўзгариши ΔT боғлиқлиги тажриба орқали аниқланган. Q , m ва ΔT ўртасидаги муносабатни қуйдагича кўринишда ёзиш мумкин

$$Q = mc\Delta T \quad (10-6)$$

Бу ерда c -берилган моддани характерлайди ва солиштирма иссиқлик сиғими дейилади. Доимий 1 атмосфера босими остида ва 15°C ҳароратли сув учун $c=1,00$ ккал/кг. $^\circ\text{C}$ ёки $4,18 \cdot 10^3$ Ж/кг. $^\circ\text{C}$ га биз эга бўламиз. Бундан кўринадики 1 кгн сувни 1°C га кўтариш учун 1 ккалория иссиқлик талаб қилинар экан. 14-1 жадвалда 20°C ҳароратда бирнеча тур моддаларнинг солиштирма иссиқлик сиғими келтирилган. Иссиқлик сиғими c қандайдир миқдорда ҳароратга боғлиқ, лекин унча юқори бўлмаган ҳарорат оралиғида уни кўп ҳолларда доимий деб қараш мумкин.

(10-6) ифода билан аниқланадиган иссиқлик сиғими иситиш жараёни қандай образда амалга ошаётганига бўғлиқ бўлади. Тасавур қиламиз иситиш доимий босимда амалга ошмоқда, бундай иситишдаги иссиқлик сиғими c - доимий босимдаги иссиқлик сиғими дейилади ва қуйидагича белгиланади c_p . Худди шу қиймат 10-1 жадвалда келтирилган. Бу қийматларни қаттиқ ва суюқ жисимлар учун осон ҳисоблаш мумкин. Жисмга яна бошқа иссиқлик узатиш шароити ҳам мавжуд. Мисол учун модда ўзгармас ҳажимда қолсин (бу ҳолда босим ўзгариш мумкин), бу ҳолда биз c_v билан белгиланадиган доимий ҳажимдаги иссиқлик сиғимига эга бўламиз. Қаттиқ жисм ва суюқликда c_p -ва c_v орасидаги фарқ бирнеча фоизни ташкил қилади. Газлар учун бу фарқ анча юқори бўлади.

10.1 жадвал. Доимий 1 атмосфера босимда ва 20°C ҳароратда бази моддаларнинг солиштирма иссиқлик сизими

Модда	Солиштирма иссиқлик сиғими c_p	
	ккал/кг. $^\circ\text{C}$	Ж/ кг. $^\circ\text{C}$
Алюмин	0,22	900
Мис	0,093	390
Шиша	0,20	840
Муз(-5°C)	0,50	2100
Темир ёки пўлат	0,11	450
Кўрғошин	0,031	130
Мармар	0,21	860
Кумуш	0,056	230
Этил спирти	0,58	2400
Симоб	0,033	140

³¹ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, 390-393 б

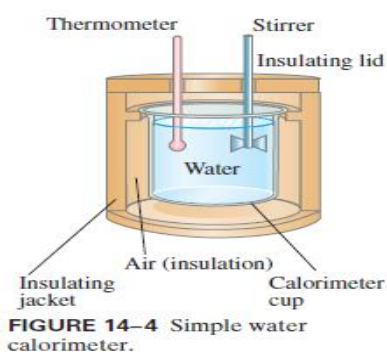
Сув (15 °C)	1,00	4186
Буғ (110 °C)	0,48	2010
Одам танаси	0,83	3470
Оқсил	0,4	1700

Юқори ҳарорат ва термодинамикани муҳокама қилишда ҳар доим биз муҳим системаларни қараймиз. Системанинг бир неча тоифалари (турлари) мавжуд. Ёпиқ системада ҳеч қандай масса (энергия) йўқотиш бўлмайди. очик системада бунинг акси бўлади. Физика фанида ёпиқ системани ўрганади. Кўп системалар, ўсимлик ва ҳайвонлар, очик система булар атроф муҳит билан модда алмашуви содир бўлади. Ёпиқ система атроф муҳит билан модда алмашуви бўлмайди, агар қандайдир энергия унинг чегарасидан ўтса у ёпиқ система ҳисобланмайди.

Ташқи муҳитдан ҳимояланган системаларнинг ҳарорати турлича бўлса, иссиқлик ҳарорати юқорисидан ҳарорати пастига узатилади. Системаларнинг ҳарорати тенглашганда иссиқлик мувозанати юз беради. Агар система ташқи муҳитдан тўлиқ ҳимояланган бўлса, у холда унга ҳеч қандай энергия бერмайди ҳам ва олмайди ҳам. Энергиянинг сақланиш қонунига асосан системанинг бир қисми йўқотган иссиқлик миқдори, системанинг бошқа қисмининг олган иссиқлик миқдorigа тенг бўлади.

Йўқотган иссиқлик миқдори. Олинган иссиқлик миқдори

Ҳар хил жисмларнинг иссиқлик сиғимини таққослаш учун махсус ўлчов асбобидан фойдаланилади, бу асбоб колориметр деб аталади. Колориметр метал идиш бўлиб шакли худди стакандек бўлади. Унинг тузилиши 10-3 расмда тасвирланган.



10-3. Оддий суви колорметр.

Thermometer- Термометр

Stirrer- Аралаштиргич (Мешалка)

Insulating lid-Ҳимоя қапқоғи

Water-Сув

Air(insulation)-Ҳаволи ҳимоя

Insulating jacket-Ҳимоя қобиғи

Colorimetr cup-колориметр стакани

Бу идиш қапқоқ билан бекитилган бўлиб, у катта идиш ичига жойлаштирилади ва икки идиш орасида ҳаво қатлами қолади. Барча эҳтиёткорликлар атроф муҳит билан иссиқлик алмашишини камайтиради.

Колориметрнинг муҳим қўлланишларидан бири бу моддаларнинг иссиқлик сиғимини аниқлашдан иборатдир. Аралаштириш усули деб номланган усул орқали, берилган модда наъмунаси юқори ҳароратгача қиздирилади ва юқори ҳароратда ўлчанади. Қиздирилган жисм тезда колориметр сувга туширилади қопқоқ ёпилади, колориметрда ҳарорат ўрнатилиши кутилади (сув билан жисм ҳарорати тенглашади). Кейин натижавий Т ҳарорат ўлчаб модданинг иссиқлик сиғимини ҳисоблаш мумкин.

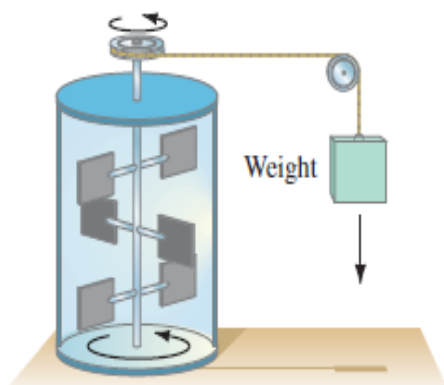
Иссиқлик узатиш назариясига асосан, ҳар қандай жисм ўзида қандайдир моддалар миқдоридан иборат, агар жисмга модда миқдори ўтса, унда жисм ҳарорати ортади: агар жисмдан иссиқлик узатиш олинса ҳарорат камаяди. Агар жисм парчаланса, у холда сезиларли миқдорда ҳароратдан соқит бўлади. Иссиқлик узатиш жараёнида ҳеч қачон жисм массаси ўзгариши сезилмайди ва ҳеч қандай бошқа метод орқали ҳам иссиқлик узатишни пайқаб бўлмайди. Шунинг учун тақлиф қилинадиги теплороднинг массаси, ҳиди, таъми, ранги йўқ. Бу ҳолатнинг бир неча яширин характериға қарамасдан теплород назарияси кўпгина кузатилган ҳолатни тушинтирди, хусусий ҳолда иссиқ оқим иссиқ жисмдан совуқ жисмга ўтади.

Иссиқликнинг ишлатиладиган ўлчов бирликларидан бири бу калориядир. Бу бирлик қуйидагича аниқланади: Бу бирлик массаси 1 г бўлган сувнинг ҳароратини бир градус Цельсийга кўтариш учун керак бўлган иссиқлик миқдоридир, яъни $14,5^{\circ}\text{C}$ ҳароратдан $15,5^{\circ}\text{C}$ ҳароратга кўтаришдир.

Бу аниқ такидланган ҳарорат шунинг учун кўрсатилганки, қиздириш учун керак бўлган иссиқлик миқдори ҳароратга боғлиқдир. (Ҳароратнинг 0 дан 100° оралиғида бу ўзгариш 1 % катта эмас ва бошқа мақсадлар учун бу фарқни инобатга олиш керак.) Кўпинча анча катта ўлчов бирликларидан фойдаланилади- бу килокалориядир (ккал). $1 \text{ ккал} = 1000 \text{ кал}$. Шундай қилиб 1 ккал-бу 1 кг сувнинг ҳароратини 1°C кўтариш учун зарур бўлган иссиқлик миқдоридир ($14,5$ дан $15,5^{\circ}\text{C}$). Базида килокалорияни катта калория деб айтишади, айнан шу бирлик ёрдамида энергия нархи, ёки овқатларнинг калорияси кўрсатилади.

Теплород назариясининг асосий қийинчиликларидан бири, бу ишқаланиш ҳисобига олинган тўлиқ иссиқлик миқдорини ҳисоблаш мумкин эмаслигидир. Агар икки кафтини ёки икки метал бўлагини бир бирига узоқ ишқаласа, чекланмаган миқдорда иссиқлик олдиш мумкин. Америкалик олим Бенжамин Томсон (1753-1814) кейинчалик граф бўлган Румфорд Баварский, ўқ отар куролининг стволини тешиш жараёнини кузатишда бу қийинчиликка тўқнаш келади. Курулнинг стволини тешиш жараёнида ствол тешигига доимий равишда совуқ сув қуюиб ствол совутилиб турилди. Қайнаган сувнинг испрофини камайтириш учун совуқ сувдан фойдаланилади. Шунинг учун Румфордтеплород назариясида четлашиб ва бунинг ўрнига иссиқлик ҳаракатнинг асосий кўриниш ҳодисаси эканлигини таклиф қилди (мисол учун икки жисимнинг бир бирига ишқаланиш жараёни). Бу ғоя 1800 йилнинг бошларида бошқа изланувчи томонидан ривожлангандир, бу инглиз пиво қайнатувчиси Жеймс Жоуль эди. Жоуль бир қанча тажрибалар ўтказди

10-4 расимда Жоулнинг қисқартирилган тажрибасининг схемаси кўрсатилган.



Расим 10-4 Иссиқликнинг механик эквивалентини аниқлага доир Жоуль тажрибаси.

weight-юк

Осилга жисм лопаткалари бўлган турбинани айланишга мажбур қилади. лопаткаларнинг сувга ишқаланиши натижасида сувнинг ҳарорати бирмунча кўтарилади (айнан ҳароратнинг кўтарилиши Жоуль томонидан ўлчанган). Айтиш мумкинки ҳароратнинг кўтарилишини газ плитка горелкасида сувни қиздириш орқали олиш мумкин. Бу ва бошқа бир қанча тажрибаларда (булардан бир қанчасида электр энергиясига киради) Жоуль пайқади, малум иш ҳамиша малум иссиқлик миқдорига эквивалентдир. Сон жихатидан $4,186$ жоуль иш 1 калория (кал) иссиқликка эквивалентлиги кўрсатилган. Бу мослик маълумки худди иссиқликнинг механик эквивалентидек:¹

$$4,186 \text{ Ж} = 1 \text{ кал}, \quad 4,186 \cdot 10^3 \text{ Ж} = 1 \text{ ккал}$$

Бу икки тажриба ва бошқа тажрибалардан сўнг олимлар иссиқликни қандайдир модда ҳолати ёки энергия формаси эканлиги тасавуридан воз кечиб, иссиқлик бу энергияни узатиш туридир деган хулосага келди. Анча юқори ҳароратга эга бўлган жисмдан, ҳарорати анча паст бўлган жисмга ўтади иссиқлик ўтади, айнан энергия иссиқ жисмдан совуқ жисмга ўтади. Иссиқлик-бу ҳароратлар фарқи турлича бўлган жисмлардан бир бирига энергия ўтишидир. Халқаро бирликлар системасида (ХБС) иссиқликнинг ўлчов бирлиги энергиянинг турли кўринишида жоулдир. Базида иссиқликнинг системадан ташқари бирликлари ишлатилади бу калория ва килокалориядир. Ҳозирги пайтда калорияни жовуль орқали аниқлайди. Юқоридаги тарифга асосан ($4,186 \text{ Ж}=1 \text{ кал}$), бу юқоридаги тарифга мос келади. Ҳозирги пайтда бошқа аниқлаш қўлланилади: $1 \text{ кал}=4,184 \text{ Ж}$. Бу иссиқлик термохимиявий калория деб аталади.

Молекуляр кинетик назариянинг ривожланиши, иссиқлик бу энергия узатиш тури эканлигини тўлиқ тушинтирди. Газ плиткасидаги идишдаги сувнинг қизишини кузатамиз. Молекуляр кинетик назарияга асосан ҳароратнинг ортиши билан молекулаларнинг кинетик энергияси ортади, ўз навбатида аланга молекулаларининг кинетик энергияси сув молекулаларининг кинетик энергиясидан катта бўлади. Юқори кинетик энергияга эга бўлган аланга молекулалари идиш молекулалари билан тўқнашганда ўз энергиясининг бир қисмини беради, худди ҳаракатдаги билирд шар тинч турган шарга келиб урилгандек. Юқори кинетик энергияга эга булган идиш молекулалари тўқнашиш ҳисобига ўз энергиясини сув молекулаларига беради. Шу жараён ҳисобига идишдаги сувнинг ҳарорати ортади.

Идеал газнинг иссиқлик сизими. Берилган жисмнинг иссиқлик сизими деб, шу жисм ҳароратини бир градус ошириш учун жисмга берилиши зарур бўлган иссиқлик миқдорига тенг бўлган физик катталиққа айтилади:

$$C_{jism} = \frac{dQ}{dT} \quad (10.7)$$

Жисмнинг иссиқлик сизими, аввало, унинг массасига боғлиқ. Шунинг учун ҳам одатда, асосан, солиштирма иссиқлик сизими ва моляр иссиқлик сизимлари кўп ишлатилади.

Бир жинсли модданинг бирлик массасининг иссиқлик сизими солиштирма иссиқлик сизими деб аталади.

Бир моль жисмнинг иссиқлик сизими моляр иссиқлик сизими деб аталади. Модданинг моляр иссиқлик сизими C билан, шу модданинг солиштирма иссиқлик сизими c орасида қуйидаги муносабат мавжуд:

$$C = c\mu \quad (10.8)$$

Жисм иссиқлик сизимининг катталиги жисмга қандай шароитда иссиқлик берилаётганига боғлиқ. Масалан, агар газга dQ иссиқлик миқдори берилаётганида у кенгайиб борса (ташки кучларни енгиб иш бажаради), газ ҳароратининг ортиши ҳажм ўзгармайдиган жараёндагига нисбатан кам бўлади.

Энди ҳажм ўзгармас бўлган шароитда моляр иссиқлик сизими C_v ва босим ўзгармас бўлган шароитда моляр иссиқлик сизими C_p билан танишиб чиқайлик. Бу иссиқлик сизимларини назарий жиҳатдан газнинг ички энергияси ва бажарилган иш ифодалари орқали ҳисоблаш мумкин. Ҳажм ўзгармай қоладиган шароит учун моляр иссиқлик сизимини қуйидагича ифодалаш мумкин: $C_v = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_v$

Ҳажм ўзгармас бўлганлиги учун $dV = 0$ ва (10.4) га асосан (9.6) муносабатни бир моль идеал газ учун қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$(dQ)_V = dU_M$$

бундан
$$C_V = \left(\frac{dU_M}{dT}\right)_V \quad (10.9)$$

(9.10) формуладан кўринадик, C_V яъни бир моль идеал газнинг ҳажм ўзгармай қоладиган шароитдаги иссиқлик сифими газ ички энергиясининг ифодасидан ҳарорат бўйича олинган биринчи тартибли ҳосиласига тенг.

Substance	Specific Heat, c	
	J/kg · C°	kcal/kg · C° (= cal/g · C°)
Aluminum	900	0.22
Alcohol (ethyl)	2400	0.58
Copper	390	0.093
Glass	840	0.20
Iron or steel	450	0.11
Lead	130	0.031
Marble	860	0.21
Mercury	140	0.033
Silver	230	0.056
Wood	1700	0.4
Water		
Ice (−5°C)	2100	0.50
Liquid (15°C)	4186	1.00
Steam (110°C)	2010	0.48
Human body (average)	3470	0.83
Protein	1700	0.4

10-2 жадвал. Ўзгармас босимдаги иссиқлик сифимлари (температура 20° С ва босим 1 атм).

SpecificHeat – солиштирма иссиқлик сифими. Substance – модда, Aluminum– алюминий, Ironorsteel– темир, Lead– қўрғошин, Glass– шиша Copper–мис, Marble– мармар, Mercury– симоб, Ethylalcohol– этил спирти, Water– сув, Ice– муз, Liquid– сув, Steam– буғ, Wood– ёғоч, Silver– кумуш, Humanbody– одам танаси, Protein– оксил.³²

Бир мол идеал газнинг ички энегияси $U_M = \frac{i}{2}RT$ га тенг эканлигини этиборга олган ҳолда, бу ифодани ҳарорат бўйича дифференциаллаб, C_V ни аниқлаш мумкин:

$$C_V = \frac{i}{2}R \quad (10.10)$$

(10.8) муносабатдан кўриниб турибдики, идеал газнинг ҳажми ўзгармас бўлган шароитда моляр иссиқлик сифими газ молекулаларининг эркинлик даражаси орқали аниқланиб, газ ҳолатини характерловчи параметрларга боғлиқ эмас экан.

Босим ўзгармас бўлган шароитда газга бераётган иссиқлик миқдори газнинг ички энергиясининг ортишига ва ташқи кучларга қарши иш бажаришга сарф бўлади. Термодинамика биринчи қонунига асосланиб, босим ўзгармас бўлган шароитда моляр иссиқлик сифимини қуйидагича ёзиш мумкин.

$$C_p = C_V + R \quad (10.11)$$

(10.9) тенгликдан кўриниб турибдики, газ доимийси R сон жиҳатдан босим ўзгармас бўлган шароитда 1 моль идеал газнинг ҳароратини бир градусга кўтаришда газнинг ташқи

³² Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, 395-398 б

кучларга қарши бажарган ишига тенг экан. (10.9) формула бўйича C_V нинг қийматини (10.9) муносабатга келтириб қўйиб, C_p ни яна қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$C_p = \frac{i}{2}R + R = \frac{i+2}{2}R \quad (10.12)$$

C_p нинг C_V га нисбатини γ орқали белгилаб

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i} \quad (10.13)$$

γ нинг қиймати ҳамма вақт бирдан катта ва газни ташкил этувчи молекулаларнинг эркинлик даражаларига боғлиқдир. Классик назария асосида аниқланган иссиқлик сифимлари C_V ва C_p фақат газни ташкил этувчи молекулаларнинг эркинлик даражаларига боғлиқ, яъни барча бир атомли газлар бир хил C_V ва C_p га эга.

Термодинамиканинг биринчи қонуни

Биз биламизки системанинг ички энергиясини системанинг барча молекулалари энергияси сифатида аниқладик. Шунинг учун, системанинг ички энергияси система устидан бажарилган иш ёки системага берилган иссиқлик миқдори ҳисобига ортади. Системанинг ички энергияси иссиқлик миқдори системадан ташқарига қаратилган бўлса ёки система бирор жисм устида иш бажарса камаяди.

Жоуль ва бошқа олимларнинг тажрибаларидан келиб чиқиб, системанинг ички энергиясининг ўзгариш қонуни қуйидагича кўринишда ёзилади:

$$\Delta U = Q - W, \quad (10.14)$$

бу ерда Q – системага берилган иссиқлик миқдори, W – системанинг бажарган иши. Агар иш система устидан бажарилса, иш манфий бўлади ва системанинг ички энергияси ортади. (Агар иш система устидан бажарилса, юқоридаги ифоданинг ўнг томонидаги ишора “+” га ўзгаради $\Delta U = Q + W$). Худди шундай, агар иссиқлик система томонидан берилса бу катталиқ манфий бўлади.

(10.14) ифода термодинамиканинг биринчи қонуни дейилади. Бу қонун физиканинг буюк қонунларидан бўлиб, унинг тўғри ва аниқлиги юқоридаги барча тажрибаларда тасдиқланган. Иссиқлик миқдори ва иш системага ёки системадан энергия узатиш усули бўлганлиги учун ички энергия ҳам бу катталиқлар каби ўзгаради. Шундай қилиб, термодинамиканинг биринчи қонуни энергиянинг сақланиш қонунининг бир кўринишидир. Энергиянинг сақланиш қонуни иссиқлик энергия узатиш усули деб ҳисобланмагунча 1800 йилгача аниқланмаган эди.

(10.14) ифода ёпиқ системалар учун ўринли. Агар система бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтса, иссиқлик миқдори ва иш система иштирок этаётган аниқ бир жараёнга боғлиқ бўлади. Системанинг бошланғич ва охириги ҳолатлари бир хил бўлса ҳам, иссиқлик миқдори ва иш ҳар хил жараёнлар учун ҳар хил бўлади¹.

*Термодинамиканинг кенгайтирилган биринчи қонуни.

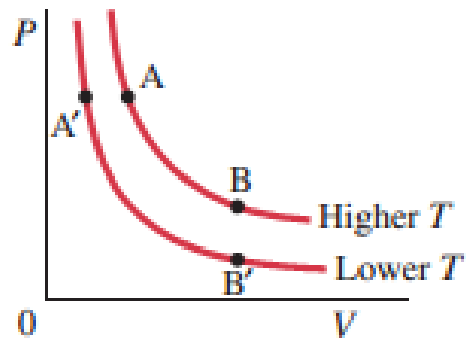
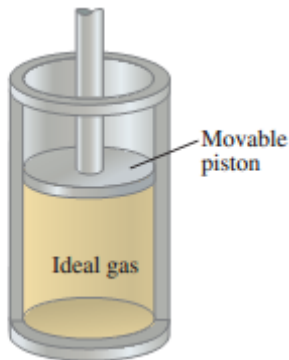
Термодинамиканинг биринчи қонунини тўлиқ ифодасини ёзиш учун кинетик энергия ΔKE ва ΔPE потенциал энергияга эга бўлган ҳаракатланаётган системани қараймиз. Бунда термодинамиканинг биринчи қонуни қуйидагича ёзилади:

$$\Delta KE + \Delta PE + \Delta U = Q - W \quad (10.15)$$

Термодинамиканинг биринчи қонунининг изожаънларга қўлланилиши

Изотермик жаън ($\Delta T = 0$)

Цилиндрсимон ҳаракатланувчи поршенли идишга маълум миқдордаги идеал газ солинган (10.5 – расм). Бу жаънда идеал газнинг ҳажми ва босими ўзгариши ўзгармас температурада бўй беради. Бундай жаън изотермик жаън деб аталади. Агар газ идеал газ бўлса $pV = nRT$, температуранинг ўзгармаслигини ҳисобга олсак, $pV = \text{const}$ бўлади.



10.5. – расм. Цилиндрсимон 10.6. – расм. Ҳар хил температуралардаги ҳаракатланувчи поршенли идишга газларнинг изотермалари.¹ солинган идеал газ.

Шунинг учун, босимнинг ҳажмга боғланиш графигида изотерма 10.6 – расмда кўрсатилганидек бўлади. Эгри чизикдаги ҳар бир нуқтанинг, масалан A нуқтанинг босими ва ҳажми ҳар хил бўлади (юқори температураларда).

Идишда массаси анча катта бўлган ва ташқи муҳит билан иссиқлик алмашилишида температураси ўзгармайдиган газ бор. Бу ҳолатда газнинг сиқилиш ва кенгайиш жаъни секин амалга оширилгани учун температура ўзгармас бўлади. Агар газга бошланғич A ҳолатда Q иссиқлик миқдори берилса, системанинг босими ва ҳажми ўзгариб, системанинг ҳолати B нуқтага кўчади (15.2 – расм). Температура ўзгармас сақланса, газ кенгайиб, иш бажарилади ва поршен маълум масофага силжийди. Температура ва масса ўзгармаса, системанинг ички энергияси ҳам ўзгармайди:

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR \Delta T = 0.$$

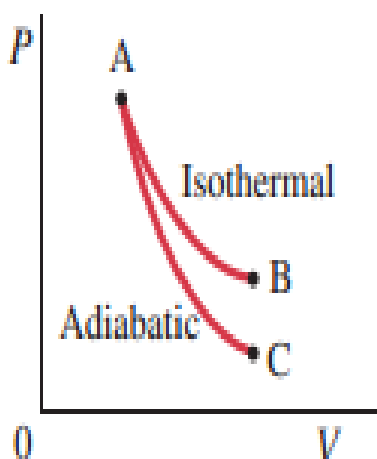
Демак, термодинамиканинг биринчи қонунига кўра:

$\Delta U = Q - W = 0$, ва $W = Q$: изотермик жаънда бажарилган иш системага берилган иссиқлик миқдorigа тенг.

Адиабатик жаън ($Q = 0$)

Ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмайдиган жаънга адиабатик жаън деб аталади, яъни ($Q = 0$). Бу жаън жуда ҳам тез содир бўладиган жаън ҳисобланади, шунинг учун иссиқлик алмашилишга улғирмайди. Адиабатик жаънга яқин келадиган мисоллардан бири – ички ёнув двигателларидаги газнинг кенгайишидир. Идеал газнинг адиабатик кенгайиши 15.3 – расмда келтирилган. $Q = 0$ бўлгани учун 15.1 – ифода қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\Delta U = -W.$$

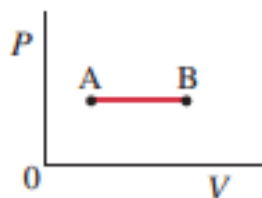


10.7. – расм. АВ – изотерма, АС – адиабата.

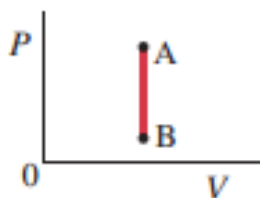
Бошқача қилиб айтганда, ички энергиянинг камайиши билан температура ҳам камайди. Буни 15.3 – расмда ҳам кўриш мумкин, $pV(=nRT)$ кўпайтма C нуктада B нуктага қараганда кичик бўлади (АВ эгри чизик изотермик жараён бўлиб, бунда $\Delta U = 0, \Delta T = 0$). Адиабатик сиқилишда газ устида иш бажарилади ва ички энергиянинг ортиши билан температура ҳам ортади. Дизелли двигателларда газ 15 марта тезроқ адиабатик сиқилади

Изобарик ва изохорик жараён

10.8(а) – расмда изобарик жараён тасвирланган. Ўзгармас босимда ҳажмнинг ортиши (камайиши) билан температура ҳам ортса (камайса), бундай жараён изобарик жараён деб аталади. 10.8(б) – расмда изобарик жараён тасвирланган. Ўзгармас ҳажмда босимнинг ортиши (камайиши) билан температура ҳам ортса (камайса), бундай жараён изохорик жараён деб аталади.



(a) Isobaric



(b) Isovolumetric

10.8. – расм. (а) изобарик жараён, (б) изохорик жараён.

Ҳажмнинг ўзгаришида бажарилган иш

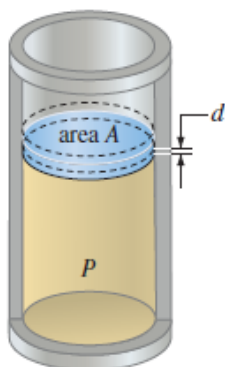
Ўзгармас босимда бажарилган ишни ҳисоблаш учун, масалан, 10.8 – расмда поршень секин бирор F куч таъсирида d масофага кўтарилади. Бу куч P босимнинг A юзага кўпайтмаси билан ҳисобланади, $F = PA$. Шунинг учун

$$W = Fd = PA d.$$

$Ad = \Delta V$ бўлгани учун

$$W = P\Delta V. \quad (10.16)$$

(10.16) ифодада агар ўзгармас босимда газ сиқилса, яъни ҳажм камайса манфий иш бажарилади ва газ устида иш бажарилади. Бу ифода қаттиқ жисмлар ва суюқликлар учун ҳам ўзгармас босимда ўринли бўлади.



10.8. – расм. Поршень остидаги газнинг бажарган иши

Изохорик жараёнда ҳажм ўзгармас бўлганлиги учун бажарилган иш нолга тенг бўлади $W = 0$.

Одам юрганда, югурганда ёки бирор оғир нарса кўтарганда иш бажаради. Иш энергия сарфлашни талаб қилади. Энергия одам организмнинг ўсиши, тўқималарнинг янгилинишида ҳам сарфланади. Организмда рўй берадиган жуда ҳам кўп жараёнларда энергия сарфланади ва бу модда алмашинуви дейилади. Иш организмнинг ҳар хил фаолиятида юзага келади. Агар у ички энергиянинг камайишига олиб келмаса, демак энергия қандайдир йўл билан компенсация қилиниши керак. Одам организмнинг ички энергияси иссиқлик оқими билан бошқарилмайди. Одам танасининг температураси уни ўраб турган муҳитнинг температурасидан юқори бўлгани учун иссиқлик одам танасидан ташқари муҳитга чиқади. Ҳаво жуда иссиқ бўлганда ҳам одам танасига ютилган иссиқлик организм фаолиятидаги жараёнларга сарф қилинмайди. Унда одам иш бажариши учун энергия манбаи бўлиб нима хизмат қилади? Бу ички энергия озиқ-овқат маҳсулотларида бўлади (10.9 – расм).



10-9– расм.

Ёпиқ системада ички энергия фақат иссиқлик миқдори ва бажарилган иш ҳисобига ўзгаради. Одам организми учун ички энергиянинг ўзгариши одам қабул қилаётган озиқ-овқат маҳсулотларига боғлиқ. Одам овқатланаётганда умумий ички энергия ортади. Бу ички энергия ўз навбатида термодинамиканинг биринчи қонунига мувофиқ бажарилган иш ва иссиқлик миқдorigа айланади.

Адиабатик жараён

Адиабатик жараён деб, ташқи муҳит ва система ўртасида иссиқлик алмашинувисиз содир бўладиган жараёнга айтилади ($dQ=0$).

Адиабатик жараёнларга ҳамма тез содир бўладиган жараёнлар киради.

Масалан, адиабатик жараёнга овознинг муҳитда тарқалишини мисол қилиш мумкин, чунки овоз тўлқинининг тарқалиш тезлиги шунчалик каттаки, муҳит билан тўлқин ўртасида энергия алмашинуви содир бўлмайди.

Адиабатик жараён ички ёнув двигателларида, музлаткич қурилмаларида қўлланилади.

Адиабатик жараён учун газ босими билан ҳажим орасида қуйидагича боғланиш мавжудлиги аниқланган:

$PV^\gamma = \text{const}$ (10-17), бу ерда γ - доимий катталиқ бўлиб у адиабатик кўрсаткич деб аталади ва молекуласи турли атом бирикмаларидан иборат бўлган газлар учун турлича қийматга эга бўлади, масалан бир атомли газлар учун $\gamma=1.67$, икки атомли газлар учун $\gamma=1.4$, уч ва ундан ортиқ атомли газлар учун $\gamma=1.33$ га тенг.

(10-17) ифода франсуз физиги Пуассон томонидан аниқлангани учун унинг номи билан Пуассон тенгламаси деб аталади.³³

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Эркинлик даражаси, ички энергия, иссиқлик миқдори, иссиқлик сиғими, адиабатик жараён, моляр иссиқлик сиғими, ўртача кинетик энергия.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Идеал газнинг ички энергияси нима ва у ҳаракатининг қандай турлари билан боғланган.
2. Жисмнинг эркинлик даражаси деб нимага айтилади.
3. Иссиқлик сиғими деб нимага айтилади.
4. Термодинамиканинг биринчи қонунига таъриф беринг.
5. Энергиянинг сақланиш қонуни асосида газнинг сиқилиши натижасида температурасининг ортишини ва газ кенгайганда температурасининг пасайишини тушунтиринг.
6. Қайси жараёнда кўп иш бажарилади: изотермик жараёндами ёки адиабатик жараёнда?
7. Қайси жараёнда ички энергиянинг ўзгариши энг катта бўлади?
8. Изотермик жараёнда идеал газ 3700 Ж иш бажаради. Шунинг ўзи иссиқлик миқдорини ҳисоблаш учун етарли бўладими? Агар етарли бўлса иссиқлик миқдорини аниқланг.
9. Идеал газ ўзгармас температурада дастлабки ҳажмининг ярмигача сиқилди. Шу билан бирга система 80 ккал иссиқлик йўқотди. а) бажарилган иш нимага тенг? б) газнинг ички энергияси ўзгаришини топинг.
10. Ўзгармас ҳажмда иш бажара оладиган системага мисол келтиринг.
11. Системага иссиқлик берилганда ёки системадан иссиқлик олинганда системанинг температураси ўзгармас сақланиши мумкинми? Агар мумкин бўлса мисол келтиринг.
12. Системанинг ички энергияси нима сабабдан ўзгаришини аниқлаш мумкинми?
13. Изоляцияланган системанинг температураси ҳамма вақт ҳам ўзгармас сақланадими?
14. Нима учун C_p иссиқлик миқдори C_v иссиқлик миқдоридан катта бўлишини сўз билан тушунтиринг.

³³ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, 413-420 б

15. Иссиқ ҳаво юқорига кўтарилади, лекин денгиз сатҳидан жудаям баландда ҳаво ҳамма вақт совуқроқ бўлади. Нима учун?
16. Нима учун адиабатик жараёнда температуранинг ортишини тушунтиринг.

Амалий машғулот

Эркинлик даражаси. Иссиқлик миқдори
Ички энергия. Иссиқлик сиғими. Термодинамиканинг
биринчи қонуни

1. Агар газнинг ҳажми икки марта ошса, 1 атмосфера босимдаги ва бошланғич температураси 0°C ҳолатда бўлса 8 моль O_2 газ қандай иш бажаради. а) изотермик б) доимий босим учун
2. Газнинг зичлиги мунособатларини ёзинг
а) доимий босимнинг температурага боғлиқлиги
б) доимий босимнинг доимий температурага боғлиқлиги
3. 0°C температурага эга бўлган секинлик билан изотермик 2,5 л газ қандай иш бажаради, 0°C да 1,5 л сиқилсачи?
4. Изотермик равишда V_1 ва V_2 кенгайса 1 моль Ван-дер-Ваальс газ қандай иш бажаради?
5. Водород газининг хона температурасида бўлган доимий босимда ва доимий ҳажмда иссиқлик сиғимини боҳаланг?
6. Дастлабки температураси 20°C бўлган 120 м^3 азот газ 1 атм босимда ҳажми икки марта ошиш учун унга қанча иссиқлик бериш керак?
7. Ҳимояланган системанинг ҳар доим температураси бир хил бўладими?
8. Сенат саройининг залининг ҳажми 30000 м^3 ва унга 2500 киши келган. Агар зал вентиллятори залнинг температураси қанчага ортади?
9. Температураси 600 К бўлган икки атомли 3,0 моль газнинг ички энергияси нимага тенг? Агар барча эркинлик даражаси актив бўлса?
10. а) Идеал газнинг ҳавода тарқалиш тезлиги куйидаги формула билан ифодаланади. М-газнинг молекуляр массаси.
б) бир хил температурада бўлган ҳар хил газларнинг тезликлар нисбати қандай?
11. 400 К температурада бўлган идеал газ ўзининг дастлабки ҳалотидан беш марта ортди. Газлар а) бир атомли б) икки атомли ҳолати учун охириги температуранинг ҳисобланг?¹
12. Массаси $m=20\text{ г}$ бўлган кислороднинг $t=10^{\circ}\text{C}$ ҳароратдаги иссиқлик ҳаракат энергияси топилсин. Шу энергиянинг қанча қисми илгариланма ҳаракатига ва қанча қисми айланма ҳаракатига тўғри келади.
13. Ҳаво молекуласи иссиқлик ҳаракат қилмоқда. $t=15^{\circ}\text{C}$ да $m=1\text{ г}$ ҳаво молекуласининг иссиқлик энергияси қанча. Ҳаво учун $\mu=29\cdot 10^{-3}\text{ кг/моль}$ деб олинсин.
14. $m=1\text{ кг}$ азот молекулаларининг $t=7^{\circ}\text{C}$ ҳароратда айланма ҳаракат энергиясини аниқланг.
15. Икки атомли газ мавжуд. У ҳажми $V=2\text{ л}$ бўлган идишда сақланмоқда. Босими $P=1,5\cdot 10^5\text{ Н/м}^2$. Шу газ энергиясини аниқланг?

ЛАБОРАТОРИЯ ИШИ

**ҲАВОНИНГ ИССИҚЛИК СИҒИМЛАРИ НИСБАТИ C_p/C_v НИ АДИАБАТИК
КЕНГАЙИШ ЁРДАМИДА АНИҚЛАШ.**

Ишнинг мақсади: Пуассон коэффициентини ҳаво учун аниқлаш.

Керакли асбоб ва буюмлар: U симон сувли манометр, кўл насоси ёки компрессор.

НАЗАРИЙ ҚИСМ

Текширилаётган жисмлар тўпламига жисмлар системаси ёки соддагина қилиб система деб аталади. Жуда кичик ўлчамлар ва массаларга эга бўлган жисмлар сифатида қаралувчи кўп сонли молекулалардан тузилган системаларга мисол қилиб газларни олиш мумкин. Идеал газ деб, ўлчамсиз ўзаро таъсир кучи ҳисобга олмас даражада кичик бўлган бетартиб ҳаракатланувчи моддий нукталар системасига айтилади. Газнинг ҳолати параметрлари деб юритилувчи Т-ҳарорат, Р-босим ва газ массаси эгаллаган V-ҳажми билан характерланади.

Ташқи муҳит ўзгармас бўлганда барча ҳолат параметрлари ўзоқ вақт давомида ўзгармай қоладиган системанинг ҳолати мувозанатли ҳолат бўлади.

Системанинг бир ҳолат (P,V,T) дан иккинчи ҳолат (P₁,V₁,T₁) га ўтишига жараён дейилади.

Агар системага (газга) ташқаридан иссиқлик миқдори берилса ёки ундан иссиқлик миқдори олинса, система бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтади, яъни ҳолати ўзгаради. Натижада унинг ички энергияси ҳам ўзгаради. Ички энергиянинг ўзгаришини энергиянинг сақланиш қонунидан иборат бўлган қуйидаги термодинамиканинг биринчи бош қонуни изоҳлайди. Системага берилган иссиқлик миқдори Q, система ички энергиясининг ўзгариши U₂-U₁ га ва системанинг ташқи кучлар устидан бажарадиган иши (A) га сарфланади, яъни

$$Q = U_2 - U_1 + A \quad (1)$$

Система бажарган ишни ёки система олган иссиқлик миқдорини ҳисоблашда, одатда, текширилаётган жараён бир қатор элементар жараёнларга ажратилади. Бу элементар жараён учун (1) тенгламани дифференциал кўринишда қуйидагича ёзиш мумкин.

$$\delta Q = dU + \delta A \quad (2)$$

Бунда δQ - иссиқлик элементар миқдори, δA - элементар иш ва dU система ички энергиясининг мана шу элементар жараён давомидаги ўзгариши.

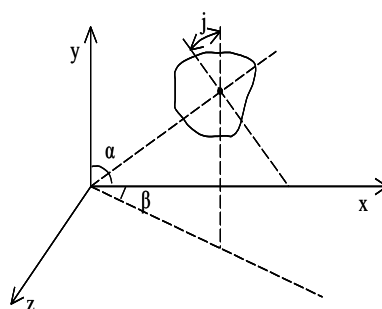
Агар икки атомли молекулада ҳарорат ортиши натижасида тебранма ҳаракат вужудга келса, яъни молекула таркибидаги иккала атом орасидаги масофа вақт ўтиши билан ўзгарса, бундай молекуланинг фазодаги вазиятини аниқлаш учун x,y,z, α , β ларнигина билиш етарли эмас.

Молекуляр кинетик назарияда бир атомли идеал газ молекуласининг кинетик энергияси учун қуйидаги

$$\langle E \rangle = \frac{3}{2} kT \quad (3)$$

формула келтириб чиқарилган.

Бир атомли молекула учун $i=3$ эди. Агар молекулалар системаси T ҳароратда мувозанат вазиятда бўлса, ўртача кинетик энергия барча координаталар бўйича тенг тақсимланади. У ҳолда, (3) га асосан, молекуланинг ҳар бир эркинлик даражасига тўғри келган ўртача энергия $\langle E \rangle = \frac{1}{2} kT$ бўлиб, ҳар қандай атомли битта молекуланинг ўртача кинетик энергияси қуйидагича бўлади:



$$\langle E \rangle = \frac{1}{2} kT i = \frac{i}{2} kT \quad (4)$$

Кўриладиган ишда мулоҳазаларни 1 моль газ учун олиб борамиз. Шунинг учун моль тушунчасининг таърифи билан танишайлик. 21-расм.

Бир моль идеал газдаги молекулалар (атомлар) сони Авогадро сони N_A деб юритилади. У ҳолда (4) формулага асосан бир моль идеал газнинг ички энергияси Авогадро сони билан битта молекула ўртача кинетик энергиясининг кўпайтмасига тенг бўлади:

$$U_\mu = N_A \cdot \langle E \rangle = \frac{i}{2} kT \cdot N_A = \frac{i}{2} RT \quad (5)$$

Бунда R -универсал газ доимийси, T -абсолют ҳарорат.

Ихтиёрий m массали газнинг T ҳароратидаги ички энергияси эса бир молнинг ички энергияси билан m массадаги моллар сони (m/μ) нинг кўпайтмасига тенг бўлади:

$$U = \frac{m}{\mu} U_\mu = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT \quad (6)$$

Демак ҳар қандай берилган идеал газнинг ички энергияси унинг абсолют ҳароратига, молекуланинг эркинлик даражасига ва газ массасига тўғри пропорционал бўлар экан.

Агар бир моль газ ҳарорати dT га ўзгарса, (5) га асосан унинг ички энергиясининг ўзгариши қуйидагича бўлади: $dU = \frac{i}{2} R dT$ (7)

Газ ҳажмининг кенгайишида бажарган элементар иши $\delta A = p dV$ (8) га тенг. (7) ва (8) ифодаларни олиб келиб (2) га қўйсақ, термодинамиканинг биринчи бош қонуни учун қуйидаги кўринишдаги ифодага эга бўламиз:

$$\delta Q = \frac{i}{2} R dT + p dV \quad (9)$$

Демак жисмга δQ иссиқлик миқдори берилганда унинг ҳарорати dT га ортса, таърифга кўра жисмнинг иссиқлик сиғими $C = \frac{\delta Q}{dT}$ га тенг бўлади.

Жисмнинг СИ системасида иссиқлик сиғимининг ўлчов бирлиги Ж/К бўлади.

Модданинг (газнинг) солиштира иссиқлик сиғими деб, унинг бир бирликка тенг бўлган массасининг ҳароратини 1 К га кўтариш учун керак бўлган иссиқлик миқдорига сон жиҳатдан тенг бўлган катталиқка айтилади, яъни $C = \frac{\delta Q}{m dT}$ (10)

Ҳалқаро бирликлар системаси СИ да солиштира иссиқлик сиғими Ж/кг К да ўлчанади.

Моляр иссиқлик сиғими деб, бир моль модда (газ) ҳароратини 1 К га ошириш учун зарур бўлган иссиқлик миқдорига сон жиҳатдан тенг бўлган катталиқка айтилади ва қуйидаги формуладан аниқланади: $C_\mu = \frac{\delta Q}{dT}$ (11)

Моляр иссиқлик сиғимининг СИ даги бирлиги 1 Ж/моль К.

Моляр иссиқлик сиғими билан солиштира иссиқлик сиғим орасидаги қуйидаги боғланиш мавжуд $C_\mu = c\mu$ (12)

Газларнинг иссиқлик сиғимлари уларнинг иситилишига боғлиқ. Масалан, газдаги содир бўлаётган жараён давомида унинг ҳажми ўзгармасдан қолса, моляр иссиқлик сиғим (C_v) ўзгармас ҳажмдаги иссиқлик сиғими деб аталади.

Ўзгармас ҳажмдаги жараёнга ($V = \text{const}$) эса изохорик жараён дейилади.

Бу ҳолда ташқаридан берилган δQ иссиқлик миқдори фақат газнинг ички энергиясини оширишга (dU) сарф бўлади ($dA=0$) демак, (7) формула қуйидаги кўринишга келади:

$$\delta Q = dU = \frac{i}{2} R dT \quad (13)$$

(11) ва (13) ифодаларни ўзаро таққослаб, модданинг ҳажми ўзгармас бўлгандаги моляр иссиқлик сиғим учун қуйидаги формулага эга бўламиз.

$$C_v = \frac{i}{2} R \quad (14)$$

(14) дан кўринадик, C_v нинг қиймати газ молекулаларининг эркинлик даражаси i га боғлиқ экан.

Агар ўзгармас босимда, яъни $P=\text{const}$ ($dP=0$) иситилса, моляр иссиқлик сиғим ўзгармас босимдаги иссиқлик сиғим деб аталади ва у C_p билан белгиланади. Бу ҳолда газга берилган δQ иссиқлик миқдори унинг ички энергиясининг ортиши dU га ва ташқи жисмлар устида δA иш бажаришга сарф бўлади (9-формулага қаранг)

Бир моль газ учун идеал газ ҳолат тенгламасини $P=\text{const}$ бўлган жараён учун дифференциаллаб $p dV = R dT$ (15)

ифодага эга бўламиз. (15) ни (9) га қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз.

$$\delta Q = \frac{i}{2} R dT + R dT = dT \left(\frac{i}{2} R + R \right) \quad (16)$$

Бундан $\frac{\delta Q}{dT} = \frac{i}{2} R + R$ (17) экани келиб чиқади.

Ушбу ифодани (11) билан таққосласак, ўзгармас босимдаги моляр иссиқлик сиғими қуйидагига тенг бўлади:

$$C_p = \frac{i}{2} R + R = \frac{i+2}{2} R \quad (18) \quad (14) \text{ да } \frac{i}{2} R = C_v \text{ бўлганлиги учун, (18) формулани}$$

$$C_p = C_v + R \quad (19) \text{ кўринишда ҳам ёзиш мумкин.}$$

Газ ҳажмининг бизга таниш бўлган изобарик ва изотермик ўзгариш жараёнларидан ташқари яна адиабатик жараён ҳам мавжуд. Система ва атроф муҳит ўртасида иссиқлик алмашмасдан борадиган жараёнларга адиабатик жараён дейилади. Бу ҳолда $\delta Q=0$ бўлиб, термодинамиканинг биринчи асосий (1) формуласи қуйидаги кўринишга келади.

$$\delta A = -dU \quad (20)$$

Бу формулада минус ишора адиабатик кенгайишда система ички энергиясининг камайишини кўрсатади, яъни система ўзининг ички энергияси ҳисобига иш бажаради.

Адиабатик жараёни характерлайдиган формула қуйидаги кўринишга эга:
 $PV^\gamma = \text{const}$ (21) Бу ифода Пуассон формуласи деб ҳам аталади.

Бунда γ -адиабата даражаси ёки Пуассон коэффиценти дейилиб, у ўзгармас босимдаги моляр иссиқлик сиғим (C_p) нинг, ўзгармас ҳажмдаги моляр иссиқлик сиғим (C_v) га нисбатига тенг:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i} \quad (22)$$

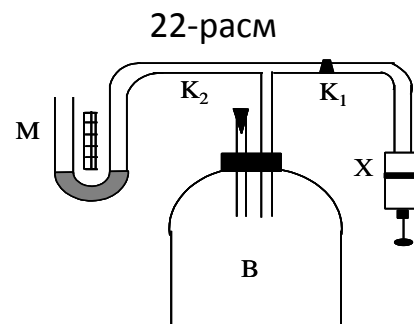
Пуассон формуласи яна қуйидаги кўринишларда ҳам ифодаланиши мумкин:

$$TV^{\gamma-1} = \text{const} \quad (23) \quad \text{ёки} \quad T^{\gamma} P^{\gamma-1} = \text{const} \quad (24)$$

Асбобнинг тузилиши ва иш услуби

Қурилма ҳаво билан тўлдирилган 20-30 литр ҳажмли В шиша балондан иборат (22-расм). Резина найча ёрдамида балонга сувли U симон М манометр уланган. Манометрнинг

тирсаклардаги ҳавонинг ҳажмини баллонинг ҳажмига нисбатан назарга олмаса ҳам бўлади. Баллонга K_1 жумрак орқали Н қўл насоси уланган бўлиб, унинг ёрдамида баллонга ҳаво ҳайдалади. K_2 жумрак эса баллондаги газни ташқи атмосферадан ажратиб туради. K_1 жумрак очилса, баллон ичидаги босим атмосфера босими P_0 билан тенглашади. Бу ҳолда, баллон



ичидаги m массали газ P_0, V_0 ва T_0 параметрлар билан характерланади. Бунда T_0 -ташқи муҳит (хона) ҳарорати. Агар K_1 жумракни очиб (K_2 берк) баллонга Н насос ёрдамида m массали ҳаво ҳайдасак, баллон ичидаги газ (ҳаво) нинг босми ортади. Шу билан бирга баллонга ҳаво тез ҳайдалиши натижасида, адиабатик сиқилиш содир бўлиб, ундаги ҳавонинг ҳарорати ташқи муҳит (хона) ҳарорати T_0 га нисбатан бирор T гача ($T > T_0$) ортади. Лекин, вақт ўтиши билан идишдаги ҳавонинг ҳарорати T иссиқлик алмашинуви натижасида хона ҳарорати T_0 га тенглашгунча аста секин камайиб боради. Унга мос равишда идишдаги ҳавонинг босими ҳам камайиб боради. Ниҳоят идишдаги ҳавонинг ҳарорати T хона ҳарорати T_0 га тенг бўлгандагина, ортиқча босимни ифодаловчи манометр сатҳларининг фарқи аниқ h қийматга эришади. Баллондаги $(m_0 + m)$ массали газнинг бу биринчи ҳолати T_0 ва P_1 параметрлар билан харктерланади. (1 ҳолат: T_0, P_1) Атмосфера босими P_0 бўлса, баллондаги газнинг босими P_1 қуйидагига тенг бўлади.

$$P_1 = P_0 + h_1 \quad (25)$$

бунда P_0 - мм сув устунида ифодаланган атмосфера босими, h -мм сув устунида ифодаланган идишдаги ортиқча босим.

Агар жумрак K_2 тез очилса, идишдаги ҳавонинг босими P_1 ташқи босим P_0 га тенглашгунча идишдаги газ адиабатик равишда кенгайиб боради, натижада идишдаги ҳаво T_2 гача совийди. (Жумрак очилганда идишдан ҳавони m массали бир қисми чиқиб кетади, қолган ҳавонинг m_0 массали қисми кенгайиб идишнинг бутун V_0 ҳажмини эгаллайди).

Бу ҳолат газнинг иккинчи ҳолатидир (2 ҳолат: P_0, T_2) K_2 -жумрак очилган захоти ($P_1 = P_0$) қайтадан беркитилса, баллондаги m_0 массали газ ташқи муҳит билан иссиқлик алмашинуви натижасида изохорик равишда ($V_0 = \text{const}$) исий бошлайди. Газ ҳарорати ортиши билан босим ҳам ортиб боради ва ниҳоят газнинг ҳарорати ташқи T_0 ҳарорати билан тенглашганда босимнинг ортиши тўхтайди. Бу ҳолат газнинг учинчи ҳолати бўлади. (3 ҳолат: P_2, T_0) Бунда баллондаги ҳавонинг босими қуйидагига тенг бўлади.

$$P_2 = P_0 + h_1 \quad (26) \quad h_1 - \text{мм сув устунида ифодаланган идишдаги ортиқча босим.}$$

Шундай қилиб: газнинг 1 ҳолатдан 2 ҳолатга ўтиши, адиабатик жараёндан иборат бўлганлиги учун Пуассон тенгламасининг (25) кўринишини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$T_0^\gamma P_1^{\gamma-1} = T_2^\gamma P_0^{\gamma-1} \quad \text{ёки} \quad \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^\gamma \quad (27)$$

Газ 2 ҳолатдан 3 ҳолатга изохорик - ўзгармас ҳажмда ўтганлиги учун Ген-Люсакк қонунига биноан қуйидагини ёзамиз:

$$P_2 = P_0 \frac{T_2}{T_0} \quad \text{ёки} \quad \frac{P_2}{P_0} = \frac{T_2}{T_0} \quad (28)$$

(26) тенгликни γ даражагача кўтариб, (28) ифода билан таққосласак, қуйидаги тенгликка эга бўламиз: $\left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{P_2}{P_0}\right)^\gamma \quad (29)$

(29) тенгламага (25) ва (26) лардан P_1 ва P_2 ларни олиб келиб қўйсак қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз.

$$\left(\frac{P_0 + h}{P_0}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{P_0 + h_1}{P_0}\right)^\gamma \quad \text{ёки} \quad \left(1 + \frac{h}{P_0}\right)^{\gamma-1} = \left(1 + \frac{h_1}{P_0}\right)^\gamma \quad (30)$$

бу тенгламада h/P_0 ва h_1/P_0 лар бирдан жуда кичик бўлганлиги учун, тенгламани Ньютон биноми бўйича ёйиб, иккита биринчи ҳадлари билан чегаралансак, қуйидаги ифодага эга бўламиз:

$$1 + (\gamma - 1) \frac{h}{P_0} = 1 + \gamma \frac{h_1}{P_0} \quad \text{ёки} \quad (\gamma - 1)h = \gamma h_1 \quad (31)$$

(31) дан γ ни топсак у қуйидаги кўринишда бўлади: $\gamma = \frac{h}{h - h_1} \quad (32)$

(32) формула асосий формула бўлиб: ундан газ иссиқлик сиғимлари нисбати γ топилади.

Ишни бажариш тартиби

1. 22-расмда келтирилган шаклга асосланиб: қурилмадаги K_2 жумрак очилади ва манометрдаги суюқлик устунларининг сатҳлари тенглаштирилади.

2. K_2 - кранни ёпинг, сўнгра K_1 - кранни очиб, баллонга насос ёрдамида газ қаманг. Суюқлик сатҳлари орасидаги фарқ 150-180 мм га етганда, газ қамашни тўхтатинг. Суюқлик сатҳлари орасидаги фарқ турғун ҳолатга келганда, бу фарқни ўлчаб жадвалга ёзинг. Бу катталиқ h бўлади.

3. K_2 - кранни очиб, суюқлик сатҳлари тенглашиши билан ёпинг. Бунда газ адиабатик кенгаяди, натижада ҳарорати бир оз пасаяди. Бир оз кутсак, иссиқлик алмашинуви натижасида газ ҳарорати хона ҳароратигача кўтарилиб, газнинг босими бир оз ошади ва сатҳлар фарқи h_1 ҳосил бўлади. Манометрдан унинг кўрсатишини ёзиб олинг.

4. (32) тенглама ёрдамида γ ни ҳисобланг.

5. Таҷрибаларни 5-6 марта такрорланг.

6. Абсолют ва нисбий ҳатоликларни ҳисоблаб, натижани қуйидаги жадвалга ёзинг.

№	h	h_1	γ	$\langle \gamma \rangle$	$\Delta \gamma$	$\langle \Delta \gamma \rangle$	$\frac{\langle \Delta \gamma \rangle 100\%}{\langle \Delta \gamma \rangle}$
1							
2							

3							
---	--	--	--	--	--	--	--

тажрибадан топилган γ қийматини (18) формулага асосан ҳисобланган қиймат билан таққосланг.

ҚАЙТАР ВА ҚАЙТМАС ЖАРАЁНЛАР. ТЕРМОДИНАМИКАНИНГ ИККИНЧИ ҚОНУНИ

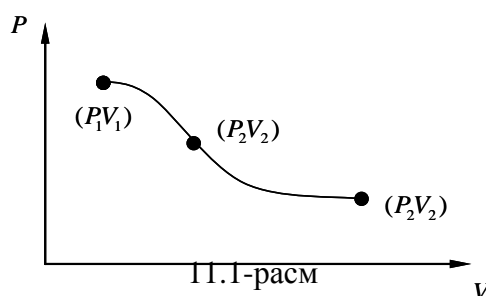
Режа

1. Қайтар ва қайтмас жараёнлар.
2. Термодинамик иш.
3. Карно айланма жараёни.
4. Термодинамиканинг иккинчи қонуни.
5. Иссиқлик машинасининг фойдали иш коэффиценти (Ф.И.К.).
6. Энтропия. Термодинамиканинг учинчи қонуни.

Қайтар ва қайтмас жараёнлар. Термодинамика энергияларнинг иссиқлик ҳаракати туфайли юз берадиган бир - бирига айланишидаги миқдорий қонуниятларни ўрганади. У икки фундаментал (асосий) қонунга асосланган. Биринчи қонун энергиянинг бир - бирига айланишидаги миқдорий ва сифат томонларини белгилайди. Иккинчи қонун бу жараёнларнинг йўналишини белгилайди. Термодинамик мувозанатда система ҳолати P, V, T - учта параметр орқали белгиланади ва $f(T, P, V) = 0$ тенгламани ҳолат тенгламаси деб аталади. Идеал газ учун бу Менделеев - Клапейрон тенгламасидир:

$$PV - \frac{m}{\mu} RT = 0 \quad (11.1)$$

Системанинг (P_1, V_1, T_1) ҳолатдан (P_2, V_2, T_2) ҳолатга ўтиши термодинамик процесс деб аталади. Ҳолат диаграммасида системанинг ҳолати (P_1, V_1) точка билан белгиланади, процесс эса - эгри чизиқ билан. Системанинг 1 ҳолатдан 2 ҳолатга ўтиш қайтар ўтиш (жараёни) деб аталади, агар системанинг 2 ҳолатдан 1 ҳолатга ўтиш учун бошқа процесс мавжуд бўлса ва у система тескари йўналишда биринчи йўналишнинг ҳамма ҳолатларидан ўтиб 1 ҳолатга ўтиб олса ва на системада ва на ташқи атрофда ҳеч қандай ўзгар ишлар қолмаса¹.



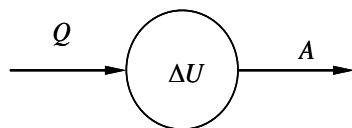
Акс ҳолда процесс қайтмас деб аталади. Умуман олганда табиатда қайтар процесслар бўлмайди.

Қайтар процесс - бу идеализация қилинган процессдир.

Фараз қиламиз, ички энергияси U_1 бўлган системага Q энергия берилади ва унинг ички энергияси U_2 бўлиб қолди ва A иш бажаради.

$\xrightarrow{Q} \bigcirc -Q > 0$ $\bigcirc \xrightarrow{Q} -Q < 0$ ва $A > 0$ - агар иш ташқи кучларга қарши бажарилса (12.2-расм).

$$Q = (U_2 - U_1 + A = \Delta U + A)$$



11.2-расм.

Демак, системага берилган энергия ички энергияни ўзгартиришга ва системанинг бажарган ишига сарф бўлади. Бу термодинамиканинг биринчи қонуни ва энергиянинг сақланиш ва бир - бирига айланиши қонунининг ифодасидир:

$$Q = \Delta U + A \quad (11.2)$$

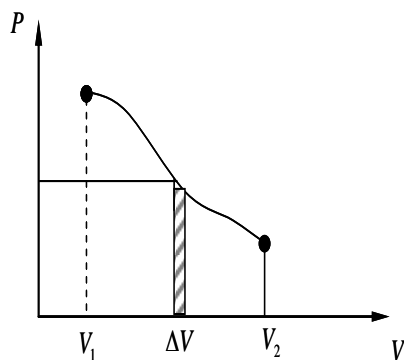
Агар система даврий равишда аввалги ҳолатига қайтиб келаверса $\Delta U = 0$ бўлади. $Q = A$

Демак система олган энергиясидан қўпиш бажара олмайди. Акс ҳолда биз абадий двигателга эга бўларэдик.

Демак термодинамиканинг биринчи қонуни абадий двигателнинг бўлиши мумкин эмас, дейди.³⁴

Термодинамик иш. Элементар иш (ҳажм ўзгарганда) $P\Delta V$ гатенг. Ҳажм V_1 дан V_2 га ўзгарганда ҳамма иш $P\Delta V$ ларийғиндигатенг (11.3-расм).

$$A = \sum_i P_i \Delta V_i \rightarrow \int_{V_1}^{V_2} P dV \quad (11.3) \text{- дейиш мумкин} \quad P = \frac{RT}{V} \quad (11.4) \text{- бир моль учун.}$$

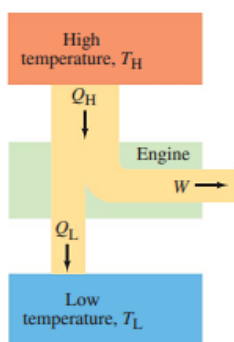


11.3-расм

$$\text{Изотермик иш учун } A = \int_{V_1}^{V_2} \frac{RT}{V} dV = RT(\ln V_2 - \ln V_1), \text{ ёки } A = RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (11.5)$$

$$\text{Изобарик иш учун } A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P \int dV = P(V_2 - V_1). \quad (11.6)$$

³⁴ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, 419-425 б



11 –4 расм. Иссиқлик двигателининг иш схемаси.

Hightemperature (T_H) – юқори температура,
Lowtemperature (T_L) – паст температура,
Engine – двигатель.³⁵

Янаадиабатик иш бор. Бунда система билан ташқари орасида иссиқлик энергиясини узатиш бўлмайди. Бунда $Q = 0$ бўлгани учун $dA = -dU$. Демак, иш ички энергия ҳисобига бажарилади.

Деворларни иссиқлик ўтмайдиган цилиндр бир киломоль газдаги адиабатик процессни кўриб чиқамиз. Бу газнинг ички энергияси:

$$U = C_V T \quad (11.7)$$

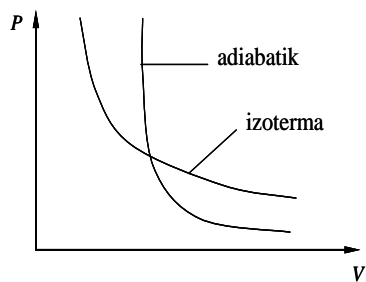
C_V - моль иссиқлик сиғими ва $dU = C_V dT$, $dA = -dU$ бўлгани учун $PdV = -C_V dT$, лекин $P = \frac{RT}{V}$ бўлгани учун

$$\frac{RT}{V} dV = -C_V dT \rightarrow \frac{R}{C_V} \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = - \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T}$$

$$\frac{R}{C_V} (\ln V_2 - \ln V_1) = \ln T_1 - \ln T_2, \quad \text{ёки} \quad \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\frac{R}{C_V}} = \ln \frac{T_1}{T_2}; \quad \frac{R}{C_V} = \frac{C_P - C_V}{C_V} = \gamma - 1 \text{ бўлгани учун}$$

$$\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_1}{T_2}, \quad \text{ёки} \quad T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \quad \text{ёки} \quad TV^{\gamma-1} = \text{const} \quad (11.8) - \text{Пуассон қонуни.}$$

Демак, газ адиабатик кенгайса у совийди, торайса - исийди. Адиабатик процессда система деворлари абсолют иссиқлик ўтказмайди. Изотермик процессда деворлар абсолют равишда ўтказиш керак. Лекин табиатда абсолют теплоизоляторлар ва теплопрводниклар бўлмайди. Шунинг учун адиабатик процесс қилиш учун процессни тез бажариш керак, иссиқлик алмашинуви бўлмаслиги учун, масалан, дизелда ёқилғи адиабатик сиқилади, қизиб ёниб кетади.



11.6.-расм

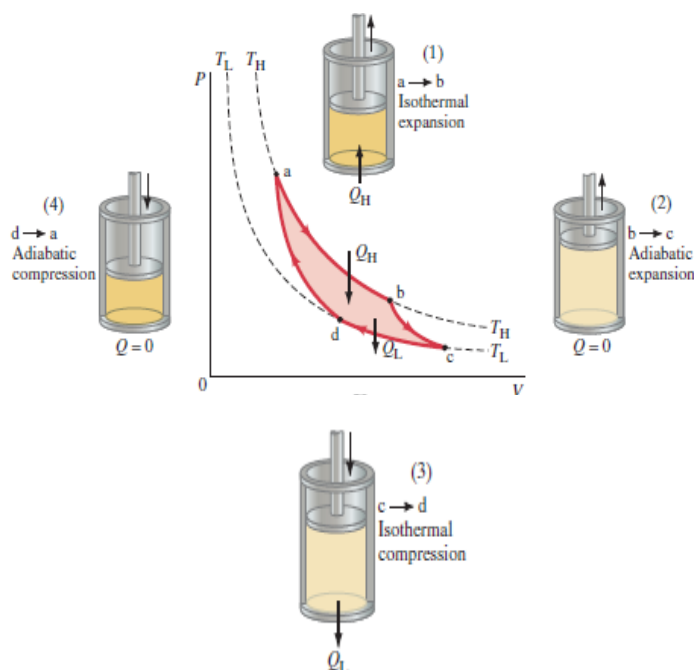
Пуассон қонунига қайтамиз. Унда T нинг ўрнига $T = \frac{PV}{R}$ ни қўйсак $PV^\gamma = \text{const}$ ҳосил бўлади.

Адиабатик кенгайишда босим нафақат ҳажмнинг ошиши ҳисобига камаяди, у температуранинг камайиши ҳисобига ҳам камаяди. Адиабатик процессда $dA = -C_V dT$ ва бажарилган иш $A = C_V (T_1 - T_2)$ (12.9).

³⁵ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, 424-425 б

Карно айланма жараёни.

XIX асрнинг бошида француз олими Н.Л.Сади Карно иссиқликнинг механик энергияга айланиш жараёнини ўрганган. Иссиқлик двигателларининг ф.и.к. ни ошириш усуллури термодинамика асосларини ўрганишга олиб келди. Ҳозирги кунда бу двигатель Карно двигатели деб аталади.



11.7. – расм. Карно цикли.

Идеаллаштирилган Карно двигатели 4 та жараёндан ташкил топган: 2 та адиабатик жараён ($Q = 0$) ва 2 та изотермик жараён ($\Delta T = 0$). Бу цикл 11.7 – расмда келтирилган, бу ерда ҳар бир цикл қайтар жараён деб қаралади. Ҳар бир жараён жуда секин амалга оширилгани учун тескари йўналишда ҳам содир бўлиши мумкин ва бажарилган иш ўзгармас сақланиб, ташки муҳит билан иссиқлик алмашинуви бўлмайди.³⁶

Реал газларда жараён анча тезроқ содир бўлади ва бунинг ҳисобига турбулентлик юзага келиб, ишқаланиш ҳам ҳисобга олинади. Шунинг учун реал газларда жараён тескарисига содир бўлмайди ва бу жараён қайтмас жараён ҳисобланади.

Карно двигателида изотермик жараёнда иситгичнинг иссиқлик миқдори Q_H ва совутгичнинг иссиқлик миқдори Q_L ларни, ўзгармас температурада T_H ва T_L ларга алмаштирамиз. Карно двигателида иситгич ва совутгичнинг иссиқлик миқдорлари нисбати, уларнинг температураларининг нисбатига тенг бўлади:

$\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{T_H}{T_L}$. Шунинг қилиб, идеал газ учун фойдали иш коэффициентини:

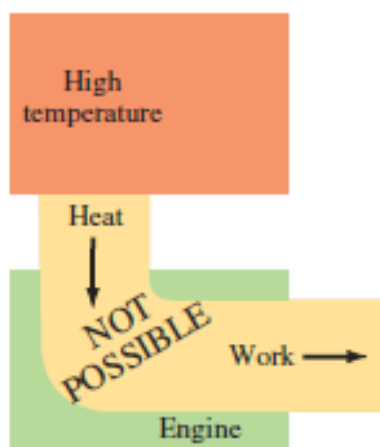
$$e_{идеал} = \frac{T_H - T_L}{T_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H}. \quad (11.10)$$

Реал двигателларда ф.и.к. иссиқлик йўқотилиши ёки ишқаланиш туфайли анча пастроқ бўлади. Реал двигателларда ф.и.к. энг кўпи билан 60 ёки 80% гача бўлиши мумкин.

³⁶ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, Prentice Hall; 6th edition January 17, 2004 USA

Ҳеч бир қурилма ёрдамида иссиқлик миқдорини бутунлай бажарилган ишга айлантириш мумкин эмас.

Бу таъриф термодинамиканинг иккинчи қонуни бўлиб. У Келвин-Планк қонуни деб ҳам аталади. 11.8 – расмда (мавжуд бўлмаган) идеал иссиқлик двигатели кўрсатилган.



11.8. – расм. Мавжуд бўлмаган идеал иссиқлик двигатели. Бунди чиқишдаги иссиқликнинг ҳаммаси бажарилган ишга айланади.

Агар термодинамиканинг иккинчи қонуни бажарилмай, идеал иссиқлик двигатели яратилса, ҳозирги кунда ёқилғи маҳсулотларига умуман талаб бўлмаган бўлар эди.

Агар системанинг ҳолати ўзгариб у қатор ҳолатлардан ўтиб яна ўзининг аввалги ҳолатига қайтиб келса, бундай жараён айланма жараён деб аталади. Бундай жараён графикда берк чизиқ билан ифодаланади (11.7-расм). Газнинг сиқилишида бажарган иш фигуранинг ичигаолган юзига тенг ва у манфий ҳисобланади. Натижадаайланма жараёнда бажарилган иш қуйидаги ифодага тенг:

$$A = A_1 - A_2 \quad (11.11)$$

Агар айланма жараён соат стрелкаси бўйлаб юз берса бажарилган иш 0 дан катта бўлади, тескари бўлса иш 0 дан кичик бўлади. Агар цикл пайтида иш бажарилса ва бу цикл даврий равишда қайтарилиб турса бундай система машина деб аталади.

- **Термодинамиканинг иккинчиқонуни.Савол берамиз:** *Иситгичдан олинган иссиқлик Q_1 ни ҳаммасини, совутгичга Q_2 ни бермасдан, ишгаайлантириши мумкинми?*

Бошқача айтганда Q_1 нинг ҳаммасини ишга айлантириш мумкинми?

Кўриниб турибдики, совутгич бўлмаса $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ яна $3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ бўйича орқага қайтади ва штрихланган юза нолга тенг бўлади, бошқача айтганда фойдали иш ҳам нолга тенг бўлади. Демак, иш бажариши учун албатта Q_1 нинг бир қисмини совутгичга бериш шарт экан. Қисқаси, иситгичдан олинган иссиқлик миқдорини ҳеч қандай услуб билан ҳаммасини ишгаайлантириб бўлмайди, бир қисм иссиқлик совутгичга берилиши керак. Бу-термодинамиканинг иккинчи қонунидир.³⁷

Термодинамиканинг биринчи қонунига асосан, энергия сақланади. Энергиянинг сақланишига жуда кўп мисоллар келтиришимиз мумкин, лекин табиатда бундай жараёнлар кузатилмайди. Масалан, агар иссиқ жисм совуқ жисмга теккизилса, иссиқлик

³⁷ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, 423 б

иссиқ жисмдан совуқ жисмга ўтади, аксинча эмас. Агар иссиқлик совуқ жисмдан иссиқ жисмга ўтганида эди, энергия сақланган бўларди, лекин бундай жараён йўқ. Иккинчи мисолда отилган тошнинг Ер сиртига тушишини қараймиз. Тош Ер сиртига яқинлашган сари унинг потенциал энергияси кинетик энергияга айланади. Тош Ер сиртига урилганидан кейин кинетик энергия тошнинг ва Ернинг ички энергиясига айланади (бу жисмларнинг молекулаларининг ҳаракати тезлашади, температуралари ортади).

Табиатда жуда кўп жараёнлар борки, уларга тескари жараёнлар ҳеч қачон учрамайди. Яна иккита шунга ўхшаш мисолларни қараб чиқамиз. Арағ бирор идишга туз солиб, унинг устидан мурч солсангиз ва аралаштирсангиз, яхши аралашган аралашма ҳосил бўлади. Лекин қанча аралаштиришингизга қарамай туз ва мурч алоҳида қатлам бўлиб ажралиб қолмайди. Кофе ичадиган идиш ёки шиша стаканни синдирсангиз, у ўз холича яна асл холига қайтмайди (11.9– расм).



11.9. – расм.

Агар юқорида келтирилган мисолларда тескари жараёнлар бажарилганида, термодинамиканинг биринчи қонуни бузилмаган бўларди. Тескари жараёнларнинг йўқлиги сабабли, ўтган асрнинг иккинчи ярмида олимлар термодинамиканинг иккинчи қонунини асослаб беришган. Бу қонунга асосан, табиатда қандай жараёнлар содир бўлиши мумкин, қандай жараёнлар содир бўлмаслигини тушунтириш мумкин. Термодинамиканинг иккинчи қонунини жуда кўп усуллар билан тушунтириш мумкин, буларнинг ҳаммаси бир-бирига эквивалент (тенг).

Булардан бири Р.Ю.Э.Клаузиус (1822-1888) га тегишли: иссиқлик табиий шароитда иссиқ жисмдан совуқ жисмга ўтади, лекин совуқ жисмдан иссиқ жисмга иссиқлик ўз холича ўтмайди. Бу қонун фақат алоҳида хилдаги жараёнларга тегишли бўлгани учун бошқа жараёнларга қўллаб бўлмайди.

Термодинамиканинг иккинчи қонунининг бошқача аниқроқ таърифи иссиқлик двигателларини ўрганиш жараёнида аниқланган. Иссиқлик двигатели – иссиқлик энергиясини механик ишга айлантирувчи қурилма.

Иссиқлик машинасининг фойдали иш коэффициентини (Ф.И.К.)

Фойдали иш коэффициентини

Фойдали иш коэффициентини e харфи билан белгилаб, юқори температурада двигатель бажарган ишнинг W иссиқлик миқдорига Q_H нисбати билан аниқлаймиз (11.4 – расм):

$$e = \frac{W}{Q_H} \quad (11.12a)$$

Тўла энергия ўзгармас сақланганлиги учун системага берилаётган иссиқлик Q_H бажарилган иш W билан паст температурада системадан олинаётган иссиқликнинг Q_L йиғиндисига тенг бўлади:

$$Q_H = W + Q_L$$

Бундан $W = Q_H - Q_L$ бўлгани учун, двигателнинг фойдали иш коэффициентини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$e = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}. \quad (11.126)$$

(11.126) ифодадан кўринадики, Q_L иссиқлик қанча кичик бўлса, фойдали иш коэффициенти шунча катта бўлади. Лекин, Q_L иссиқликни нольга тушириб бўлмайди. Агар бунинг иложи бўлганда эди двигателнинг фойдали иш коэффициенти 100% бўлган бўлар эди.

11 – 1 масала. Автомобиль двигателининг фойдали иш коэффициенти. Ф.и.к. 20 % бўлган автомобиль двигатели секундига 23000 Ж механик иш бажаради. (а) двигателга қанча иссиқлик миқдори Q_H керак бўлади? (б) двигатель секундига қанча Q_L иссиқлик чиқаради?

Ечими: (а) (11.12а) ифодага мувофиқ: $e = \frac{W}{Q_H}$, бундан

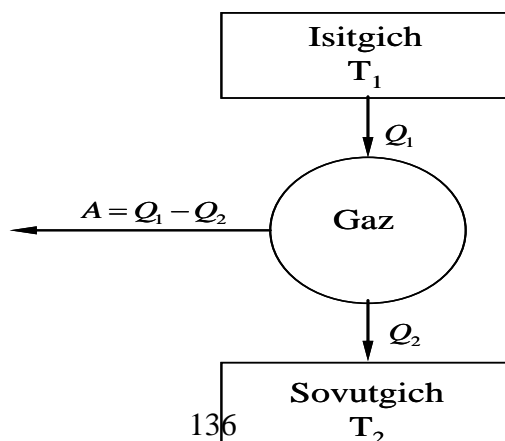
$$Q_H = \frac{W}{e} = \frac{23,000 \text{ Ж}}{0,20} = 1,15 \times 10^5 \text{ Ж} = 115 \text{ кЖ}.$$

Двигателнинг қуввати: $115 \text{ кЖ} / c = 115 \text{ Вт}.$

(б) (11.126) ифодага мувофиқ: $e = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$, бундан

$$\frac{Q_L}{Q_H} = 1 - e \quad \text{ёки} \quad Q_L = (1 - e)Q_H = (0,80) \cdot 115 \text{ кЖ} = 92 \text{ кЖ}.$$

Иссиқлик машинасининг иш принципи 11.11-расмда кўрсатилган.



11.11-расм

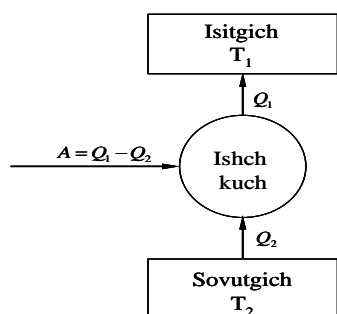
Олинган иссиқлик миқдорининг ҳаммасини ишга айлантирадиган машина абадий машина (двигател) деб аталади. Термодинамиканинг иккинчи қонунига асосан абадий двигателнинг бўлиши мумкин эмас, деб ҳам айтса бўлади.

Идеал иссиқлик машинасининг Ф.И.К. қуйидагига тенг.

$$\eta = \frac{A}{A_1} = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Бошқача айтганда $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} < 1$ дир.

Совутгич. Тескари Карно цикли - совутгичдир. Ташқи кучлар иши A орқали газ Q_2 совутгичдан иссиқлик миқдорини олиб Q_1 қисмини иситгичга беради. Натижада холодильник (совутгич) пайдо бўлади.



11.12-расм

Энтропия ва термодинамиканинг иккинчи қонуни

Термодинамиканинг иккинчи қонунини термодинамиканинг биринчи қонунига зид бўлса ҳам табиатда учрамайдиган жараёнлар орқали тушунтирамиз. Энтропия тушунчаси физик катталик сифатида биринчи бўлиб фанга 1860 йилда Клаузиус томонидан киритилган. Энтропия иссиқлик миқдоридан фаркли системанинг ҳолати функцияси ҳисобланади. Яъни система бу ҳолатда аниқ бир температурага, ҳажмга, босимга, массага ва энтропиянинг қийматига эга бўлади.

Клаузиуснинг фикрича, системанинг энтропияси системага берилаётган иссиқлик миқдорининг системанинг ўзгармас температурасига нисбати билан аниқланади:

$$\Delta s = \frac{Q}{T}, \quad (11.13)$$

бу ерда температура келвинларда берилади.

Ихтиёрий системанинг энтропияси ва ташқи муҳит энтропияларининг йиғиндиси барча табиий жараёнларда ортади.

Энтропия тушунчаси биз кўриб ўтганимиздек абстракт тушунча каби кўринади. Лекин биз буни анча оддийроқ бўлган тартиблилик ва тартибсизлик тушунчаси орқали

тушунтиришимиз мумкин. Энтропия тушунчаси системанинг тартибсизлиги каби ҳам қаралиши мумкин. У ҳолда термодинамиканинг иккинчи қонунини қуйидагича таърифлаш мумкин:

Табиий жараёнлар кўпроқ тартибсизлик ҳолатига томон ҳаракатланиш тенденциясига эга.

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Иссиқлик ҳаракати, қайтар ва қайтмас жараёнлар, Карно айланма жараёни, иссиқлик машинаси, фойдали иш коэффициенти (Ф.И.К), совитгич, иситгич, иш, иссиқлик миқдори, идеал газ, изотермик жараён, адиабатик жараён, цикл, температура.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Қандай шароитларда қайтарувчан жараёнларни кузатиш мумкин.
2. Иссиқлик машинасининг ишлашини тушунтиринг.
3. Совиткич машинасининг ишлаш принципини изоҳланг.
4. Айланма жараён деб қандай жараёнга айтилади.
5. Термодинамиканинг иккинчи қонуни қандай маънога эга.
6. Қачондирки механик энергия тўлиғинча иссиқлик ёки ички энергияга айланиши мумкинми? Тескариси бўлиши мумкинми?
7. Тушинтиринг, нима учун газ адиабатик сиқилганда унинг ҳарорати ортади?
8. Агар кўп бажарилган ишлар ерга ташланса, сиз уларни бир тартибда тақладингиз. Термодинамиканинг иккинчи қонуни бузиладими?
9. Газ кенгаймоқда (а) адиабатик ҳолатда, ва (б) изотермик ҳолатда. Хар бир жараёнда энтропиянинг ошиши боради, бунда камайдими ёки ўзгармасдан қоладими?
10. Сиз қандай ўйлайсиз 1 кг теми рёки 1 кг суюқ чугун ката энтропияга эга бўладими?

Амалий машғулот

11-мавзу. Қайтар ва қайтмас жараёнлар. Термодинамиканинг иккинчи қонуни

1. Иссиқлик двигатели 2250 Ж фойдали иш бажариб, 7250 Ж иссиқлик ишлаб чиқаради. Двигателнинг Ф.И.К нимага тенг?
2. Автомобиль двигателидаги бензин ёнганда 4 л бензиндан $3 \cdot 10^4$ ккал ажралади. Агар автомобиль 90 км/соат тезликда 33 км юриш учун ўртача 4 л бензин ишлатса. У ҳолда двигателнинг Ф.И.К нимага тенг?
3. 480°C ва 305°C бўлган температуралар билан термостат оралиғида ишлаётган иссиқлик двигателининг Ф.И.К нимага тенг?
4. Иссиқлик двигателини бераётган иссиқлиги (совутгич температураси) 280°C га тенг. Агар Карно циклининг Ф.И.К 32% тенг бўлиши учун иситгичнинг температураси нимага тенг бўлиши керак.

5. Карно максимал қийматининг ярмига тенг Ф.И.К билан ишлаётган двигателнинг исситгич ва совутгичларнинг температуралари мос равишда 525 ва 290°С. Двигатель 850 кВт қувватга эга бўлиб иш бажаради. У бир соат ичида қанча иссиқлик беради?

6. Карно двигатели 650 кВт қувватга эга бўлиб бир секундда 1250 ккал иссиқлик сарфлайди. Исситгич температураси 590°С, ортиқча иссиқлик берилганда музлатгич температураси нимага тенг.

7. Иссиқлик двигатели 610°С исситгичдан фойдаланиб Ф.И.К Карно Ф.И.К 27% га тенг, Ф.И.К ни 35% га кўтариш учун исситгич температураси қандай бўлиши керак.

8. Исситгич электростанциясида буғ двигатели жуфт бўлиб ишлайди. Уларнинг биридан чиқаётган иссиқлик бошқасида тўлиқ ютилади. Биринчи буғ двигателини исситгичи васовутгичининг температураси мос равишда 670 ва 430°С. Иккинчиси учун 420 ва 280°С га тенг. Агар кўмир ёнганида чиқаётган иссиқлиги $2,8 \cdot 10^7$ Ж/кг бўлса, станция 450 МВт қувват бериши учун ўчоғда кўмирни қандай тезликда ёқиш керак? Ҳар бир двигателнинг Ф.И.К максимал Карно Ф.И.К нинг 65% ташкил қилади деб ҳисоблансин.

9. Алюминий стержин 160 ккал/с тезликда 22°С температурага эга бўлган катта массага эга бўлган сувга иссиқлик ўтказди. Бу жараёнда энтропия қандай тезликда кўпаяди.

10. Агар 2,5 кг сув 0°С да музлаб ва шу температурада, температураси -10°С ли 45 кг музга тегиб музга айланса энтропиянинг тўла ўзгариши нимага тенг?

12. Агар иссиқлик ўтказувчанлиги 20°С температурадаги 2 кг сув, 80°С температурали 1 кг сувга қўшилса системанинг энтропияси ўзгариши нимага тенг?

13. Ҳар бирининг массалари 1400 кг бўлган автомобиллар 30 км/соат тезлик билан ҳаракатланиб, бир-бири билан тўқнашади ва тўхтади. Бу тўқнашишдан кейин оламнинг энтропияси қанчага ўзгаради.

14. 1 кг сувни 0°С дан 100°С гача қиздирилганда энтропиянинг ўзгаришини ҳисобланг?
а) Атрофнинг энтропияси ўзгарадими? Агар ўзгарса қандай катталиққа ўзгаради?

15. Карно холодильникни -17°С температурада музлатгич бўлишидан иссиқлик ютади ва 25°С температурада хонага узатади.

а) 25°С температурада 0,5 кг сувни -17°С температурали музга айлантириш учун музлатгич қандай иш бажаради?

б) Агар компрессор қуввати 200 Вт га тенг бўлса қандай максимал вақт мобайнида 25°С температурали 0,5 кг сувни 0°С гача совутиш мумкин?

16. Нима учун Карно циклидаги энтропияни ўзгариши нолга тенглигини кутиш керак. Шуни тасдиқловчи ҳисоблашни бажаринг.

17. Термодинамик жарёнларни PV, PT, ва TS (температура ва энтропия) диаграммалари билан тасвирлаш мумкин. а) Карно цикли учун TS диаграммаларини чизинг.

б) Бу диаграммадаги эгри чизик билан чегараланган юза нимани намоёни қилади.

а) агар дарё сувини сарфланиши 40 м³/с бўлса электростанциядан сувнинг қуйи оқимида дарё сувининг температураси қанчага ошади?

б) энтропиянинг ўзгариши нимага тенг?

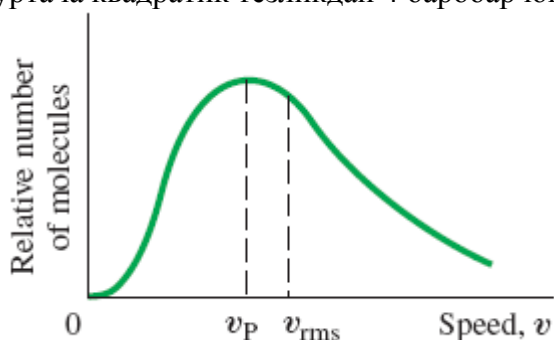
19. $t=10^0$ С ҳароратда $m=10$ г кислород $P=3 \cdot 10^5$ Н/м² ўзгармас босимда иситилгандан кейин газ кенгайиб $V=10$ л ҳажмни эгаллайди. 1) газнинг олган иссиқлик миқдори, 2) газ молекулаларининг истилгандан олдинги ва кейинги иссиқлик ҳаракат энергияси топилсин.

СТАТИСТИК ФИЗИКА АСОСЛАРИ.

Режа

1. Газ молекулалари тезлик ва энергиянинг абсолют қийматлари бўйича тақсимоти.
2. Максвелл тақсимоти.
3. Ўртача ва эҳтимолли тезликлар.
4. Максвелл тақсимоти. Барометрик формула.
5. Больцман тақсимоти

Газ молекулалари ҳар қандай йўналишда ҳаракатланади, бу эса ўртача квадратик тезлик ва бошқа тезликлардан кўра кўпгина молекулаларнинг тезлигини кўп эканлигини кўрсатади. 1859 йил Жеймс Кларк Максвелл (1831-1879), газдаги молекулаларнинг тезлигининг тақсимотини 12-1 расмда графигида кўрсатилган маълумотларни кинетик назария асосида олган. Бу тезликларнинг Максвелл тақсимоти сифатида ҳаммага маълум. Тезликлар вариацияси нольдан ўртача квадратик тезликдан анча фарқ қилади, лекин кўпгина газларнинг тезликлари графикда кўрсатилганидек, ўртача квадратик тезликдан унчалик фарқ қилмайди. 1% дан кам молекулаларда тезлик ўртача квадратик тезликдан 4 баробар юқори.



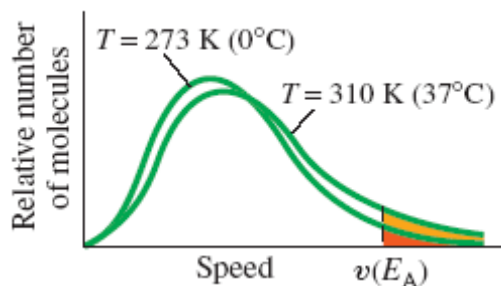
12-1-расм. Идеал газ молекулаларини тезлик тақсимоти. Ўқт эгри чизикни энг юқори нуктаси эмас (бу тезлик “эҳтимоллий тезлик” дейилади). Чунки бу эгрилик тўғри тушади: симметрик эмас.

Реал газларнинг молекуляр тезлик тақсимотини аниқлашдаги тажрибалар 1920 йиллардан бошлаб, Максвелл тақсимотини ва ўртача кинетик энергия балан абсолют ҳарорат орасидаги тўғри боғланишини катта аниқликда тасдиқлади.

Математик тақсимот $\Delta N = C v^2 \exp\left(-\frac{1}{2} m v^2 / kT\right) \Delta v$ берилган, бу ерда ΔN - v тезликка ва ўзаро $v + \Delta v$ тезликка эга бўлган молекулалар сони ва \exp - доимий катталиқ бўлиб, қавсдаги ифода даражага кўтарилган деган маънони билдиради “натурал сон” $e=2.718\dots$

12-2- расм икки хил ҳарорат учун Максвелл тақсимотини кўрсатади. ҳарорат ортиши билан ортгани каби, юқори ҳароратда эгри чизик тақсимоти ўнг томонга силжийди.

Кинетик назария суюқ ва эритма ҳолига яқин шароитда ҳам ишлатилади. 12-2 расм нима учун кўпгина кимёвий реакциялар, шунингдек биологик хужайралар ҳам ҳарорат ортиши билан тезлашишини, кинетик назария тушунтиришини кўрсатади. Кўпгина кимёвий реакциялар суюқликларда ва эритмаларда Максвелл тақсимотига яқин содир бўлади. Қачонки иккита молекуланинг кинетик энергиялари юқори, бир бирига урилганда ва айрим катталикининг E_A (активация энергияси дейиладиган) қийматлари минимал, бўлгандагина улар ўзаро реакцияга киришади. 12-2 расм юқорида ҳароратларда кўпгина молекулалар юқори тезликка ва E_A чегарасиданда юқори кинетик энергияга KE эга бўлишини кўрсатади.



12-2-расм. Икки хил ҳароратли молекулаларнинг тезлигининг тақсимоти.

Газ молекулалари тезлигининг абсолют қийматлари бўйича тақсимоти. Газ молекулаларининг тезлиги ҳар хил бўлади ва узлуксиз равишда ўзгариб (камайиб ва кўпайиб) туради. Молекулалар сонини n ва уларнинг тезликларини v_i билан белгилаймиз. У ҳолда $\frac{1}{n} \cdot \sum v_i^2$ ифода молекулаларнинг ўртача квадратик тезлиги деб аталади ва уни u билан белгилаймиз. Идеал газ молекуласининг илгариланма ҳаракати ўртача кинетик энергияси u орқали қуйидагича ифодаланади.

$$\bar{W} = \frac{mu^2}{2} \quad (12.1.)$$

Молекуланинг тезлиги температурага (T га) боғлиқ бўлганлиги учун \bar{W} ҳам T га боғлиқ бўлиши керак. Температура орқали ўртача кинетик энергия қуйидагича белгиланади:

$$\bar{W} = \frac{3}{2} kT \quad (12.2.)$$

k – Больцман доимийси. Бу икки ифода бир - бирига тенг: $\frac{mu^2}{2} = \frac{3}{2} kT$

Бу тенгликдан молекула ўртача квадратик тезлигининг температурага қандай боғлиқлигини топамиз:

$$u = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{N_A m}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad (12.3)$$

Бу ерда N_A - Авагадро сони ва $N_A m = \mu = 1$ киломоль газнинг массаси. Демак, берилган газ учун молекулалар ўртача квадратик тезлиги фақат температурага боғлиқ ва \sqrt{T} га тўғри пропорционал экан.

Хаво молекулаларини тезлиги¹. Хаво молекулаларини (O_2 ва N_2) хона ҳароратида ($20^\circ C$) ўртача квадратик тезлигини қандай?

Ёндашув: аввал бизга O_2 ва N_2 молекулаларининг массаси зарур бўлади ва 13-9 тенгламага қўйиб, кислород ва азот учун алоҳида ўқт ни аниқлаймиз чунки уларнинг массалари турлича.

Ечими: кислороднинг битта молекуласининг массаси (молекуляр массаси=32 а.м.б.) азотники эса, (молекуляр массаси=28 а.м.б.) (бу ерда 1 а.м.б.= $1.66 \cdot 10^{-27}$ кг)

$$m(O_2) = (32)(1.66 \times 10^{-27}) = 5.3 \times 10^{-26} \text{ кг}$$

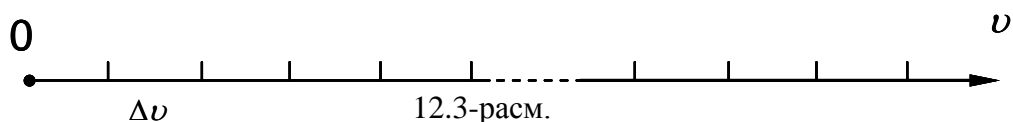
$$m(N_2) = (28)(1.66 \times 10^{-27}) = 4.6 \times 10^{-26} \text{ кг}$$

Шундай қилиб, кислород

$$v_{\text{ўқт}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{(3) \left(\frac{1.38 \times 10^{-23} \text{ Ж}}{\text{К}} \right) (293 \text{ К})}{(5.3 \times 10^{-26} \text{ кг})}} = 480 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

ва азот учун эса $v_{\text{ўқт}} = 510 \text{ м/с}$.

Демак, хона температурасида газ молекулалари снаряд тезлигига яқин тезликлар билан ҳаракат қилар экан. Ҳақиқатда эса газ молекулалари ҳар хил тезликлар билан ҳаракат қилади. Тезликлар қийматининг бутун диапозонини бир - бирига тенг Δv интервалларга бўлиб чиқамиз (12-3. Расм).



Максвелл тақсимооти. Фараз қилайлик, ҳар бир Δv интервалга Δn та молекула тўғри келсин. У ҳолда $\frac{\Delta n}{\Delta v}$ муносабат тезликнинг бирлик интервалига қанча молекула тўғри келишини билдиради, бошқача айтганда, биз молекулаларнинг тезлик бўйича тақсим бўлишини топамиз. Албатта $\frac{\Delta n}{\Delta v}$ муносабат тезликка боғлиқ ва у молекулаларнинг тезликлар бўйича тақсимот функцияси деб аталади, уни фанга ингилиз олими Максвелл назарий йўл билан киритган:

$$f(v) = \frac{\Delta n}{\Delta v} = n \left(\frac{\mu}{2RT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{\mu}{2RT} v^2} v^2 \quad (12.4.)$$

n – молекулаларнинг умумий сони. Бу функсия $v \rightarrow 0$ ва $v \rightarrow \infty$ бўлганда нолга

интилади. $v = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$ да эса максимал қийматга эришади. $v_a = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$ тезлик

эҳтимоллиги энг катта тезлик деб аталади ва унинг ёнидаги бирлик Δv интервалга молекулаларнинг энг кўп миқдори тўғри келади.

Газлар гравитацион майдонда. Барометрик формула. Атмосфера Ердан ўзоқлашиб кетаолмайди, чунки Ер уни тортиб туради. $T=0^0$ бўлганда ҳамма газлар Ер устига тўпланиши керак, T ошабошласа ҳаотик ҳаракат газни Ердан ўзоқлаштиради. Тортиш ва кенгайишнинг ўзаро кураши натижасида мувозанат ҳосил бўлади, бунда газнинг

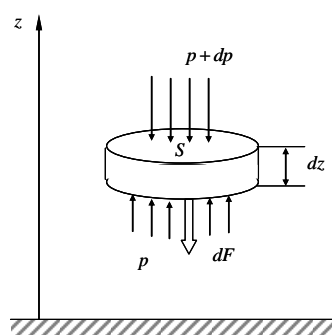
концентрацияси E_r устида максимал бўлади ва E_{rdan} ўзоқлашган сари камаяди. Биламизки босим $p = nkT$.

Демак, E_{rdan} тепага кўтарилган сари n камаяди, шунинг учун атмосфера босми p ҳам камаяди. Босимнинг баландликка боғлиқлигини ифодалайдиган формула Барометрик формула деб аталади. Баъзибир соддалаштиришларни киритамиз:

1. 100 - 200 км баландликда атмосфера босми жуда кичик бўлиб қолади, лекин g деярли ўзгармайди, чунки 100 км масофа, E_r радиуси $R_{yer} = 6370km$ дан анча кам.
2. Босим E_r га яқин жойларда ҳам катта эмас, шунинг учун ҳавони идеал газ деб қарасак ҳам бўлади.
3. Температура юқорига чиққан сари бир неча ўн градусга ўзгаради. Шунинг учун температурани $const$ ва 300^0C деб оламиз, бошқача айтганда атмосферани изотермик система деб қараш мумкин.

Цилиндрик кичик ҳажмни z баландликда оламиз ва тепадан таъсир қилаётган босимни $p + dp$ ($dp < 0$) ва пастдан таъсир қилаётган босмни p билан белгилаймиз. Бундан ташқари ҳар бир m массали атомга mg оғирлик кучи таъсир қилади. Бу ҳажмда ҳаммаси бўлиб $nSdz$ та атом бор, уларга

$$dF = mgnSdz$$



12.4-расм.

Оғирлик кучи таъсир қилади. Ана шу учта куч таъсирида цилиндр жим туради, $\sum F_i = 0$

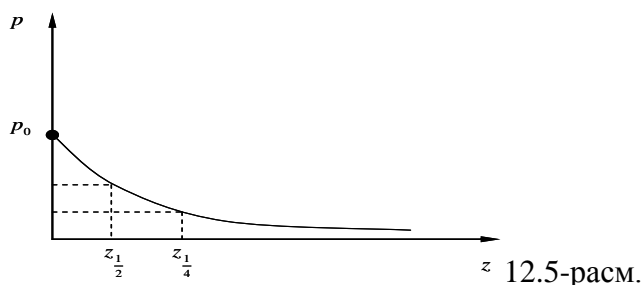
$$nmgSdz + (p + dp)S - pS = 0$$

Бундан топамиз: $dp = -nmgdz$

$$p = nkT \quad \text{дан} \quad n = \frac{p}{kT} \quad \text{ва} \quad dp = -p \frac{mg}{kT} dz \quad \text{ва} \quad \frac{dp}{p} = -\frac{mg}{kT} dz$$

$$\ln p = -\frac{mgz}{kT} + C \rightarrow C = \ln p_0 (z=0, p=p_0). \text{ Бундан } p = p_0 e^{-\frac{mg}{kT}z} \quad \frac{m}{k} = \frac{mN_A}{kN_A} = \frac{\mu}{R} \quad \text{бўлгани}$$

учун $p = p_0 e^{-\frac{\mu g z}{RT}}$ (12.5)- барометрик формула. Бу қонуният расмда кўрсатилган.



$z_{\frac{1}{2}}$ - босим икки марта камаядиган баландлик. $z_{\frac{1}{2}}$ ни топамиз.

Таъриф бўйича $p\left(z_{\frac{1}{2}}\right) = \frac{1}{2} p_0$. Формулага қўямиз ва лагорифмлаймиз;

$$z_{\frac{1}{2}} = \frac{RT}{\mu g} \ln 2 = 0,693 \frac{RT}{\mu g}$$

$$\text{Атмосфера учун } \mu = 29 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \quad z_{\frac{1}{2}} = 0,693 \frac{8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} 293}{29 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} 9,8} = 6 \cdot 10^3 = 6 \text{ km}$$

$z_{\frac{1}{2}} = 12 \text{ km}$ - демак 12 км баландликда $p = \frac{p_0}{4}$. $p \sim n$ бўлгани учун барометрик формуладан

$$\text{топамиз; } n(z) = n_0 e^{-\frac{mgz}{kT}}$$

Больцман тақсимооти. Ер устида $n_0 = \frac{p_0}{kT}$; Лекин $mgz = u$; - бу битта атомнинг (молекуланинг) z баландликдаги потенциал энергиясидир. Шунинг учун ёзиш мумкин:

$$n(z) = n_0 e^{-\frac{u(z)}{kT}} \quad (12.6) - \text{Больцман тақсимооти.}$$

Концентрациянинг баландлик бўйича ўзгариши шу баландликдаги потенциал энергия билан хаотик ҳаракат энергияси ўртасидаги муносабатга боғлиқ.

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Молекула, тезлик, ўртача арифметик тезлик, ўртача квадратик тезлик, тақсимоот функция, Максвелл тақсимооти, концентрация, баландлик, Больцман тақсимооти, температура, босим, барометрик формула.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Молекулалар сонининг тезлиги бўйича тақсимот функцияси деган иборанинг физик маъноси қандай.
2. Максвелл тақсимотининг графигини чизинг.
3. Барометрик формула қандай параметрларни ўзаро боғлайди.
4. Больцман тақсимоти қандай физик катталигининг нима бўйича тақсимотини белгилайди.
5. Максвелл тақсимот функциясидан фойдаланиб, эҳтимоли энг катта бўлган тезликни қандай аниқлаш мумкин.
6. Баланшлик ортиши билан атмосфера босимининг қиймати камайиб бориши температура ва атмосфера таркибидаги молекулаларнинг массасига боғлиқми.
7. Идеал газ герметик идишда турибди. Газ молекулаларининг ўртача кинетик энергияси нимага боғлиқ?
8. А ва В идеал газлар бир хил ҳароратга эга. Агар А газдаги молекулаларнинг молекуляр массаси В газга қараганда, икки марта катта бўлса, молекулаларнинг ўртача квадратик тезлиги

Амалий машғулот

Газ молекулаларининг абсолют қийматлари бўйича тақсимоти. Максвелл тақсимоти.

1. (а) нормал шароитдаги азотнинг ўртача кинетик энергияси қандай? (б) 1,0 моль молекулани 25 ° С даги кинетик энергиясини топинг?
2. Қуёш сирти яқинидаги гелий атомларининг ўртача квадратик тезлигини аниқланг. Ҳарорат 6000 К атрофида.
3. Ҳарорат 20 ° С дан 160 ° С гача ортса, ўртача квадратик тезлик қанчага ортади?
4. Газ 20 ° С ҳароратда турибди. Ўртача квадратик тезликни уч марта ортириш учун ҳароратни қандай қийматгача ортириш керак?
5. Агар 22 ° С ҳароратдаги молекула кинетик энергиясига эга бўлса, 1 гр қоғоз скепкасининг тезлиги қандай бўлади?
6. 20,0 ° С ҳароратдаги газ молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги 4,0% га ортиши учун ҳароратни қанчага ортириш керак?
7. Ҳажм ўзгармаганда, агар босим уч марта ортса, қайси катталик ўзгаради?
8. Газнинг ўртача квадратик тезлигини $v_{\text{ўкт}} = \sqrt{3P/\rho}$, ифодаланишини келтириб чиқаринг, бу ерда Р-босим ва ρ -зичлик.
9. Бир хил ҳароратдаги икки газ аралашмасини ўртача квадратик тезлигини молекуляр массалари ёрдамида солиштирилишини исботланг.
10. 2100 моль азот молекуласининг 8.5 m³ ҳажмдаги ва 2,9 атм босимидаги ўртача квадратик тезлигини аниқланг.
11. Ураннын 2 изотопи ²³⁵U ва ²³⁸U (даражадаги сонлар атом массасига тегишли), уларни диффузия жараёни ёрдамида фтор билан бириктириб UF₆ газ ҳолатига келтирилган. Ўзгармас ҳароратда икки изотоп молекулаларни ўртача квадратик тезлигини ҳисобланг. В иловадан фойдаланиб массани топинг.

- 12.(а) 0°C да кислород молекуласининг ўртача квадратик тезлигини ва (б) 5 м узунликдаги хонада секундига неча марта молекулалар ўзаро урилишини ҳисобланг.³⁸
13. Водород $P=200 \text{ мм.с.м.уст.}$ босимда унинг ўртача квадратик тезлиги 2400 м/с бўлса 1 см^3 ҳажмда неча водород молекуласи бор.
14. Маълум газ мавжуд, унинг зичлиги $\rho=6 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$ шу газнинг молекуласининг ўртача квадратик тезлиги 500 м/с . Газнинг босимини аниқланг.
15. $t=20^\circ \text{C}$ да водород молекуласининг импульсини аниқланг. Тезлик сифатида ўртача квадратик тезлик қийматини олинг.
16. Ҳажми $V=2 \text{ л}$ бўлган идишда $m=10 \text{ г}$ кислород бор. Унинг босими $P=10^5 \text{ Н/м}^2$. Газнинг зичлигини ва ўртача квадратик тезлигини топинг.
17. Маълум газ молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги 450 м/с , газ босими $P=5 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$. Шу газ зичлигини топинг.
18. Зичлиги $\rho=8,2 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^3$ бўлган, $P=1 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ босимда бўлган газнинг молекулалари ўртача квадратик тезлигини топинг. $t=17^\circ \text{C}$ да шу зичликда газнинг 1 киломоль массасини топинг.
19. Бирор газ молекуласининг ўртача квадратик тезлиги нормал шароитда 461 м/с . Шу газнинг $m=1 \text{ г}$ массасида қанча молекула бор?
20. Массаси $m=20 \text{ г}$ бўлган кислороднинг $t=10^\circ \text{C}$ ҳароратдаги иссиқлик ҳаракат энергияси топилсин. Шу энергиянинг қанча қисми илгариланма ҳаракатига ва қанча қисми айланма ҳаракатига тўғри келади.
21. Ҳаво молекуласи иссиқлик ҳаракат қилмоқда. $t=15^\circ \text{C}$ да $m=1 \text{ г}$ ҳаво молекуласининг иссиқлик энергияси қанча. Ҳаво учун $\mu=29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ деб олинсин.
22. $m=1 \text{ кг}$ азот молекулаларининг $t=7^\circ \text{C}$ ҳароратда айланма ҳаракат энергиясини аниқланг.
23. Икки атомли газ мавжуд. У ҳажми $V=2 \text{ л}$ бўлган идишда сақланмоқда. Босими $P=1,5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$. Шу газ энергиясини аниқланг?
24. Ҳажми $0,02 \text{ м}^3$ бўлган баллондаги азот молекуласининг кинетик энергияси $E_k=5 \cdot 10^3 \text{ Ж}$, молекуланинг ўртача квадратик тезлиги $2 \cdot 10^3 \text{ м/с}$. Баллонда қанча азот бор. Баллондаги босим қанча.

РЕАЛ ГАЗЛАР

Режа

1. Реал газлар. Ван-дер-Ваальс тенгламаси.
2. Ван-дер-Ваальс изотермалари.
3. Критик ҳолат.
4. Реал газларнинг ички энергияси. Жоуль-Томсон эффекти

Реал газлар.

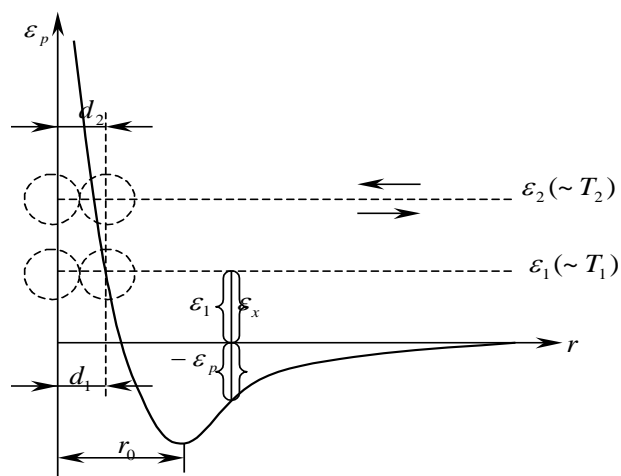
³⁸ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, 433-435 б

Реал газларнинг характери босим унча юқори бўлмаган, температура эса етарлича юқори бўлган ҳоллардагина:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT$$

тенглама билан анча яхши тавсифланади. Босим ортиши ва температура камайиши билан бу тенгламадан анча четланишлар кузатилади. Босим ортганда газнинг зичлиги ортади, бу эса молекулалар орасидаги ўртача масофанинг камайишига олиб келади, шунинг учун молекулаларнинг ҳажми ва улар орасидаги ўзаро таъсир муҳим роль ўйнай бошлайди.

Молекулалар орасидаги ўзаро таъсир характери 1-расмда келтирилган эгри чизик ёрдамида кўрсатиш мумкин. Бу эгри чизик икки молекуланинг ўзаро потенциал энергиясини шу молекулаларнинг марказлари орасидаги r масофанинг функцияси сифатида тасвирлайди. Бу эгри чизикни ясада бир-биридан чексиз катта масофада турган молекулаларнинг потенциал энергияси нолга тенг деб олинган.



Потенциал энергиянинг r масофа функцияси сифатидаги ифодасини билган ҳолда молекулалар бир-биридан ҳар хил масофада турганида қандай қуч билан ўзаро таъсирлашишини аниқлаш мумкин. Бунинг учун механикадан маълум бўлган:

$$F = -\frac{d\varepsilon_p}{dr}$$

муносабатдан фойдаланиш керак. Бу ердаги “—” ишора шунини билдирадики, молекулаларнинг ўзаро таъсир кучлари уларни энг кичик потенциал энергияли ҳолатга келтиришга интилади. Бинобарин, молекулалар орасидаги масофалар r_0 дан ортиқ бўлганда улар орасида ўзаро тортиш кучлари таъсир қилади, молекулалар орасидаги масофалар r_0 дан кичик бўлганда эса улар орасида итариш кучлари таъсир қилади. Эгри чизикнинг тегишли жойдаги тиклиги кучнинг катталигини кўрсатади.

Молекулалар орасидаги ўртача масофа камайгани сари, яъни газ зичлиги ортгани сари молекулалар орасида тортишиш кучларининг роли тобора ортади.

Ван-дер-Ваальс тенгламаси

Реал газларнинг характери ифода этиш учун берилган жуда кўп тенгламалар ичида Ван-дер-Ваальс тенгламаси энг содда бўлиши билан бирга жуда яхши натижалар беради. Бу тенглама $pV_m = RT$ тенгламага тузатмалар киритиш йўли билан ҳосил қилинган бўлиб, қуйидагича кўринишга эгадир:

$$\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT \quad (1)$$

бу ерда p -газга ташқаридан кўрсатилаётган босим (бу босим газнинг идиш деворларига кўрсатадиган босимига тенг), a ва b -Ван-дер-Ваальс доимийлари бўлиб, ҳар хил газлар учун ҳар хил қийматга эга, бу қийматлар тажриба йўли билан топилади. Агар босим квадрат метрга ньютон ҳисобида, ҳажм молга куб метр ҳисобида ифодаланса, a доимийнинг ўлчамлиги $\text{н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$, b доимийнинг ўлчамлиги $\text{м}^3/\text{моль}$ бўлади. Баъзан a доимий $\text{ат}\cdot\text{л}^2/\text{моль}^2$ билан, b доимий эса $\text{л}/\text{моль}$ билан ҳам ифодалансади. b доимий молекулалар ўлчамлари чекли бўлгани туфайли ҳажмнинг молекулалар ҳаракат қилолмайдиган қисмини аниқлайди. Бу доимий молекулалар ҳажмининг тўртланганига баравар.

a/V_m^2 тузатма молекулаларнинг бир-бирига ўзаро тортишиши туфайли ҳосил бўладиган p_i ички босимни ифодалайди. Агар молекулалар ўртасида ўзаро таъсир тўсатдан йўқ бўлиб қолса эди, у ҳолда газни ўша ҳажмда сақлаб қолиш учун ташқи босимни p_i ички босимга тенг миқдорда орттиришга тўғри келган бўлар эди. (1) тенглама бир моль газ учун ёзилган. z моль газга мос келувчи ихтиёрий m массали ($z=m/\mu$) газга оид тенгламага ўтиш учун ўша шароитда унинг z марта ортиқ ҳажм эгаллашини, яъни: $V= zV_m$ бўлишини ҳисобга олиш керак. (1) да V_m ўрнига V/z қўйиб, қуйидаги тенгламани

топамиз:

$$\left(p + \frac{z^2 a}{V^2}\right) \left(\frac{V}{z} - b\right) = RT$$

Бу тенгламани z га кўпайтириб ва қуйидаги:

$$a' = z^2 a; \quad b' = zb \quad (2)$$

белгиларни киритиб, z моль газга оид Ван-дер-Ваальс тенгламасини ҳосил қиламиз:

$$\left(p + \frac{a'}{V^2}\right) (V - b') = zRT \quad (3)$$

Ван-дер-Ваальснинг z молга оид доимийлари a' ва b' ҳарфлари билан белгиланган. Бу доимийлар билан a ва b орасидаги боғланиш (2) муносабатлар орқали берилади. a' нинг ўлчамлиги $\text{н}\cdot\text{м}^4$, b' доимийнинг ўлчамлиги ҳажмнинг ўлчамлиги билан бир хил.

Зичлиги камайганда барча реал газларнинг хоссалари идеал газ хоссаларига яқинлашгани учун, ҳажм чексизликка интилгандаги лимитда Ван-дер-Ваальс тенгламаси идеал газ ҳолати тенгламасига айланади. Бунга ишонч ҳосил қилиш учун, pV кўпайтма тахминан ўзгармай қолишини ҳисобга олмоқ ҳамда (3) тенгламада p ва V ни қавсдан ташқарига чиқармоқ керак:

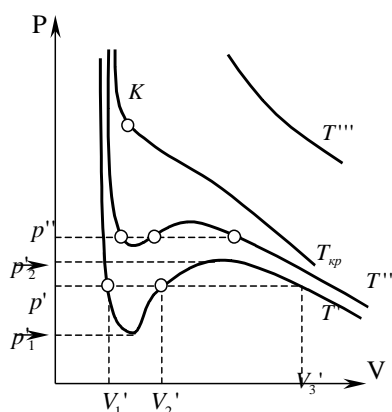
$$pV \left(1 + \frac{1}{pV} \frac{a'}{V}\right) \left(1 - \frac{b'}{V}\right) = zRT \quad (3) \text{ тенгламада}$$

қавсларни очиб чиқиш ва ҳосил бўлган ифодани V^2 га кўпайтириб, Ван-дер-Ваальс тенгламасини:

$$pV^3 - (b'p + zRT)V^2 + a'V = a'b' \quad (4)$$

кўринишга келтириш мумкин. Ҳосил бўлган бу тенглама V га нисбатан кубик тенглама бўлиб, унинг коэффицентлари p ва T параметрларга боғлиқ. Коэффициентлари ҳақиқий бўлган озод ҳадли куб тенглама учта ечимга эга бўлади. Коэффициентлар орасидаги муносабатнинг қандай бўлишига қараб учала ечим ҳақиқий бўлиши ёки биттаси ҳақиқий, қолган иккитаси комплекс бўлиши мумкин. Ҳажм фақат ҳақиқий бўла олгани учун комплекс ечимлар физик маънога эга эмас.

2-расмда температуранинг бир қанча қийматларига оид Ван-дер-Ваальс изотермалари тасвирланган. Температура T' бўлиб, босим p'_1 дан p'_2 гача соҳада ўзгарганда (4) тенгламанинг коэффицентлари шундай бўладики, унинг учала ечими ҳам ҳақиқий бўлади; босимлар қиймати бошқача бўлганда унинг фақат битта ечимигина ҳақиқий бўлади. Температура кўтарилиши билан тенгламанинг учта ҳақиқий ечими орасидаги фарқ камаяди (T' ва T'' изотермаларни солиштиринг: $T'' > T'$). Ҳар бир модда учун ўзига хос бўлган маълум бир $T_{кр}$ температурадан бошлаб ҳар қандай босимда (4) тенгламанинг фақат битта ечими ҳақиқий бўлиб қолаверади. $T_{кр}$ температура критик температура деб аталади. Агар температура орттира борилса, тенгламанинг V'_1 , V'_2 ва V'_3 ечимларга мос келувчи нуқталар бир-бирига тобора яқинлашиб, критик нуқтада устма-уст тушади, бу нуқта 2-расмда K ҳарф билан белгиланган. K нуқта критик нуқта деб аталади. Тегишли изотерма учун K нуқта бурилиш нуқтасидир. Бу нуқтада (4) тенгламанинг учала ҳақиқий ечими бир хил бўлади. Критик изотермага K нуқтада ўтказилган уринма температура критик температурага интилган ҳолда p' , p'' ва ҳоказо кесувчилар интиладиган лимитдир.



Бинобарин, бу уринма барча кесувчилар каби, V ўқиға параллелдир, шунинг учун $\frac{dp}{dV}$ ҳосила K нуқтада нолга тенг. Ундан ташқари, бурилиш нуқтасида $\frac{d^2p}{dV^2}$ иккинчи ҳосила нолга тенг бўлиши керак.

(1) тенгламани p га нисбатан ечамиз:

$$p = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a}{V_m^2} \quad (5)$$

Бу ифодани V_m бўйича дифференциаллаймиз:

$$\frac{dp}{dV_m} = -\frac{RT}{(V_m - b)^2} + \frac{2a}{V_m^3}, \quad \frac{d^2p}{dV_m^2} = \frac{2RT}{(V_m - b)^3} - \frac{6a}{V_m^4}$$

Критик нуқтада, яъни уларга $T = T_{кр}$, $V_m = V_{m,кр}$ қийматлар қўйилганда бу ифодалар нолга айланиши керак:

$$-\frac{RT}{(V_{m,кр} - b)^2} + \frac{2a}{V_{m,кр}^3} = 0, \quad \frac{2RT_{кр}}{(V_{m,кр} - b)^3} - \frac{6a}{V_{m,кр}^4} = 0$$

Бу тенгламалар K нуқта учун ёзилган:

$$p_{кр} = \frac{RT_{кр}}{V_{m,кр} - b} - \frac{a}{V_{m,кр}^2}$$

(5) тенглама билан бирга $P_{кр}$, $V_{m, кр}$ ва $T_{кр}$ номаълумли учта тенглама ҳосил қилади. Бу тенгламалар системасининг ечими қуйидаг

$$V_{m,кр} = 3b, \quad P_{кр} = \frac{a}{27b^2}, \quad T_{кр} = \frac{8a}{27bR}$$

Шундай қилиб, Ван-дер-Ваальснинг a ва b доимийлари билган ҳолда критик нуқтага тегишли $V_{m, кр}$, $P_{кр}$ ва $T_{кр}$ катталикларни топиш мумкин экан, улар критик катталиклар деб аталади. Аксинча, критик катталикларнинг қийматларига қараб Ван-дер-Ваальс доимийларининг қийматларини топиш мумкин.

Критик катталикларнинг ифодаларидан:

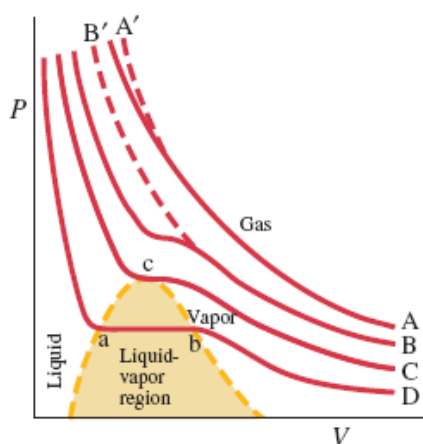
$$P_{кр} V_{m,кр} = \frac{3}{8} RT_{кр}$$

эканлиги келиб чиқади, ваҳоланки идеал газнинг ҳолат тенгламасига асосан:

$$P_{кр} V_{m,кр} = RT_{кр} \text{ тенглик бажарилиши керак эди.}$$

Ван-дер-Ваальс изотермалари. Идеал газ қонуни, реал газларнинг босими юқори бўлмаганда, ҳарорат суюқлаштириш нуқтасидан узоқ бўлмаганда ўринлидир. Лекин бу икки шарт бажарилмаганда нималар содир бўлади? Аввал, реал газларнинг ҳаракатини кўриб чиқамиз, кейин эса, бу ҳолатни кинетик назария нуқтаи назаридан тушунишга ҳаракат қиламиз.

Келинг, берилган модда миқдорига чизилган босимнинг ҳажмга боғланган графигини кўриб чиқамиз. Бундай PV диаграммада, 13-1 расмда ҳар бир нуқта модданинг босим ва ҳажмни мувозанат ҳолатини тасвирлайди. Турли эрги чизиклар (A , B , C ва D билан белгиланган) доимий ҳароратда, тўрт хил қийматда T_A , T_B , T_C ва T_D босимни ҳажмга боғлиқ ҳолда ўзгаришини ва қизил пунктир чизиклар A^1 газнинг ҳулқини кўрсатади.



13-1 расм. Реал газларда PV диаграммаси. A , B , C ва D эрги чизиклар бир хил моддани турли ҳароратда ифодалайди.

Яъни, $PV = \text{const}$. Тўғри эгри чизик A реал газнинг ўша ҳароратдаги ҳолатини кўрсатади. Юқори босимда идеал газдагига қараганда реал газларнинг ҳажми кам эканлигига эътибор беринг. B ва C эгри чизиклар 13-1 расмда кўрсатилагидек, кетма кет паст ҳароратда газ идеал газга нисбатан энада эгрилашишини кўрамиз (масалан B^1) ва бу эгриланиш газнинг суюқлашиши яқинлашган сари ортади.

Бундай ҳолатни тушунтириш учун, юқори босимда молекулалар бир бирига яқин эканига эътибор беринг. Жуда паст ҳароратда эса, потенциал энергия унча катта бўлмасада, молекулаларнинг ўзаро тортишиш кучига боғлиқ (олдин ҳисобга олмаган эдик). Бу тортишиш кучлари идеал газ ҳолатидан кутилганиданда, молекулаларни бир бирига тортиб, ҳажмни камайтиради. Лекин, жуда паст ҳароратларда бу кучлар яна ҳам тортишади ва молекулалар бир бирига жуда яқин келади.

Эгри чизик Д, модданинг суюқлашиш ҳолатини кўрсатади. Паст босимда Д эгри чизик (13-1 расмнинг ўнг томонида) модда газ ҳолатида бўлиб, катта ҳажми эгаллайди. Босим ортганда, ҳажм б нуктагача камаяди. Босим ўзгармаган тарзда б нуктадан а нуктагача ҳажм камаяди; модда секин аста газ ҳолатидан суюқ ҳолатга ўтиб боради. Ҳамма модда а нуктада суюқ ҳолатга ўтади. Босимни ортиши ҳажмни унчалик камайтирмайди, расмда жуда эгри чизик билан кўрсатилган. Сарик рангдаги штрихланган қисмдаги пунктир чизиклар газ ва суюқлик бир мувозанатда эканини билдиради.

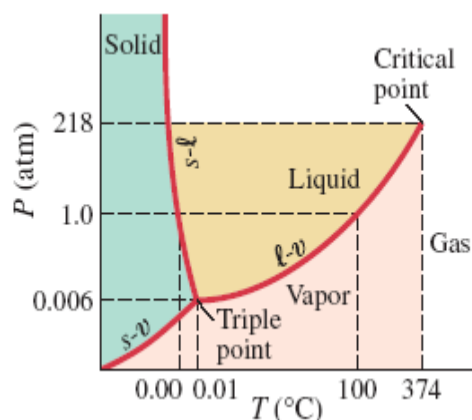
Эгри чизик С, 13-1 расмдаги критик ҳароратдаги модданинг ҳолатини ифодалайди; с нукта (горизонтал С чизикдаги нукта) критик нукта дейилади. Критик ҳароратдан паст ҳароратда, агар босим етарлича бўлса, газ суюқ ҳолатга ўзгаради. Критик ҳароратдан юқори бўлганда (ва бу терминни аниқлаш), ҳеч қандай босим газни бошқа фазага ўтказолмайди ва суюқлашмайди. (Шундай қилиб, А ва В эгри чизиклар фақат газ ҳолатидаги температуралар эканлигини ифодалайди.)¹.

Критик ҳолат. Турли газлар учун критик ҳарорат 13-1 жадвалда берилган. Олимлар кўп йиллар давомида кислородни суюқлаштириш устида тажрибалари зоя кетган, чунки критик нукта бўлиши муҳим эди. Кислородни биринчи музлашида критик ҳароратдан паст -118°C ҳароратдагина суюқлаштириш мумкин.

<i>13.1 жадвал. Критик ҳарорат ва босим</i>			
<i>Моддалар</i>	<i>Критик ҳарорат</i>		<i>Критик босим (атм)</i>
	<i>°C</i>	<i>K</i>	
Сув	374	647	218
CO ₂	31	304	72.8
Кислород	-118	155	50
Азот	-147	126	33.5
Водород	-239.9	33.3	12.8
Гелий	-267.9	5.3	2.3

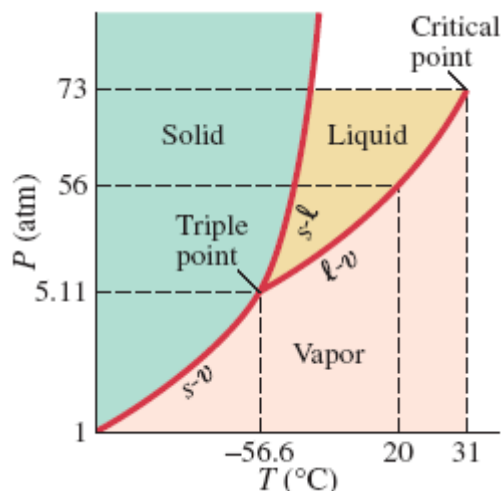
Кўпгина ҳолларда “газ” ва “пар” терминлари орасида тафоввот юзага келади: модданинг критик ҳароратидан паст ҳароратда газсимон ҳолат пар дейилади; критик ҳароратдан юқорид эса модда газ дейилади.

Модданинг ҳолати PV диаграммага схематик бўлиши мумкин, лекин PT диаграмма ҳам буни кўрсата олади. PT диаграмма одатда, фазавий диаграмма дейилади, айниқса, модданинг турли фазаларини таққослашда қулайдир. 13-2- расм сув учун фазавий диаграмма. I-v чизик суюқ ва пар фазаларини мувозанатда эканини билдиради, шунингдек, қайнаш нуктасини босим билан солиштириш мумкин.



13-2 расм. Сув учун фаза диаграммаси (шкала чизикли эмаслигига эътибор беринг).

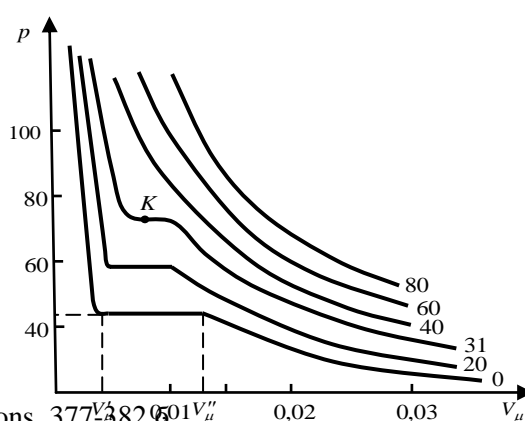
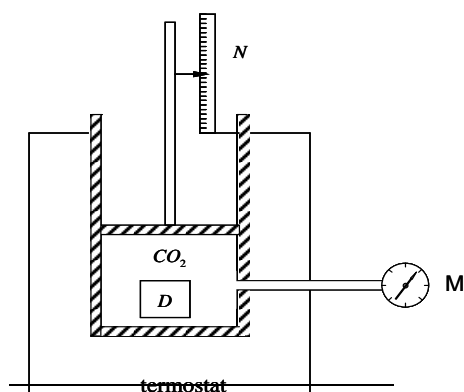
Эътибор беринг, эгри чизик 1атм босимида қайнаш ҳарорати 100°C ва босим кам бўлганда қайнаш ҳарорати мос равишда камайишини тўғри кўрсатади. Эгри чизик $s-l$, қаттиқ ва суюқ ҳолатлар мувозанатда эканини ифодалайди ва шундай қилиб, бу график музлаш нуқтасини босим билан солиштириш мумкинлигини кўрсатади¹.



13-3 расм. Углерод диоксида учун фаза диаграммаси.

1 атм.босимида сувнинг музлаш нуқтаси 0°C га тенглиги кўрсатилган. 13-22 расмга эътибор беринг, 1 атм.босимида 0°C дан 100°C гача бўлган ҳароратда модда суюқ ҳолатда бўлади, лекин ҳарорат 0°C дан паст ёки 100°C дан юқори бўлса, модда қаттиқ ёки пар фазасида бўлади. Эгри чизик $s-v$, босимга солиштирилганда *сублимация нуқтаси* ҳисобланади.³⁹

Амалда Ван - дер - Ваальс изотермаларининг бундай кўринишини қандай текшириб кўриши мумкин? Бундай текширишни 1869 йилда Ван - дер - Ваальс ўз тенгламасини чиқармасдан аввал, Эндрюс деган олим бажарган. Тажриба схемаси 13.4-расмда кўрсатилган. Поршен тагига 1 моль CO_2 гази киритилади. Газнинг босми ва ҳажми монометр M ва N шкала ёрдамида ўлчанади. Герметик равишда ёпилган шиша дераза D орқали цилиндр ичидаги газ кузатилиши мумкин. Цилиндр термостатга ўрнатилади. Агар газни 31°C дан юқори температурада сиқилса поршен тагига кўзга кўринадиган ҳеч қандай воқеа юз бермайди. Агар сиқиш $+31^{\circ}\text{C}$ дан паст температурада амалга оширилса, у ҳолда ҳажм маълум қийматга эришганда поршен тагида суюқлик томчилари (туман) пайдо бўлади, ва цилиндрнинг деворига ўтира бошлайди. Провардида цилиндр бутунлай суюқликка тўлиб кетади. Газнинг суюқликка айланиши ўзгармас босмда юз беради (13-5 расмга қаранг).



³⁹ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, 377-382

Демак, экспериментал изотермаларнинг горизонтал қисми («платаси») газнинг суюқликка айланиши жараёнинг англатади. Платада суюқлик ва газ биргаликда «яшайди», V'_μ ва V''_μ оралиғида ҳажм V'_μ дан кичик бўлганда CO_2 газнинг ҳаммаси суюқликка айланган бўлади. Иккала ҳам назарий, ҳам амалий изотермаларни солиштирсак улар бир - бирига ўхшаш эканлигини кўриш мумкин, фақат битта фарқи шу ердаки, газнинг суюқликка айланиши Эндрюс изотермасида платада юз беради, Ван - дер - Ваальс изотермасида - тўлқинсимон участкада.

Реал газларнинг ички энергияси. Жоуль-Томсон эффекти. Техникада газларни суюлтириш учун мусбат Жоуль - Томсон эффектига асосланган Линде машинаси ишлатилади. Жоуль - Томсон эффектининг 2 хили бор:

1. Бошланғич паст температурада ҳамма газлар кенгайганда совийдилар (мусбат Жоуль - Томсон эффекти).

2. Бошланғич юқори температурада ҳамма газлар кенгайганда исийдилар (манфий Жоуль - Томсон эффекти).

Бу эффектни реал газ ички энергияси нуқтаи назаридан таҳлил қиламиз. Реал газлар ички энергияси молекулаларнинг кинетик ва потенциал энергиялари йиғиндисидан иборат. Агар газ ташқи иш бажармасдан кенгайса ва ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмаса, унинг ички энергияси ўзгармай қолиш керак.

$$W = W_k + W_\Pi = \text{const} \quad (13.4.)$$

1. Бошланғич кичик температурада молекулалар ўртасидаги ўртача масофа r тортишиш кучлари максимал бўладиган масофа r_m дан кичик бўлади. Шунинг учун газ кенгайганда улар ўртасидаги масофа ошади, демак тортишиш кучлари r ошади ва потенциал энергияси ҳам ошади. (12.4.) формулага биноан W_Π ошса W_k камайиш керак, демак T камаёди (ёки газ совийди).

2. Агар бошланғич температураси юқори бўлса $r > r_m$ бўлади, газ кенгайса r янада ошади, тортишиш кучи камаёди, демак потенциал энергия камаёди, кинетик энергия W_k ошади, бу эса T ошганини билдиради (газ исийди).

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Реал газлар, босим, ҳажм, температура, ички босим, хусусий ҳажм, назарий изотерма, экспериментал изотерма, критик нуқта, критик босим, критик ҳажм, критик температура, Ван-дер-Ваальс тузатмалари.

Назорат саволлари

1. Қандай шароитларда реал газ ўзининг хусусияти бўйича идеал газга яқинлашиб боради?
2. Жоуль-Томсон эффектини тушунтиринг?
3. Ван-дер-Ваальс формуласини ёзинг ва тушунтиринг?

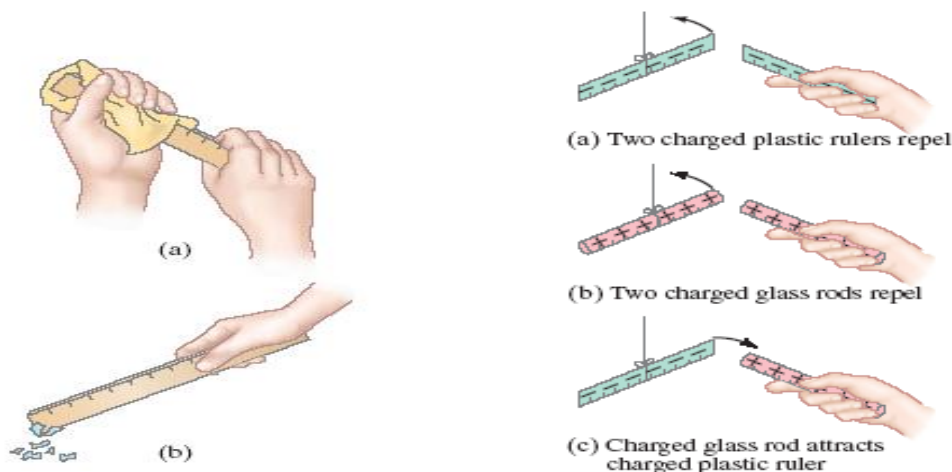
4. Ван-дер-Ваальс тнегласидаги $\frac{a}{V_\mu^2}$ ва b параметрларнинг физик маъноси қандай?
5. Критик ҳолат нима?
6. Критик температура қандай температура?
7. Реал газнинг ички энергияси нима?
8. 35 атм босими ва 35 ° С ҳароратда CO₂ қандай фазада бўлади (13-2 расм)?
9. CO₂ атмосфера босимида қандай фазада бўлади? (б) CO₂ қандай ҳарорат ва босим диапозонида суюқ ҳолатда бўлади? 13-2 расмга қаранг.
10. 0,01 атм босимидаги сув (а) 90 ° С да, (б) –20°С да қандай фазада бўлади?
11. Сизда босими ва ҳароратини бошқариш мумкин бўлган сув наъмунаси бор? (а) 3-21 расмдан фойдаланиб, 85 ° С ҳароратда 180 атм босимида сувни босимини 0,004 атмга ўзгарса, қандай фазада бўлади? (б) (а) шарт бўйича фақат ҳарорат 0,0 ° С дага шароит учун кўриб чиқилсин.

ЭЛЕКТРОСТАТИК МАЙДОН ВА УНИНГ ХУСУСИЯТЛАРИ

Режа

1. Электростатик майдон ва унинг хусусиятлари.
2. Нуктавий заряд. Кулон қонуни.
3. Нуктавий заряд учун электр майдон кучланганлиги.
4. Кучланганлик чизиклари.
5. Майдонларнинг суперпозиция принципи.

Электростатика –физиканинг энг муҳим бўлимларидан бири бўлиб, зарядли зарралар, улар орасидаги ўзаро таъсирлар, жисмларнинг зарядланиш шартлар, электр майдоннинг энергияси ва унинг амалий аҳамияти тўғрисидаги физик билимлар мажмуасини ўз ичига қамраб олган. Ҳар қандай электр заряд ўз атрофида электр майдони ҳосил қилади. Агар заряд тинч ҳолатда бўлса унинг ҳосил қилган майдони электростатик майдон дейилади. Электр майдон ва унинг хусусиятлари. Кулон қонуни. Қўзғалмас зарядлар орасидаги ўзаро таъсир электр майдони орқали содир бўлади. Нима учун қўзғалмас зарядларнинг ўзаро таъсири дейишимизга катта сабаб бор. Эфирда электромагнит майдон борлигига олдинроқ эътибор берган эдик. Магнит майдони асосан ҳаракатдаги зарядларга таъсир этади. Аксинча, ҳаракатдаги заряд магнит майдонини ҳосил қилади. Шу сабабли, зарядларнинг электр майдонини ўрганишда доимо қўзғалмас зарядларни танлаб оламиз. Бу билан электромагнит майдонини худди иккига ажратиб, фақат электр майдонидаги ҳодисаларни ўрганамиз, дебатасаввур этамиз. Ҳар қандай заряд ўзи эгаллаган фазода электр майдони ҳосил қилиши билан, фазога ўзгартириш киритади. Қаҳрабон шойи билан ишқаланганда унинг енгил предметларни ўзига тортиш хусусиятига эга бўлиб қилишини одамлар эрампдан аввал ҳам билишган. Лекин фақат XVI асрга келиб, инглиз олими Гильберт бундай хусусиятга қаҳрабондан ташқари шиша, фарфор, эбонит ва шунга ўхшаш жисмлар ҳам тери ёки юмшоқ мато билан ишқаланганда эга бўлиб қилишини исботлади (расм 14-1). Бу жараёни Гильберт электризация (электрланиш) деб атади. “Электрон” сўзи грекчасига “қаҳрабон” сўзини билдиради. Гильберт бу жараённинг физик моҳиятини тушунтириб бера олмади.



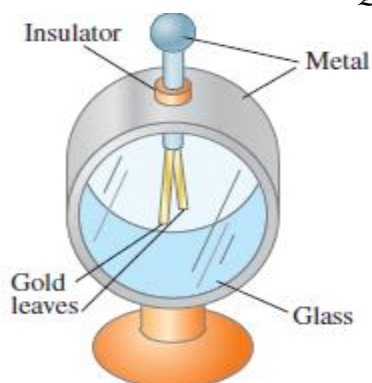
Факат 1881 йилда немис физиги Гельмгольц жисмларнинг электрланиши қандайдир электр зарядига эга бўлган элементар заррачалар билан боғлиқ бўлиши керак, деган ғояни илгари сурди. Кейинчалик, 1897 йилда инглиз олими Томсон электронни ихтиро қилганда ўз исботини топди. 1919 йилда бунга қўшимча сифатида Резерфорд протонни кашф қилди. Электроннинг массаси $m_e = 9,108 \cdot 10^{-31}$ кг ва заряди $q = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кулон. Протоннинг массаси $m_p = 1836 \cdot m_e$ ва заряди $q_p = +e$. Электрланмаган жисмда манфий ва мусбат зарядлар сони бир хил бўлади, акс ҳолда ҳар хил бўлади.

Зарядлари эркин ҳаракатда бўлган жисм ўтказгич (металл) деб аталади. Агар электроннинг ҳаммаси боғланган бўлиб, эркин ҳаракат қилаолмаса, бундай жисмлар диэлектрик (изолятор) деб аталади. Агар жисм кичик электр ўтказувчанликка эга бўлса, у яримўтказгич деб аталади. Изоляция қилинган жисмда зарядларнинг алгебраик йиғиндиси ўзгармасдир. Бу-электр зарядининг сақланиш қонунидир. Заряднинг ўлчов бирлиги Кулон. Бу бирлик ток кучи билан боғлиқ: $q = I \cdot t$ 1 кулон = 1 ампер · 1 секунд. Ампер ҳақида кейинроқ гаплашамиз.

Олинган жисмлардаги қарама-қарши ишорали зарядлар миқдори тенг бўлиб, улар йўқолмайди. Бу бир жисмда бир хил ишорали заряддан қанча миқдорда камайса, иккинчи жисмда ўшандай ишорали заряддан шунча миқдорда ортади, деган мано англатади. Демак, жисмдаги умумий заряднинг умумий миқдори ўзгармайди. Бу заряднинг сақланиш қонунини дейилади.

Ёпиқ системада зарядларининг алгебрик йиғиндиси ўзгармасдир:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = \text{const.}$$

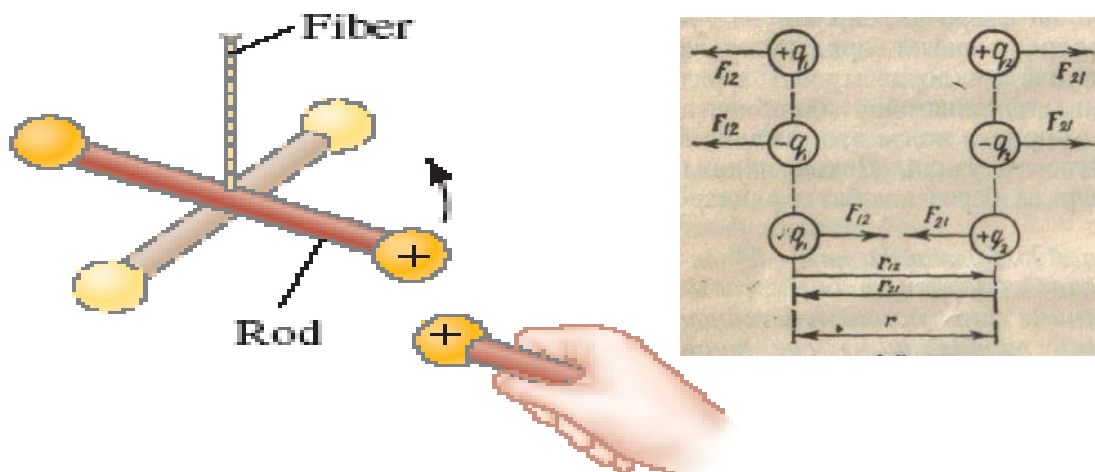


Жисмларнинг зарядланганлигини аниқлашга имкон берувчи асбоб электроскоп деб аталади (расм 14.2). Электроскопнинг ишлаши зарядланган жисмларнинг ўзаро таъсирига асосланган

14.2. расм. Электроскопнинг тузилиши.

Кулон қонуни

Электр зарядлари бир бирига куч билан таъсир қилади (расм 14-3). Бу куч электр заряди миқдори, улар орасидаги масофа ва бошқа физик катталиклар билан қандайдир алоқадорликка эга, Бу саволга жавобни 1780-йилларда француз физиги Шарл Кулон топди. У куйида тасвирланган буралма тарозидан фойдаланди. Агар шарларни бир хил ишорали зарядлаб, кўлимиздаги зарядли шарчани горизонтал осилган худди шандай зарядли шарчага яқинлаштирилса, улар бир-биридан қочишини, аксинча, қарама-қарши ишорали зарядли шарчаларни яқинлаштирилса, бир-бирига тортилишини кузатиш мумкин [1].



14.3-расм. Кулон тажрибасининг схемаси. Бу қурилма гравитатсия майдонини аниқлаш Кавендиш томонидан фойдаланилган қурилмага ўхшайди.

Вакуумдаги икки нуқтавий электр заряднинг ўзаро таъсир кучи таъсирлашаётган ҳар бир заряд катталиклари кўпайтмасига тўғри ва зарядлар орасидаги масофанинг квадратига тесқари пропорционалдир, яъни

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}_{12}}{r}; \quad \vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}_{21}}{r};$$

<p>14.4-расм. Кулон тажрибасидан келиб чиқадиган натижалар: а) Бир хил ишорали зарядли зарралар орасидаги ўзаро таъсир кучлари; б) қарама-қарши ишорали зарядли зарраларнинг ўзаро таъсир кучларининг йўналишлари тасвирланган.⁴⁰</p>	$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2},$
--	------------------------------

⁴⁰ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, 443-446 б

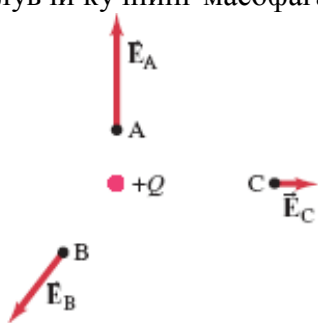
СИ системасида, $k = 8.988 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$, бу ерда ϵ_0 электр доимийси (ёки вакуумнинг диелектрик сингдирувчанлиги) деб аталади. (1) ифодани яна қуйидагича ёзиш мумкин:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2},$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2.$$

ЭЛЕКТР МАЙДОН

Аввалги мавзуда “масофадан таъсир” концепциясини кўриб ўтдик. Нима учун зарядли зарралар бир бири билан масофадан туриб таъсирлашишяпти? Улар орасида қанақанги ўзаро таъсир воситалари мавжуд? Бу муаммони таниқли инглиз олими Майкл Фарадей (1791-1867) майдон тушунчаси орқали ҳал қилиш таклифини қўйди. Фарадейга кўра, ҳар қандай электр заряди ўзининг атрофида электр майдон ҳосил қилади, улар бир-бири билан шу майдон воситасида таъсирлашади. Бир заряднинг электр майдонида жойлашган иккинчи зарядга электр майдон маълум бир куч билан таъсир қилади. Ўзаро таъсирлашувчи зарядларнинг бир-бирига таъсир кучлари тенг ва қарама-қарши йўналган. Кулон қонуни шу кучлардан биттасининг модулини топишга имкон беради. Бир ёки бир неча заряднинг ҳосил қилган электр майдонида жойлашган мусбат синов зарядига таъсир қилувчи кучнинг масофага боғлиқлигини 14.5-расмда кузатиш мумкин.



14.5-расм. *a, б, с* нуқталарда жойлашган кичик синов заряди **q**га **+Q** заряд томонидан таъсир қилувчи кучларнинг йўналишлари.

Расмдан кўринадики, **а** нуқтада жойлашган синов заряди билан **+Q** заряд орасидаги масофа кичик бўлган-лиги учун синов зарядига таъсир қилувчи кучнинг модули катта. **с** нуқтада жойлашган синов заряди билан **+Q** орасидаги масофа катта бўлганлиги учун синов зарядига таъсир қилувчи кучнинг модули кичик. Расмдан яна шуни кузатиш мумкинки, ҳамма ҳолларда зарядлар орасидаги ўзаро таъсир кучи бир тўғри чизиқда жойлашган [10]

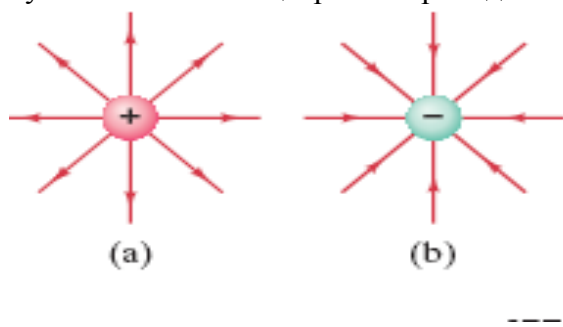
Зарядли зарраларнинг орасидаги ўзаро таъсир кучларини электр майдони воситасида амалга ошишини қуйидаги ифода ёрдамида кўриш мумкин.

Электр майдон кучланганлиги. Фараз қилайлик, электр майдоннинг бирор нуқтасига Q_0 заряд (“синов” заряди) жойлашган бўлсин ва унга таъсир қилаётган куч F_0 бўлсин. Бу куч $F_0 = Q_0 \cdot E$ деб олинади ва бу йерда э майдон кучланганлиги деб аталади. Унинг физик маъноси шуки, у бирлик заряд ($Q_0 = 1\text{Kl}$) га таъсир қиладиган кучга тенг.

$$[E] = \frac{[F]}{[q]} = \frac{[H]}{[Kl]} = m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1} \quad (2)$$

Кейинчалик $\frac{H}{Kl} = \frac{\text{Volt}}{\text{metr}}$ эканлигини кўрамиз.

Кучланганлик чизиклари. Электр майдон хоссаларини куч чизиклари тушунчаси ёрдамида ҳам чуқурроқ тушуниш мумкин. Электр майдон оддий кўз билан кўриш имкониятига эга бўлмаганлиги учун бу майдонни электр майдон кучланганлик чизиклари деб аталувчи манзаравий кўриниш воситасида кўринарли қилиб тасвирлаш ва шу чизиклар орқали тушунтириш мумкин. Мусбат ва манфий зарядларнинг майдон кучланганлик чизиклари 14-6 расмда тасвирланган [3].



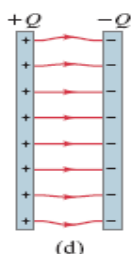
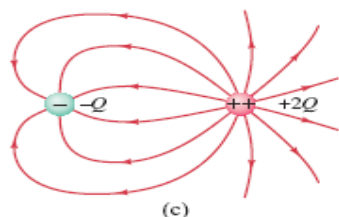
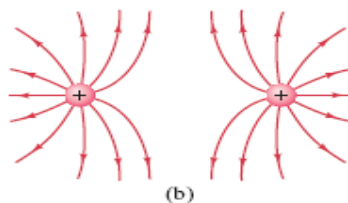
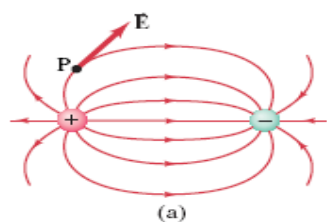
14.6-расм. Мусбат ва манфий зарядли зарраларни электр майдон кучланганлиги йўналишлари: а-мусбат заряднинг майдон кучланганлик чизиклари йўналиши, б-манфий заряднинг майдон кучланганлик чизиклари йўналиши.⁴¹

Бу расмда кўзгалмас нуқтавий зарядларнинг кучланганлик чизиклари тасвирланган бўлиб, бу чизиклар мусбат заряддан бошланиб, манфий зарядда тугайди. электр майдоннинг куч чизиклари шундай чизиклар-ки, уларнинг ҳарқандай нуқтасидаги уринма шу нуқтадаги электр майдон кучланганлиги векторига мос тушади.

Куч чизикларини шундай зичлик билан чизилади-ки, 1м^2 юзани кесиб ўтаётган куч чизиклари сони сон жиҳатдан шу юзадаги электр майдон кучланганлигига тенг бўлиши керак. 14.7а-расмда қарама-қарши ишорали икки заряднинг электр майдон кучланганлик чизиклари тасвирланган. Бу ерда электр майдон кучланганлик чизиклари мусбат заряддан бошланиб, манфий зарядда тугагунча эгриланганлигини кўриш мумкин. Электр майдони фазонинг ҳар бир нуқтасида электр майдон кучланганлик чизикларига ўринма бўйича мусбат заряддан манфийга томон йўналган (расмдаги Р нуқта). 14.7б-расмда бир хил ишорали мусбат зарядланган зарядли зарраларнинг электр майдон кучланганлик чизиклари тасвирлаган ва бундай йўналишли электр майдон кучланганлиги чиқарувчи зарядлар бир биридан қочиши кузатилади. Зарядланган пластиналар орасидаги электр майдон кучланганлик чизиклари бири бирига деярли параллел бўлганлиги учун пластиналарнинг электр майдони бир жинсли деб қаралади

$E = \text{const}$ (14.7в-расм). Бунда фақат пластина четларидаги майдон кучланганлик чизиклари эгриланганлиги учун бир жинслиликдан четлашади.

⁴¹ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, 448-450 б



14.7-расм. Ҳар хил исмли зарядларни электр майдон кучланганлик чизиклари: а-ҳар хил исмли; б-бир хил исмли, икки ҳар хил исмли зарядланган параллел пластиналар.⁴²

Агар майдоннинг исталган нуқтасида кучланганлиги E бир хил бўлса, бу майдон бир жинсли деб аталади., акс ҳолда бир жинсли бўлмаган майдон деб аталади.

Агар бирқанча q_1, q_2, \dots, q_n заряд бўлса, у ҳолда исталган нуқтадаги электр майдон кучланганлиги шу заряднинг шу нуқтада ҳосил қилаётган майдон кучланганликларининг вектор йиғиндисига тенг:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n \quad (3)$$

Бунга суперпозиция принципи дейилади. q заряднинг r масофадаги нуқтада ҳосил қиладиган майдон кучланганлиги қуйидаги формула орқали топилади:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (4)$$

S юзани кесиб ўтаётган майдон куч чизикларининг сони шу юзадан ўтаётган майдон кучланганлиги оқими Φ деб аталади. Агар S юза куч чизикларига перпендикуляр бўлса ва унинг ҳар бир нуқтасида E бир хил бўлса, у ҳолда $\Phi = E \cdot S$ деб олинади.

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Электрланиш, электрон, заряд, диэлектрик, кучланганлик, суперпозиция, куч чизиклари, электр майдон, нуқтавий заряд, Кулон қонуни.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Электрланишнинг мазмунини тушунтиринг?
2. Электр заряди қандай физик катталиқ?
3. Заряднинг қандай турлари мавжуд?
4. Кулон тажрибасини изоҳланг?
5. Кулон қонунини таърифланг?
6. Электр майдон кучланганлигининг физик маъносини тушунтиринг?
7. Куч чизиклари оқими деб нимага айтилади?

Амалий машғулот

Электростатика. Кулон қонуни. Электр майдон

⁴² Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, 458-459 б

кучланганлиги.

1. 100 мкКл зарядга эга бўлган заррачада нечта электрон бор?
2. Иккита заряд R масофада жойлашган ва бир-бири билан 480мН куч билан таъсирлашади. Агар улар орасидаги масофа 8 марта камайса таъсирлашиш кучи қандай бўлади?
3. Темир атомининг ядроси ташқи орбитадаги электронни қандай куч билан тортади? Агар темир атом ядросининг заряди $+26e$ ва орбита радиуси $1,0 \cdot 10^{-12} \text{ м}$.
4. 1 кг сувдаги зарядларининг йиғиндиси нимага тенг?
5. Учта заряд берилган. Улар $+4,0$; $-3,0$ ва $-5,0$ мкКл ва улар томони 1,40 м бўлган мунтазам учбурчакнинг учларига жойлаштирилган. Ҳар бир учидаги зарядга тасир қиладиган кучнинг қийматини ва йўналишини топинг?
6. Нуқтавий зарядлар $+88$, -55 ва $+70$ мкКл битта тўғри чизик устига 0,75 м масофадан жойлаштирилган. Ҳар бир зарядга бошқа иккитасининг тасир кучини аниқланг?
7. Агар квадратнинг томоно 1.15 м бўлса ва ҳар бир учига 0,005Кл заряд жойлаштирилган бўлса, ҳар бир зарядга бошқаларининг тасир кучининг қиймати ва йўналиши қандай бўлади?
8. Заряди $-8,0$ ва $+1,8$ мкКл иккита заряд 11,8 см масофага жойлаштирилган. Учинчи зарядни қайси нуқтага жойлаштирадиган унга таъсир қиладиган кучи ноль тенг бўлади.
9. Массаси 3 гр бўлган мис танга $+0,55$ мкКл зарядга эга. У нечта электрон йуқотган?
10. Протон электр майдонида тинч турибди. Протоннинг оғирлик кучини эътиборга олиб электр майдон кучланганлигини топинг?
11. Агар -20 ва $+60$ мкКл зарядлар 40 см масофада жойлашган бўлса улар ўртасидаги электр майдоннинг кучланганлигининг йўналишини ва қийматини топинг?
12. Квадратнинг учидаги электр майдон кучланганлигини ҳисобланг? Агар квадрат томони 80см ва бошқа учта учидаги зарядлар $18,2 \cdot 10^{-7}$ Кл тенг бўлса.
13. Протон вакуумда жойлашган электр майдон кучланганлиги қандай бўлганда $7,6 \cdot 10^4 \text{ м/с}^2$ тезланиш билан ҳаракатланади?
14. $m=1,0 \text{ кг}$ массали мис булагидидаги барча электронларнинг зарядини топинг.
15. Иккита кичкина шарчанинг ҳар қайсиси шундай мусбат зарядланадики, уларнинг умумий заряди $q=5 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$ га тенг бўлади. Агар шарчалар бир - биридан $r=2,0 \text{ м}$ масофада, $F=1,0 \text{ Н}$ куч билан ытарилса, бу заряд уларда қандай тақсимланган?

ЛАБОРАТОРИЯ ИШИ ЭЛЕКТРОСТАТИК МАЙДОННИ ЎРГАНИШ

Ишдан мақсад: Маълум шаклдаги электрод ўтказгич атрофида ҳосил бўладиган электр майдон табиатини ўрганиш.

Керакли асбоб ва буюмлар: сув солинган ванна, турли шаклдаги электродлар, потенциометр, ўзгармас ток манбаи, вольтметр, гальванометр.

НАЗАРИЙ ҚИСМ

Ҳар қандай электр заряд ўз атрофида электр майдони ҳосил қилади. Агар заряд тинч ҳолатда бўлса унинг ҳосил қилган майдони электростатик майдон дейилади. Бу майдон воситасида зарядлар ўзаро таъсирлашади. Зарядларнинг ўзаро таъсирлашиш кучини Кулон қонуни асосида аниқлаш мумкин. Кулон қонуни қуйидагича таърифланади: "Вакуумда жойлашган иккита нуқтавий q_0 ва q заряднинг ўзаро таъсир кучи ҳар бир заряд катталигига тўғри мутаносиб, улар орасидаги масофанинг квадратига тескари мутаносиб бўлиб, унинг йўналиши зарядларни бирлаштирувчи тўғри чизик билан устма-уст тушади".

Ҳалқаро бирликлар системаси (СИ) да Кулон қонуни қуйидаги формула орқали ифодаланади:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r^2} \quad (1)$$

бу ерда r - зарядлар орасидаги масофа, q_0 ва q - мос равишда биринчи ва иккинчи нуқтавий зарядларнинг миқдорлари, ϵ_0 электр доимийси бўлиб, унинг қиймати $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м га тенг. (1) нинг вектор кўринишдаги ифодасини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r^2} \frac{\vec{r}}{|r|} \quad (1')$$

Электростатик майдоннинг таъсир даражасини характерлаш учун майдон кучланганлиги ва майдон потенциали деб номланган физик катталиклардан фойдаланилади. Жумладан, электростатик майдон кучланганлиги шу майдоннинг бирор нуқтасига киритилган бирлик мусбат зарядга таъсир қилувчи куч миқдори билан улчанувчи катталикдир, яъни

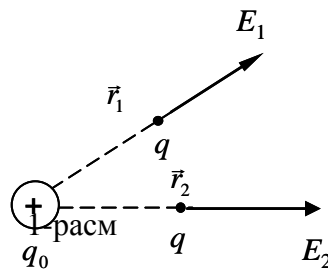
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (2)$$

Кучланганлик вектор катталик бўлиб, унинг йўналиши майдоннинг ҳар бир нуқтасида шу нуқтага жойлштирилган мусбат синов заряди q га таъсир қилаётган куч йўналишига мос келади.

(1) формуладан куч қийматини (2) ифодага қўйиб, нуқтавий q_0 заряд майдонининг шу заряддан r_1 ва r_2 ўзқликдаги нуқталарда ҳосил қилган майдон кучланганлигини аниқлаймиз (1-расм). Ҳар бир нуқтаушун майдон кучланганлиги мос равишда

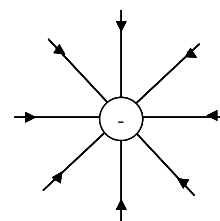
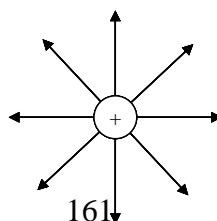
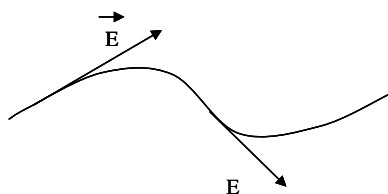
$$\vec{E}_1 = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0 r_1^2} \frac{\vec{r}_1}{|r_1|}; \quad \vec{E}_2 = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0 r_2^2} \frac{\vec{r}_2}{|r_2|}; \quad (3)$$

бўлади. Шундай қилиб, нуқтавий q_0 заряд ҳосил қилган электростатик майдоннинг муайян нуқтадаги кучланганлиги шу заряд миқдорига тўғри пропорционал, бу нуқта билан заряд орасидаги масофа r нинг квадратига тескари пропорционал бўлар экан.



Электростатик майдонни ҳар бир нуқта учун \vec{E} векторнинг катталиги ва йўналишини кўрсатиш билан белгилаш мумкин.

Электростатик майдонни график усул билан кучланганлик чизиқлари ёрдамида тасвирлаш алоҳида ўрин тутди. Электростатик майдоннинг кучланганлик чизиқлари шундай танланадики, уларнинг ҳар бир нуқтасига ўтказилган уринма майдоннинг шу нуқтадаги кучланганлик вектори билан устма-уст тушадиган чизиқлар туркумига мос келсин (2а-расм). Кучланганлик вектори йўналиши мусбат заряддан чиқади, манфий зарядга тушади, деб қабул қилинган. Мисол тариқасида (2б-расм) мусбат ишорали, (2в-расм) манфий ишорали нуқтавий кучланганлик чизиқлари тасвирланган.



а)

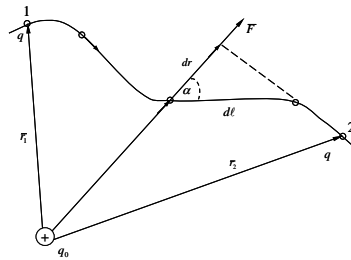
б)

в)

2-расм

Электростатик майдоннинг иккинчи асосий характеристикиси майдон потенциалидир. Бирор нуқтавий q_0 заряд ҳосил қилган майдоннинг ихтиёрий нуқтасига иккинчи q заряд киритилган бўлсин. Табиийки, бу зарядга асосий q_0 заряднинг майдони воситасида бирор \vec{F} куч таъсир қилади. Шу куч таъсирида q заряд майдоннинг дастлабки бир нуқтасидан бирор траектория бўйлаб иккинчи нуқтасига кўчиши мумкин. Бунда маълум микдорда A иш бажарилади. Бу ишнинг катталигини аниқлаш мақсадида q заряднинг кўчиш траекториясини бўлакчаларга бўламиз. Узунлиги $d\ell$ га тенг бўлган ҳар бир элементар йўлда бажарилган ишни қуйидагича аниқлаймиз (3-расм).

$$dA = Fd\ell \cos \alpha = Fdr \quad (4)$$



3-расм

Кўчувчи заряднинг дастлабки 1-ҳолатини r_1 –радиус вектор билан, сўнгги 2-ҳолатини r_2 –радиус вектор билан белгилаб, q заряднинг 1-ҳолатдан 2-ҳолатга ўтишидаги умумий бажарилган иш микдорини аниқлаймиз. Бунинг учун Кулон қонуни формуласидан фойдаланиб (4) ифодани r_1 ва r_2 интервал оралиғида интеграллаймиз:

$$A_{12} = \int_1^2 dA = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 r_1} - \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 r_2} \quad (5)$$

Бу ифодани олишда q_0 зарядни қўзғалмас деб ҳисобланади. (5) ифодадан кўринадики, бажарилган иш q заряднинг майдонда босиб ўтган йўлига боғлиқ бўлмай, фақат унинг бошланғич ва охириги ҳолатлари (r_1 ва r_2) га боғлиқ экан.

Агар бажарилган иш ўтилган йўл шаклига эмас, балки бу заряднинг бошланғич ва охириги вазиятига боғлиқ бўлса, бундай майдон потенциал майдон дейилади. Демак қўзғалмас q_0 заряд ҳосил қилган электростатик майдон потенциал майдон экан. Бу майдонда q зарядга таъсир қилувчи кучлар потенциал кучлар дейилади.

Потенциал майдонда жойлашган q заряд турли 1 ва 2 нуқталарда W_1 ва W_2 потенциал энергияга эга бўлади. Демак, майдон кучлари q заряднинг бошланғич 1 ва охириги 2 вазиятидаги потенциал энергия микдорининг ўзгариши ҳисобига иш бажаради:

$$A_{12} = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 r_1} - \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 r_2} = W_1 - W_2 \quad (6)$$

Бу ерда W_1 ва W_2 мос равишда q заряднинг майдоннинг 1-ва 2-нуқталаридаги потенциал энергиясидир:

$$W_1 = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 r_1}, \quad W_2 = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 r_2} \quad (7)$$

q заряд потенциал энергиясининг шу q_0 заряд микдorigа нисбати асосий заряд майдоннинг муайян нуқтаси учун ўзгармас катталик бўлиб, майдоннинг шу нуқтасининг потенциали деб аталади (бу катталик ϕ ҳарфи билан белгиланади), яъни:

$$\varphi = \frac{W}{q} \quad (8)$$

Бу формуладан потенциал сон жиҳатдан бирлик мусбат заряднинг майдондаги муайян нуктада потенциал энергиясига тенг эканлиги кўринади. Демак майдоннинг 1 ва 2 нукталарининг потенциаллари мос равишда

$$\varphi_1 = \frac{W_1}{q} \quad \text{ёки} \quad \varphi_1 = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0 r_1}, \quad \text{ва} \quad \varphi_2 = \frac{W_2}{q} \quad \text{ёки} \quad \varphi_2 = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0 r_2} \quad (9)$$

кўринишга эга бўлади.

(9) ифода асосида q зарядни майдоннинг бир нуктасидан иккинчи нуктасига кўчиришда бажариладиган иш

$$A_{1,2} = q(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (10)$$

формула билан аниқланади. Худди шу зарядни майдоннинг бирор нуктасидан чексизликка кўчиришда бажариладиган иш эса

$$A_{1,\infty} = q \varphi_1 \quad (11)$$

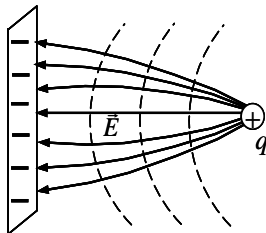
бўлади, чунки (9) ифодага кўра $r_2 \rightarrow \infty$ да $\varphi_2 = 0$ (11) ифодани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\varphi_1 = A_{\infty} / q \quad (12)$$

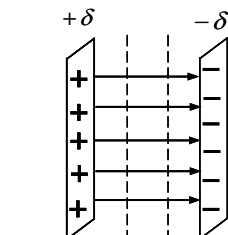
Бундан потенциал сон жиҳатдан майдон кучларининг бирлик мусбат зарядни муайян нуктадан чексизликка кўчиришда бажарган ишига тенг, деган хулоса келиб чиқади.

СИ системасида потенциал ва потенциаллар айирмаси бирлиги сифатида Вольт қабул қилинган. Қиймати бўйича 1 Вольт шундай нуктанинг потенциалига тенгки, 1 Кулон зарядни чексизликдан шу нуктага кучириш учун 1 Жоуль иш бажариш керак: $1 \text{ Ж} = 1 \text{ Кл} \cdot 1 \text{ В}$ бундан $1 \text{ В} = 1 \text{ Ж} / 1 \text{ Кл}$

4а-расмда манфий зарядланган P текислик ва мусбат зарядланган q нуқтавий заряд орасида вужудга келган электр майдон, 4б-расмда эса қарама-қарши ишорали зарядлар билан зарядланган, тенг юзали ва ўзаро параллел иккита ясси пластинка орасида вужудга келган электростатик майдон куч чизиқлари тасвирланган. Бу расмларда пунктир чизиқлар орқали эквипотенциал сиртларнинг тасвири ҳам берилган.



а)



б) 4-расм E

Шундай қилиб, электростатик майдоннинг ҳар бир нуктасини майдон кучланганлиги ҳамда майдон потенциали орқали ифодалаш мумкин экан. Эквипотенциал сиртлар орасидаги потенциаллар фарқи $\Delta \varphi$ га, улар орасидаги энг қисқа масофа эса Δx га тенг бўлсин. У ҳолда майдон кучланганлиги E ни Δx масофада ўзгармас деб ҳисоблаб, q заряднинг шу масофага кўчишида бажарилган ишни қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\Delta A = qE\Delta x = -\Delta W \quad (13)$$

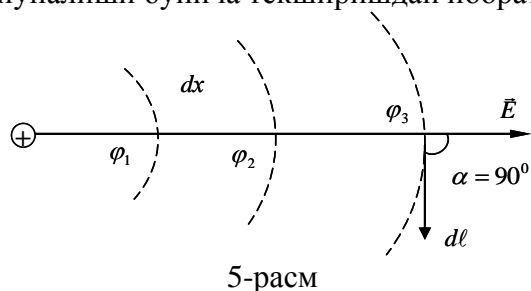
Иккинчи томондан, ишни заряднинг потенциал энергияси камайиши орқали ҳам ифодалаш мумкин:

$$\Delta A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = q\Delta\varphi \quad (13')$$

Бу ифодаларни ўзаро тенглаштириб қуйидаги тенгликка эга бўламиз;

$$E = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x} \quad (14)$$

Ушбу лаборатори ишини бажаришдан мақсад турли шаклдаги зарядланган металл жисмлар—электродлар ҳосил қилган электростатик майдоннинг потенциаллари $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots$ га тенг бўлган эквипотенциал сиртларни (5-расм) аниқлаш, шунингдек эквипотенциал сиртларга тик йўналган майдон кучланганлиги E ни ҳам миқдорий жиҳатдан ҳам йўналиши бўйича текширишдан иборатдир.

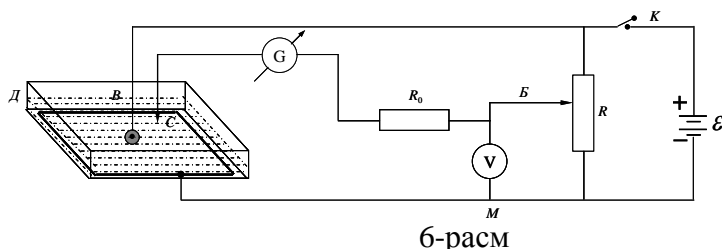


Бу ишни бажариш учун 6-расмда кўрсатилган электр схема йиғилади.

Бу ерда сув солинган ванна, B ва D -электродлар, C -зонд, G -гальванометр, R -потенциометр, V -вольтметр, R_1 -қўшимча қаршилик, ε -ўзгармас ток манбаи. K -калит уланганда B ва D электродлар орасида электр майдон ҳосил бўлади.

B электродга яқин нукталарда кучланганлик чизиқлари зичлиги катта, майдон потенциали ҳам катта қийматга эга бўлиб, D электродга яқинлашган сари у камайиб боради.

C -зонд потенциометрнинг B қўзғалувчан контактига уланган. Бу потенциометрнинг BM қисмидаги кучланиш вольтметр ёрдамида ўлчанади. Унинг қийматини B контактни силжитиш орқали ўзгартириш мумкин.



Ишни бажариш тартиби

1. Ваннага B ва D электродларни ўрнатиб $0,2 \div 0,5$ см қалинликда сув қуйилади.
2. Қўзғалувчан контакт B ни силжитиб V вольтметрда 5 В ли кучланиш ҳосил қилинади.
3. Зонд ёрдамида B электрод атрофида потенциали 5 В га тенг бўлган нукталар кидирилади. (Топилган нукталар орасидаги масофа 1 см дан ортмаслиги керак). Контакт эгаллаган B нукта билан C зонд кўрсатган нукталарнинг потенциаллари тенг бўлганлиги сабабли шу нукталарда гальванометрнинг кўрсатиши нолга мос келади, яъни гальванометрдан ўтаётган ток нолга тенг бўлади ($I_G = 0$). Қайд қилинган нукталарнинг X, Y ўқларига нисбатан координата қийматлари ёзиб олинади. Бу нукталарни ихтиёрий масштабда миллиметрли қоғозга тушириб, сўнг уларни бири-бири билан туташтирилса потенциал қиймати 5 В га тенг бўлган эквипотенциал сирт чизиғи ҳосил бўлади.
4. B контактни силжитиб вольтметрда 3 В, сўнг 2 В кучланиш ҳосил қилинади. C зондни силжитиб бу кучланишларга мос келувчи эквипотенциал сиртларнинг чизиқлари аниқланади, яъни 2 ва 3 бандларда бажарилган ишлар такрорланади.
5. B электрод ўрнига бошқа шаклдаги электрод ўрнатилиб тажриба ($1, 2, 3, 4$ пунктлар) такрорланади. Топилган ҳар бир эквипотенциал чизиқ нукталарининг координатлари қуйидаги жадвалга ёзилади.
6. Потенциалнинг камайишига қараб майдон кучланганлигининг йўналиши, ҳамда (14) формула асосида кучланганлик қиймати аниқланади.

Электроднинг шакли		1-чорак		2-чорак		3-чорак		4-чорак	
		x	y	$-x$	y	$-x$	$-y$	x	$-y$
1									
2									
3									

НАЗОРАТСАВОЛЛАРИ

1. Электр майдонни характерловчи физик катталикларни айтинг ва уларнинг ўлчамини кўрсатинг.
2. Нуқтавий зарядлар учун кучланганлик ва потенциал ифодасини ёзинг.
3. Электр майдон кучланганлиги ва потенциали ўзаро қандай боғланган.
4. Куч чизиклари ҳамда эквипотенциал чизиклар мазмунини тушунтиринг.
5. Электростатик майдон куч чизикларининг эквипотенциал сиртларга перпендикуляр эканлигининг сабаби нимада.
6. Эквипотенциал чизиклар электродларнинг шаклига боғлиқ бўладими, агар боғлиқ бўлса унинг сабабини тушунтиринг.

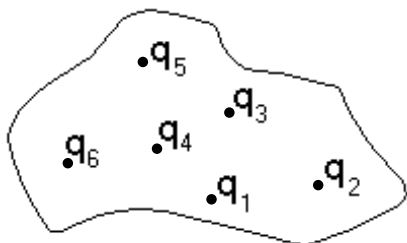
ЭЛЕКТРОСТАТИК МАЙДОН КУЧЛАНГАНЛИК ВЕКТОРИНИНГ ОҚИМИ ВА ИШ

Режа

1. Кучланганлик векторининг оқими.
2. Гаусс теоремаси ва унинг электростатик майдонлар ҳисоблашга тадбиқ.
3. Электростатик майдонда бажарилган иш ва потенциал.
4. Электр майдон кучланганлиги ва потенциаллар орасидаги боғланиш.
5. Эквипотенциал сиртлар.

Кучланганлик векторининг оқими. Аввалги маърузада таърифлаганимиздек, S юза орқали кучланганлик векторининг оқими $N = E \cdot S$ га тенг, бунда $E \perp S$ деб ҳисобланади. Энди $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ зарядлар кучланганликларининг берк юза орқали оқимини топамиз (15.1- расм).

15.1-расм



Бунда оқим юза ичидан ташқарига йўналган бўлса, у мусбат деб қабул қилинади, акс ҳолда-манфий бўлади. Аввал R радиусли сферик юзани кўриб чиқамиз. Унинг марказида битта q заряд жойлашган. Формулага биноан сферанинг исталган нуқтасида кучланганлик бир хил бўлади:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2}$$

Куч чизиклари радиус бўйлаб йўналган. ($E \perp S$). Шунинг учун оқим:

$$N = E \cdot S = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \cdot 4\pi R^2 = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (15.1)$$

га тенг. $S=4\pi R^2$ -сферанинг юзи. Шундай қилиб, битта нуқтавий зарядни ўраб турувчи берк сирт орқали ўтувчи кучланганлик оқими ўралиб турган заряд миқдорининг ϵ_0 га нисбатига тенг бўлар экан. Бу қондани исталганча кўп $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ нуқтавий зарядлар учун умумлаштириб, Остраградский ва Гаусс қуйидаги **теоремани** аниқлашган. **Зарядларни ўз ичига олувчи ҳар қандай берк сирт орқали ўтувчи кучланганлик оқими ўралиб олинган зарядларнинг алгебрик йиғиндисининг ϵ_0 га нисбатига тенг бўлади.** Энди берк юза ичида n та заряд ҳосил бўлсин. Равшанки, юзадан чиқаётган (ўтаётган) кучланганлик чизиклари оқимизарядларнинг ҳосил қилган оқимларининг йиғиндисига тенг:

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{\epsilon_0} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i \quad (15.2)$$

Демак, берк юзани кесиб ўтувчи кучланганлик оқими шу юза ичидаги зарядларнинг алгебраик йиғиндисига пропорционал экан. Бу Гаусс теоремаси деб аталади. Бу теорема ёрдамида ҳар хил шаклли зарядланган жисмларнинг майдон кучланганлигини топиш мумкин.

Баъзи электростатик майдонлар учун Гаусс теоремасининг тадбиқи

Ҳар қандай зарядни чексиз кўп сонли нуқтавий зарядларнинг йиғиндисига сифатида тасаввур қилиш мумкин. Шу сабабли Остраградский-Гаусс теоремасини ҳар қадаш шакилдаги ва ўлчамдаги зарядланган жисмларга тадбиқ қилиш мумкин. Қуйида бу теорема ёрдамида зарядланган турли шакилдаги жисмлар ҳосил қилган электр майдонларининг кучланганлиги қандай аниқланишини бир неча мисолда кўриб чиқамиз. Бунда берк сирт билан чегараланган ҳажимдан чикувчи чизиклари кучланганликнинг мусбат оқимини, ҳажимга кирувчи куч чизиклари эса манфий оқимни вужудга келтиради деб шартлашиб оламиз.

Бундан ташқари, заряднинг сирт зичлиги тушинчасидан фойдаланамиз. Агар бирор S сирт бўйлаб q заряд миқдори текис тақсимланган бўлса, шу сиртнинг бирлик юзасига тўғри келадиган заряд миқдори билан катталиқ зарядларнинг сирт зичлиги дейилади ва σ (сигма) ҳарифи билан белгиланади.

$$\sigma = q/S = K/m^2 \quad (15.3)$$

Гаусс теоремаси —электростатиканинг асосий теоремасидир. Берк сирт орқали ўтаётган электр майдон кучланганлиги Φ_E оқими билан шу сирт ичида жойлашган заряд катталиги Q орасидаги боғланишни ифодалайди.

Берк S сирт орқали ўтаётган оқим Φ шу сиртнинг ҳамма элементлари орқали ўтаётган оқимлар йиғиндисига тенг. Бу теорема ХБТ (халқаро бирликлар тизими) да қуйидагича ёзилади:

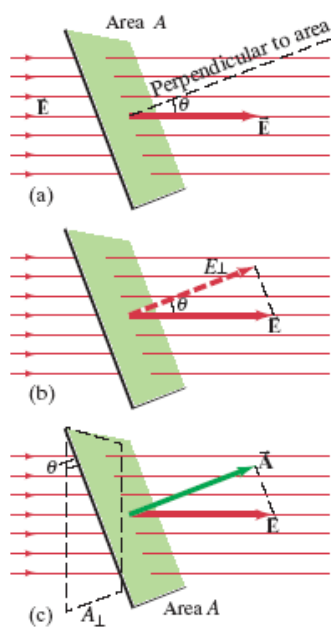
$$\Phi_E = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (15.4)$$

Бу ерда

$\Phi_E \equiv \oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S}$ — электр майдон кучланганлигининг бирор S ёпиқ сиртдан ўтувчи оқими. Q — S сирт билан чегараланган ҳажмдаги тўла заряд. ϵ_0 — электр доимийси.

Куч чизиқлари радиус бўйлаб йўналган. ($\mathbf{E} \perp S$). Шунинг учун оқим:

$$\Phi = E \cdot S = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \cdot 4\pi R^2 = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (15.5) \quad \text{га тенг.}$$



15.2-расм. А юзали сиртдан ўтувчи бир жинсли электр майдон \mathbf{E} (параллел кучланганлик чизиқлари тасвирланган), Бунда А юзали сиртнинг кучланганлик чизиқларига перпендикуляр жойлашган (а) ва кучланганлик чизиқларига перпендикуляр бўлмаган (б) кўринишлари тасвирланган. $\mathbf{A} \perp$ билан белгиланган штрихланган юза \mathbf{E} электр майдон кучланганлик чизиқларига перпендикуляр жойлашган кўриниши.⁴³

$$\Phi_E = EA \cos \theta,$$

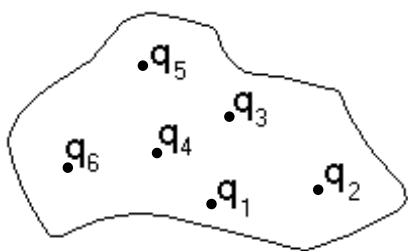
Бунда оқим юза ичидан ташқарига йўналган бўлса, у мусбат деб қабул қилинади, акс ҳолда манфий бўлади. Аввал R радиусли сферик юзани кўриб чиқамиз. Унинг марказида битта q заряд жойлашган. Формулага биноан сферанинг исталган нуқтасида кучланганлик бир хил бўлади:

$$\Phi_E = E_{\perp} A = EA_{\perp} = EA \cos \theta,$$

$$N \propto EA_{\perp} = \Phi_E,$$

Аввалги маърузада таърифлаганимиздек, S юза орқали кучланганлик векторининг оқими $\Phi = \mathbf{E} \cdot \mathbf{S}$ га тенг.. бунда $\mathbf{E} \perp \mathbf{S}$ деб ҳисобланади. Энди $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ зарядлар кучланганликларининг берк юза орқали оқимини топамиз 15.3- расм).

⁴³ Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, 461-463 б



$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \quad (15.6)$$

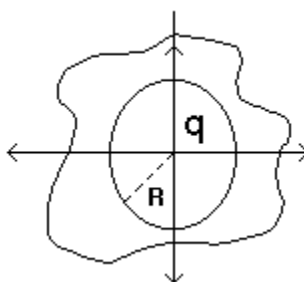
15.3-расм.

$q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$

зарядларнинг электр майдон кучланганлиги оқимини топиш учун Гаусс теоремасининг қўлланилиши

Энди сферани ихтиёрий берк юза билан қараймиз. Кўриниб турибдики, сферани кесиб ўтаётган ҳар бир кучланганлик чизиғи берк юзадан ҳам ўтади. Демак, (15.5) формула ҳар қандай исталган юза учун тўғри келаверади. Энди берк юза ичида n та заряд ҳосил бўлсин

Равшанки, юзадан чиқаётган (ўтаётган) кучланганлик чизиқлари оқими зарядларнинг ҳосил қилган оқимларининг йиғиндисига тенг:



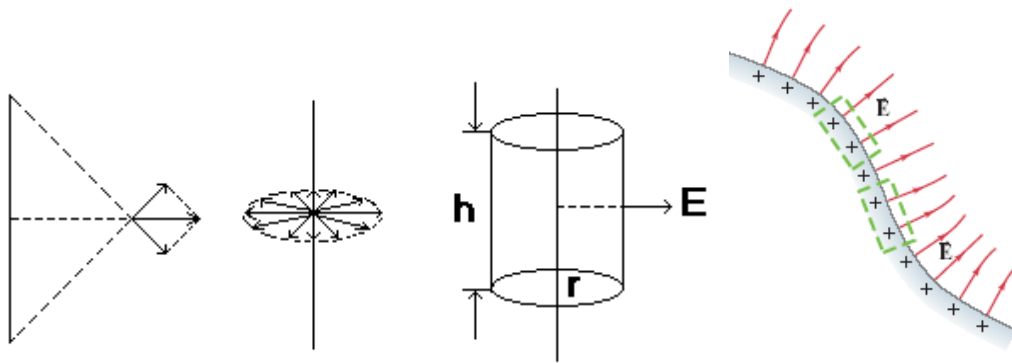
15.4-расм. Ичига n зарядни қамраган электр майдон кучланганлиги оқими ўтадиган берк сирт.

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{\epsilon_0} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i \quad (15.7)$$

Демак, берк юзани кесиб ўтувчи кучланганлик оқими шу юза ичидаги зарядларнинг алгебраик йиғиндисига пропорсианал экан. Бу Гаусс теоремаси деб аталади. Бу теорема ёрдамида ҳар хил шаклли зарядланган жисмларнинг майдон кучланганлигини топиш мумкин.

Гаусс теоремасининг қўлланилиши. Гаусс теоремаси электр заряди ва электр майдон кучланганлиги орасидаги боғланишни жуда қулай ва ажойиб шаклда ифодалашга имкон беради. Зарядлар тақсимооти оддий ва симметрик бўлганда бу теорема ёрдамида электр майдон кучланганлигини жуда осон топиш мумкин. Бироқ бунда интегралланувчи сиртни танлаб олиш лозим. Одатда танлаб олинган сиртда электр майдон кучланганлиги сиртнинг ҳамма нукталарида, ҳеч бўлмаганда сиртнинг бирор қисмида бир хил бўлишига ҳаракат қилинади.

1. Чексиз узун зарядланган тўғри симнинг майдон кучланганлиги.



15.5-расм. Зарядланган чексиз узун ўтказгичнинг электр майдон кучланганлигини аниқланаётган қисмининг кўринишлари ва кучланганлик векторларининг жойлашишлари.⁴⁴

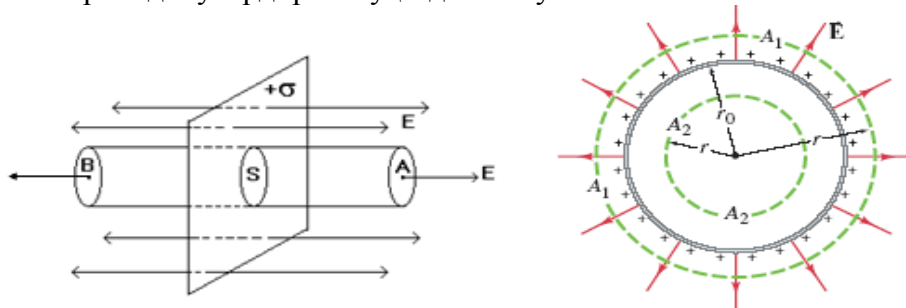
15.5-расмдан кўриниб турибдики, E симга перпендикуляр. Симни цилинрик юза билан ўраймиз. ρ -чизикли зичлик (бир метр узунликдаги заряд миқдори). Гаусс теоремасига асосан:

$$\Phi = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i^n q_i = \frac{\rho h}{\epsilon_0} \quad (15.8)$$

Бу йерда $\sum_i^n q_i = \rho h$ -цилиндр ичидаги заряд. Бошқачасига $\Phi = ES = E \cdot 2\pi r h$, ёки, $\frac{\rho h}{\epsilon_0}$

$$= E \cdot 2\pi r h, \text{ бундан } E = \frac{\rho}{2\pi\epsilon_0 r} \quad (15.9)$$

2. **Зарядланган чексиз текисликнинг майдон кучланганлиги.** Бу мисолда ҳам э юзага перпендикулярдир. A нуктадаги э кучланганликни топамиз.



15.6-расм¹

Юзага перпендикуляр бўлган цилиндр юзани чизамиз. Юза цилиндрни тенг иккига бўлади. Гаусс теоремасига асосан цилиндр юзадан ўтаётган оқим

$$\sum E_{\perp} \Delta A = E \sum \Delta A = E(4\pi r^2) = \frac{Q}{\epsilon_0},$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}, \quad [r > r_0]$$

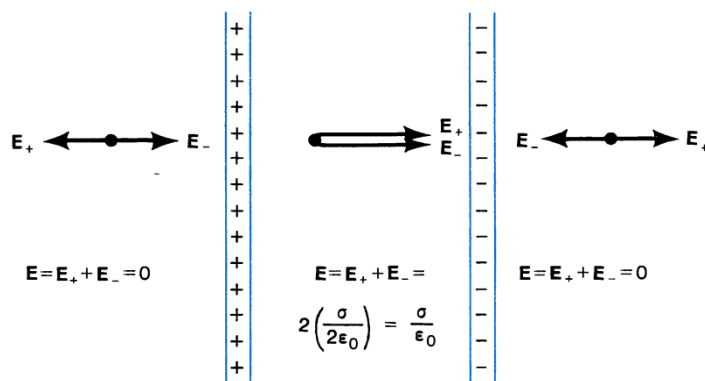
$$N = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i^n q_i = \frac{\delta S}{\epsilon_0} \quad (15.10) \text{ га тенг.}$$

Бу йерда δ -юза бирлигидаги заряд. Ёки $N = E \cdot 2S = \frac{\delta S}{\epsilon_0}$.

⁴⁴ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, 464 б

Демак, $E = \frac{\delta}{2\epsilon_0}$ (15.11) ва у юзадан бўлган масофага боғлиқ эмас.

3. Зарядланган икки параллел чексиз текислик ўртасидаги майдон кучланганлиги.



15.7-расм. Зарядланган чексиз пластинанинг натижавий электр майдон кучланганлиги.

$|\sigma^+| = |\sigma^-|$ бўлгани учун $E_+ = E_- = \frac{\sigma}{2\sigma_0}$ (15.12) текисликлар ўртасида $E = E_+ + E_-$ ва

$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ (15.13) бўлади.

Текисликлардан ташқарида $E = E_+ - E_-$. Шунинг учун ташқарида $E=0$. Демак, икки чексиз параллел текисликларда электр майдони бир жинсли бўлиб, улар фақат параллел текисликлар орасида бўлар экан [11].

ЭЛЕКТР ДИПОЛИ

Бирор кичик l масофада бир-бирига боғланган икки қарама-қарши $(+Q, -Q)$ ишорали зарядларга электр диполи дейилади. КЛ катталиқ дипол моменти деб аталади ва u ҳарфи билан белгиланади. Жуда кўп молекулалар дипол моментига эга, масалан икки атомли SO (S углерод атоми унча катта бўлмаган мусбат зарядга эга, q заряди эса унча катта бўлмаган манфий зарядга эга); Бу молекула тўлалигича олиб қаралганда нейтрал бўлишига қарамасдан, икки атом орасидаги электронлар тақсимооти бир хил эмас. Бундай молекулалар кутбли молекулалар дейилади. Лекин, бир хил атомли молекула орасида электронлар бир хил тақсимланади. Бундай молекулалар кутбсиз молекулалар дейилади. (O_2 га ўхшаш икки атомли симметрик молекулалар дипол моментига эга эмас. Бир жинсли электр майдонида жойлашган кутбли молекулаларнинг дипол моментини қараб чиқамиз. (15.8-расм.). Дипол моментини Ql абсолют қийматга тенг бўлган манфий заряддан мусбат зарядга томон йўналган p вектор кўринишида тасвирлаш мумкин. Бир жинсли электр майдонида жойлашган диполнинг мусбат зарядига QE , манфий зарядига $-QE$ кучлар таъсир қилади. Улар диполни марказига нисбатан айлантирувчи импульс моменти ҳосил қилади

$$\tau = QE \frac{l}{2} \sin \theta + QE \frac{l}{2} \sin \theta = pE \sin \theta, \quad (15.14)$$

ёки вектор кўринишида

$$\tau = p \times E. \quad (15.15)$$

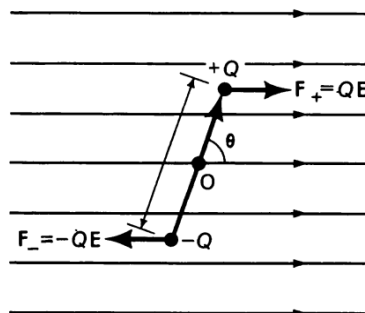
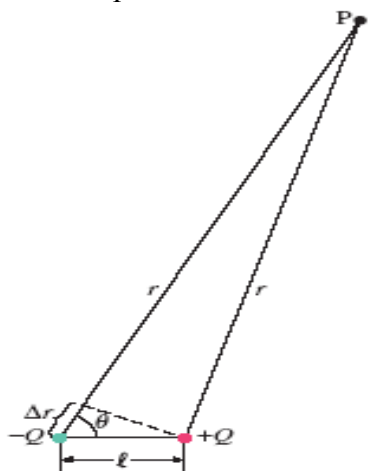
Натижада \mathbf{r} вектор \mathbf{E} га параллел бўлгунча дипол бурилади. Электр майдонини диполни θ_1 dan θ_2 бурчакка бурилгунча бажарган иши куйидаги ифодадан аниқланади.

$$W = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \tau d\theta = pE \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin \theta d\theta = pE (\cos \theta_1 - \cos \theta_2). \quad (15.16)$$

Натижада диполнинг потенциал энергияси камайтиши ҳисобига электр майдон иш бажаради. Агар а, қачонки, $\mathbf{p} \perp \mathbf{E} (\theta = 90^\circ)$, $U = 0$ бўлса, унда

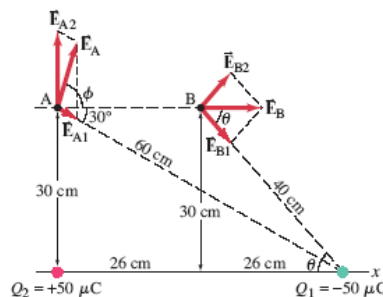
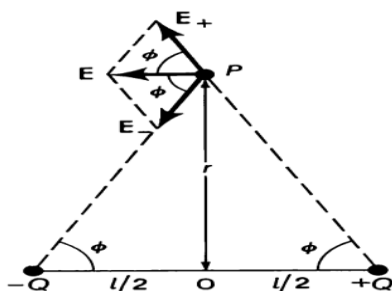
$$U = -W = -pE \cos \theta = -\mathbf{p} \cdot \mathbf{E}. \quad (15.17)$$

Агар электр майдон бир жинсли бўлмаса, мусбат ва манфий зарядларга таъсир қилувчи кучлар бир хил бўлмайди. Диполга натижавий куч таъсир қила бошлайди. Би ташқи электр майдонига жойлаштирилган диполни қараб чиқамиз:



15.8-расм. Бир жинсли электр майдонида жойлашган электр диполи.

Фараз қилайлик, ташқи майдон йўқ, диполнинг ўзи ҳосил қилган электр майдонини ўлчаймиз.



15.9-расм. Электр диполи ҳосил қилган электр майдон.⁴⁵

Соддалик учун 15.9-расмдаги дипол марказидан бирор R масофада жойлашган нуқтадаги электр майдон кучланганлиги миқдорини аниқлаймиз.

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_+ + \mathbf{E}_-, \quad (15.18)$$

⁴⁵ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, 466 б

Бу ерда E_+ ва E_- - Диполнинг мусбат ва манфий зарядлари ҳосил қилган қиймат жиҳатидан тенг бўлган электр майдон кучланганлиги:

$$E_+ = E_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{(r^2 + l^2/4)}. \quad (15.19)$$

Уларнинг y - R нуқтадаги компонентаси йўқолади, ва электр майдонининг абсолют қиймати қуйидагича аниқланади:

$$E = 2E_+ \cos \phi = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{Q}{(r^2 + l^2/4)} \frac{l}{2(r^2 + l^2/4)^{1/2}}, \quad (15.20)$$

ёки

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{(r^2 + l^2/4)^{3/2}} \quad [\text{дипол марказига перпендикуляр бўйлаб}]. \quad (15.21)$$

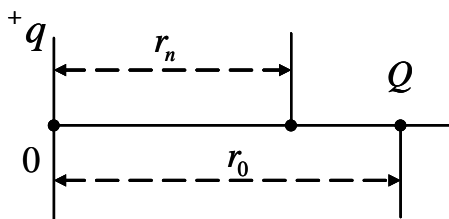
Диполдан йироқда $r \gg l$ эса бу ифода соддалашади:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3} \quad [\text{дипол марказига перпендикуляр бўйлаб, } r \gg l \text{ бўлганида}]. \quad (15.22)$$

Кўриниб турибдики, диполнинг электр майдони нуқтавий заряднинг электр майдонига қараганда масофа ортиши билан кўпроқ камайиб боради ($1/r^3$ -диполни, $1/r^2$ - нуқтавий зарядни электр майдон кучланганлигининг масофага боғлиқлиги).

ЭЛЕКТР МАЙДОНИДА ЖОЙЛАШГАН ЗАРЯДЛИ ЗАРРАНИ КЎЧИРИШДА БАЖАРИЛГАН ИШ.

q заряд ўзининг электр майдонда турган Q зарядга F куч билан таъсир қиляпти деб ҳисоблайлик (15.10-расм).



15.10-расм.

q заряд ўзининг электр майдонда турган Q заряд.

Бу кучнинг қиймати қуйидаги формула орқали топилади;

$$F = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (15.23)$$

Бу йерда p ўзгарувчан масофа, бу куч таъсирида q заряд ҳаракатга келади. O нуқтадан q нуқтага зарядни суришда бажарилган ишни ҳисоблаймиз.

$$A = \int_{r_0}^{r_n} F \cdot dr = qQ \int_{r_0}^{r_n} \frac{dr}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_0}^{r_n} \frac{dr}{r^2} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_n} \right) = q \left(\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r_0} - \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r_n} \right) \quad (15.24)$$

$W_p = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r}$ қиймат заряднинг берилган нуқтадаги потенциал энергияси деб аталади;

Агар зарядлар ўртасидаги масофа чексиз ортиб борса ($r \rightarrow \infty$) потенциал энергия нолга интилади. q ва Q зарядлар бир хил ишорали бўлса, улар ўртасида итариш кучи мавжуд бўлади ва потенциал энергия мусбат бўлади. Агар q ва Q зарядлар ҳар хил ишорали

бўлса, улар ўртасида тортишиш кучи мавжуд бўлади ва потентсиал энергия манфий бўлади.

$\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$ қиймат бир мусбат заряднинг ($q = +1C$) потенциал энергияси бўлиб, майдоннинг

потенциали деб аталади. Потенциал кўчирилаётган заряд микдорига боғлиқ эмас, у майдонни ҳосил қилувчи заряд Q га боғлиқ. (15.24) ни (15.23) га қўямиз ва

$$A = q(\varphi_0 - \varphi_n) \quad (15.25)$$

ни ҳосил қиламиз. $q = 1$ бўлса:

$$\varphi_0 - \varphi_n = A \quad (15.26)$$

Демак, икки нукта потенциаллари фарқи шу нукталар ўртасида бир бирлик мусбат зарядни кўчиришда бажарилган ишга тенг экан. Агар зарядни майдон кучларига қарши чексизга суриб қўйилса ($r_n \rightarrow \infty$), у ҳолда $\varphi_n = 0$ ва

$$\varphi_0 = \frac{A}{q} \quad (15.27)$$

бўлади. Демак, берилган нуктадаги бир бирлик мусбат зарядни нуктадан чексизга суриб боришда бажарилган ишга тенг экан.

(27) формуладан потенциалнинг бирлиги 1 Вольтни чиқарамиз:

$$1V = \frac{1J}{1C}$$

Демак, 1 Вольт шундай нуктанинг потенциалики шу нуктадан 1 Кулонни чексизга

суришда бажарилган иш 1 Жоулга тенг. $E = \frac{F}{q} = \left[\frac{N}{C} = \frac{V}{m} \right]$ эканлигини

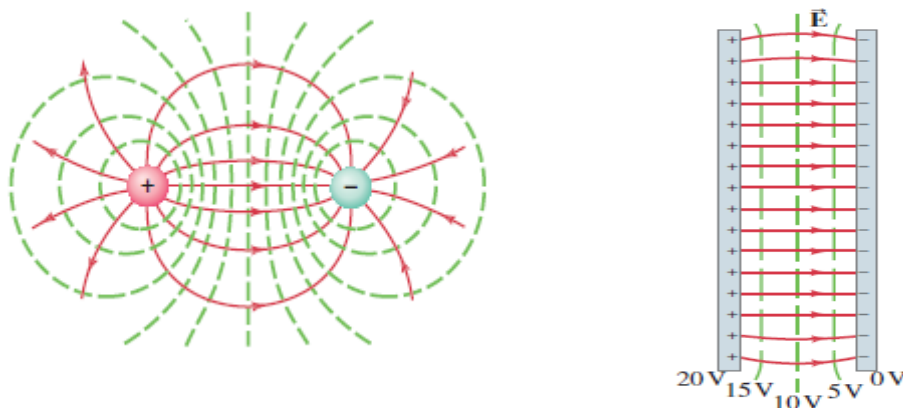
энди исботласа бўлади. Демак

$$\frac{N}{C} = \frac{N \cdot m}{C \cdot m} = \frac{Joul}{C \cdot m} = \frac{V}{m}$$

Агар майдонни ҳосил қилувчи заряд Q манфий бўлса, у ҳолда мусбат бирлик зарядни чексизликка кўчиришда бу заряд қаршилиқ кўрсатади (манфий иш бажаради). Манфий зарядни потентсиали эса манфий бўлади. Агар Q мусбат бўлса, у ҳолда майдон мусбат бирлик зарядни чексизга ўзи кўчиради. Бунда заряд мусбат иш бажаради. Демак мусбат заряднинг потентсиали ҳам мусбат бўлади:

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (15.28)$$

Эквипотенциал чизиклар (сиртлар). Биз кўрдикки, зарядни электр майдонда кўчиришда бажарилган иш йўлнинг шаклига эмас, балки бошланғич ва охириги нукталардаги потенциаллар айирмасига боғлиқ экан. Демак электр кучлари потенциал кучлар экан. Потенциаллар бир хил бўлган нукталардан иборат юза ёки чизик эквипотенциал сирт (ёки чизик) деб аталади. (25) дан кўриниб турибдики, эквипотенциал сирт (ёки чизик)да зарядни кўчиришда бажарилган иш нолга тенг (чунки $\varphi_0 = \varphi_n$). Демак, майдоннинг куч чизиклари эквипотентсиал сирт (чизик)га перпендикуляр экан.



15.11-расм. заряднинг эквипотентсиал сиртларининг кўриниши.

Шундай қилиб, электр майдон иккита параметр билан белгиланар экан: майдон кучланганлиги \vec{E} ва потентсиал φ . Э-вектор катталик, φ -еса скаляр катталикдир.

E ва φ ўртасидаги боғланиш. Фараз қилайлик, мусбат q заряд потентсиали φ_0 бўлган юзадан потентсиали $\varphi_n < \varphi_0$ бўлган юзага майдон таъсирида кўчирилсин. Агар кўчиш dx кичик бўлса, $E = \text{const}$ деб ҳисобланиши мумкин ва шунда бажарилган элементар иш

$$\Delta A = qE\Delta x \quad (15.29) \quad \text{га тенг.}$$

Бошқа нуқтаи назардан,

$$\Delta A = q(\varphi_0 - \varphi_n) = q\Delta\varphi \quad (15.30)$$

Бу икки формулани солиштирсак;

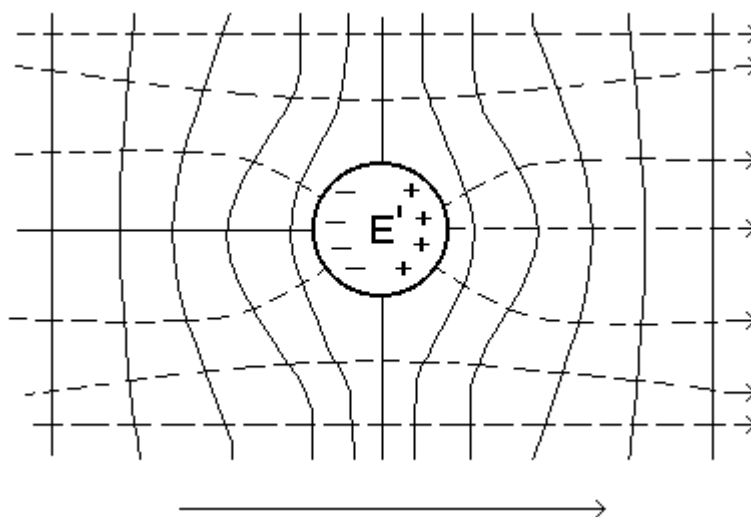
$$qE\Delta x = q\Delta\varphi \quad (15.31)$$

Бундан

$$E = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = -\text{grad}\varphi \quad (15.32)$$

бу ерда минус ишора шунинг учун қўйилганки, кучланганлик вектори E потенциалнинг камайиш йўналиши бўйлаб йўналган, аксинча, потенциал градиенти потентсиалнинг кўпайиш (ортиш) томонига қараб йўналган. Демак, \vec{E} қиймат жиҳатдан потенциал градиентига тенг, йўналиши бўйича эса унга тескари йўналган.

Агар металл шарчани бир жинсли электр майдонига жойлаштирилса, майдон таъсирида эркин электронлар чапга қараб ҳаракатланиб шарнинг чап юзаси манфий, ўнг юзаси мусбат зарядланиб қолади. Бу ҳодиса электростатик индукция деб аталади. Зарядларнинг ҳаракати туфайли ҳосил бўлган ички майдон ташқи майдонга қарама қарши йўналган бўлади. Ҳаракат эса, ички майдон ташқи майдонга тенглашгунча давом этади. Натижада ташқи электр майдонга киритилган ўтказгич ичида электр майдони бўлмайди. Бундан ташқари ўтказгич юзасидаги нуқталарда потенциал бир хил бўлади ва куч чизиқлари юзага перпендикуляр бўлади (15.12-расм).



15.12-расм. Шарчада рўй бераётган электростатик индукция.

Бундан ташқари электр майдон ичи бўш шарда ҳам нол бўлади. Бу ҳодисага электростатик ҳимоя асосланган:

Агар бир қурилмани ташқи майдондан ҳимоя қилиш керак бўлса, уни метал сетка ичига қўйилади [12].

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Кучланганлик, пластинка, сирт, заряд, дипол, кучланганлик оқими, электр доимийси, заряднинг чизиқли зичлиги, заряднинг сирт зичлиги,

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Электр майдон кучланганлиги оқими нимага тенг?
2. Гаус теоремасини математик ифодасини тушунтиринг?
3. Узунлиги чексиз ва тўғри чизиқ шаклли зарядланган симнинг r масофадаги электр майдоннинг ҳисобланг?
4. Зарядланган чексиз тексликнинг ва зарядланган бир - бирига параллел икки тексликнинг электр майдони кучланганлигини аниқланг?
5. Сирт зичлиги ва чизиқли зичликларни изоҳланг?
6. Зарядланган ясси пластинка атрофидаги электр майдон қандай ифодаланади?
7. Икки параллел зарядланган пластинка оралиғида ҳосил бўладиган майдон кучланганлигини ёзинг?

Амалий машғулот

Электростатик майдон кучланганлик векторининг оқими. Гаусс теоремаси

1. Радиуси 15 см бўлган доира кучланганлиг $E = 3,6 \cdot 10^2$ Н/Кл бўлган бир жинсли электр майдонига жойлаштирилган. Майдон кучланганлиги нимага тенг? а) агар унинг куч чизиқлари доира юзасига перпендикуляр бўлса, б) агар унинг куч чизиқлари доира юзасига 45° ҳосил қилса, в) агар унинг куч чизиқлари доира юзасига параллель бўлса.

2. Нуқтавий Q заряд томони ℓ тенг бўлган кубнинг марказига жойлаштирилган. Кубнинг бир қиррасида электр майдон кучланганлиги нимага тенг?

3. Радиуси R бўлган ярим сферанинг ўқиға параллел ва кучланганлиги E бўлган бир жинсли электр майдон берилган. Сфера юзасидаги электр майдон кучланганлиги нимаға тенг? Агар E вектори сфера ўқиға перпендикуляр бўлса натижа қандай бўлади?

4. Диаметри $d = 1$ см бўлган мис шар ёғ ичиға жойлаштирилган. Ёғнинг зичлиги $\rho = 800$ кг/м³. Агар бир жинсли электр майдонидаги шар ёғ ичида муаллақ бўлса, шарнинг заряди қанча бўлади? Электр майдони вертикал юқорига йўналган бўлиб, унинг кучланганлиги $E = 36000$ В/см.

5. Томони 18 см бўлган куб ичидан $1,45 \cdot 10^3$ Н·м²/Кл бўлган электр майдон оқими ўтмоқда. Куб ичидаги заряд нимаға тенг?

6. Радиуси 3 см шар юзасидаги электр майдон кучланганлиги $2,1 \cdot 10^2$ Н/Кл га тенг ва шар томон йўналган. Шар қандай зарядға эға?

7. Ер юзасидаги электр майдон кучланганлиги $E \approx 150$ Н/Кл тенг ва Ер марказиға йўналган. а) Ердаги зарядлар қиймати нимаға тенг б) 1 м^2 Ер юзасида ортиқча электронлар сони нимаға тенг?

8. Томони 20 см бўлган алюминийдан таёрланган квадрат лист 35 нКл заряд билан текис тақсимланган. Листда а) 1,0 см б) 15 м масофада жойлашган нуктадаги электр майдон кучланганлиги нимаға тенг?

9. $R = 1$ см радиусли зарядланган шар марказидан $r = 10$ см узокликдаги майдон нуктасининг потенциали топилсин. Масала қуйидаги ҳоллар учун ечилсин: 1) шар зарядининг сирт зичлиги $\sigma = 0,1$ мкКл/м²; 2) шарнинг потенциали $\varphi = 300$ В га тенг.

10. Чексизликдаги $q = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл га тенг нуктавий зарядни, сирт зичлиги $\sigma = 10$ мкКл/м² бўлган, $R = 1$ см радиусли шар сиртидан $r = 1$ см узокликдаги нуктаға келтиришда қандай иш бажарилади?

11. Массаси $m = 1$ гр ва заряди $q = 10$ нКл бўлган шарча потенциали $\varphi_1 = 600$ В га тенг бўлган A нуктадан потенциали $\varphi_2 = 0$ га тенг бўлган B нуктаға кўчирилди. Агар шарча B нуктада $v_1 = 20$ см/сек тезликка эришган бўлса, унинг A нуктадаги v_2 тезлиги қандай бўлади?

12. Зарядланган чексиз текислик яқинида $q = 0,66$ нКл нуктавий заряд турибди. Майдоннинг таъсири натижасида заряд куч чизиклари бўйлаб $r = 2$ см га силжийди ва бунда $A = 490$ Ж иш бажарилади. Текисликдаги заряднинг сирт зичлиги топилсин.

ЭЛЕКТРОСТАТИК МАЙДОНДА ДИЭЛЕКТРИК.

Режа

1. Диэлектрикларнинг турлари.
2. Электр майдонда диэлектрикларнинг қутубланиши.
3. Диэлектрикдаги электростатик майдон учун Гаус теоремаси.
4. Диэлектрик сингдирувчанлик.
4. Пьезоэлектриклар, сегнетоэлектриклар ва уларнинг техникада қўлланилиши.

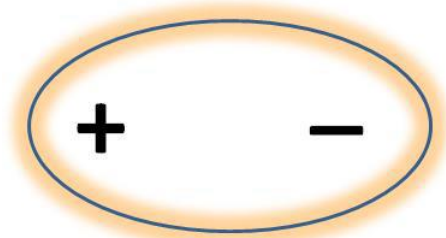
Жуда кўп конденсатор пластинкалари орасиға изоляцияланган материаллар (диэлектрик) , масалан: қоғоз, пласмасса қўйилади. Бу билан бир қанча мақсадларға эришиш мумкин. Биринчидан, “ электр тешилиш ” га диэлектриклар хаво нисбатан яхши қарши туради ва конденсаторға юқори кучланиш бериш мумкин. Иккинчидан , диэлектрик бўлганда конденсатор пластинкаларини бир – бириға жуда яқин жойлаштириш мумкин. Яна тажрибалар билан аниланганда конденсатор қопламаларини орасиға диэлектрик билан тўлдирилса, унинг сиғими анчаға ошади .

Диэлектрикларда эркин электронлар мавжуд бўлмаган моддаларга айтилсада, улар ҳамма моддалар каби атом ва молекулалардан тошкил топган.

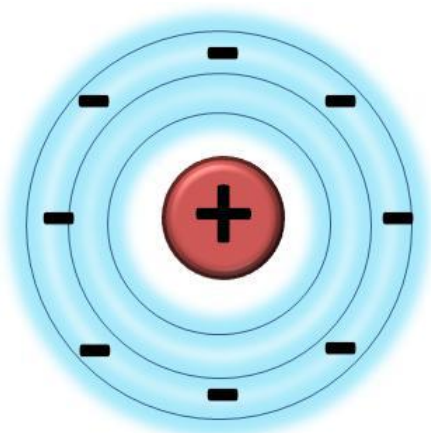
Агар молекулалар ядродаги мусбат зарядларни мусбат зарядлар “оғирлик” марказида ётган зарядлар йиғиндиси $+q$, барча электронларнинг зарядини эса манфий зарядларнинг “оғирлик” марказида бўлган манфий зарядлар йиғиндиси $-q$ билан алмаштирсак, унда молекулани $P = q_l$ электр моментига эга бўлган электр дипол сифатида қараш мумкин.

Тузилишига қараб диэлектриклар уч гуруҳга бўлинади. Биринчи гуруҳ диэлектрикларга молекулалари симметрик тузилишга эга, яъни ташқи майдон бўлмаганда мусбат ва манфий зарядларнинг оғирлик марказлари мос келадиган диэлектриклар киради. Табиийки бундай диэлектрик молекулаларининг дипол моментлари нолга тенг бўлади ва уларга қутбланмаган молекулалар дейилади. Қутбланмаган молекулали диэлектрикга бензол, парафин, водород, кислород, полиетиен, азот ва бошқалар киради.

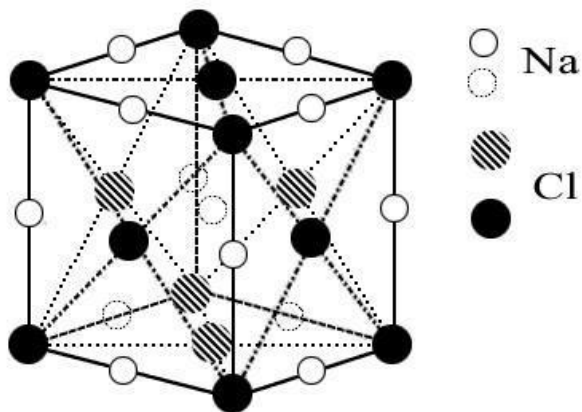
Иккинчи гуруҳ диэлектрикларга молекулалари ассиметрик тузилишга эга, яъни мусбат ва манфий зарядларнинг оғирлик марказлари мос келмайдиган диэлектриклар киради. Бундай диэлектрикнинг молекулалари ташқи майдон бўлмаганда ҳам дипол моментига эга бўлади ва молекулаларига қутбланган дейилади. Ташқи майдон



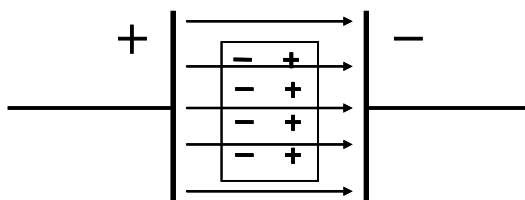
бўлмаганда қутбланган молекулаларнинг дипол моментлари иссиқлик ҳаракати натижасида бетартиб йўналган бўлиб, уларнинг натижавий моменти нолга тенг бўлади. Иккинчи гуруҳ диэлектрикларга фенол, сув, аммиак, ис гази ва бошқалар киради.



Учинчи гуруҳ диэлектрикларга молекулалари ион тузилишга эга бўлган моддалар киради. Бундай моддаларнинг тузилиши турли ишорали ионлар батартиб такрорланадиган фазовий панжарадан ибарат. Шунинг учун уларда молекулаларини алоҳида ажратиш имкони бўлмай, бир – бири томон силжиган ион панжараларнинг системасини қараш мумкин. Бундай диэлектрикларга ош тузт, калий хлорид, цезий хлорид ва бошқалар киради.

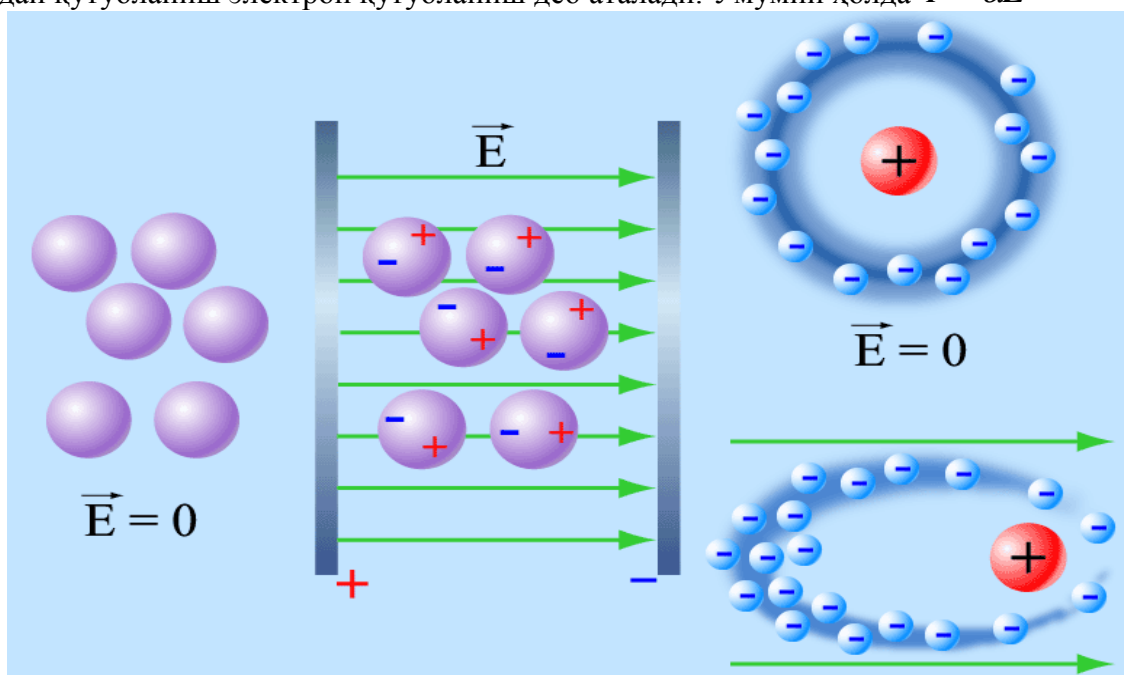


Агар диэлектрик электр майдонига киритилса, у кубланади (поляризацияланади). Диэлектрикка куч чизиқлари кирган томон манфий зарядланади, тескари томони-мусбат зарядланади. Лекин бу электростатик индукция эмас, чунки металлдаги элетронлар эркин, улар майдон таъсирида ҳаракатланадилар. Диэлектрикда эса эркин элетронлар йўқ, улар боғланган. Шунинг учун диэлектрикдаги кутубланиш электронларнинг молекула (ёки атом) ичида силжиши билан боғланган бўлади. Агар диэлектрик поляр молекулалардан тузилган бўлса, у ҳолда кутубланган молекулаларнинг бурилиши туфайли юз беради.



Диэлектрикларнинг учтурига мос равишда кутубланиш ҳам уч турга ажратилади.

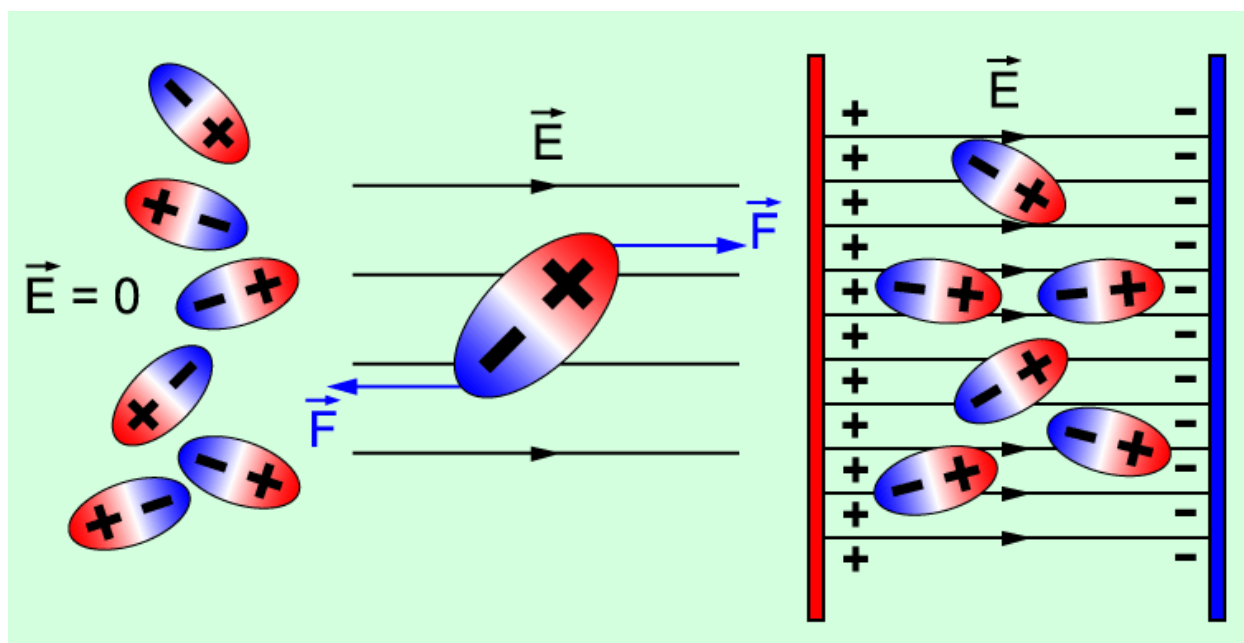
1. Нополяр молекулалардан иборат диэлектрик кутубланиш. Нополяр молекула (ёки атом) электр майдонига киритилса унинг электрон булути бир томонга, ядроси қарама-қарши томонга силжийди, натижада молекула дипол моментга эга бўлиб қолади. Диэлектрик эса бир тарафи манфий, иккинчи тарафи эса мусбат зарядга эга бўлиб қолади. Бундай кутубланиш электрон кутубланиш деб аталади. Умумий ҳолда $P = \alpha E$



1-расм

2. Поляр молекулалардан тузилган диэлектрик кутубланиши. Баъзи молекулалар электр нуқтаи назардан носимметрикдир, шунинг учун уларда доимий дипол momenti бўлади. Мисол сифатида сув, аммиак, эфир, атцетон ва бошқаларни келтириш мумкин. Иссиқлик ҳаракати туфайли бу молекулалар хаотик ҳаракатда бўлади, бу эса молекулаларнинг дипол моментлари ҳар хил йўналишда бўлишига олиб келади (17.2-расм). Шунинг учун диэлектрик кутубланмаган бўлади. Энди бу диэлектрикни электр майдонига олиб кирсак, поляр молекулалар майдон йўналишига қараб бурила бошлайди,

натижада у қутубланиб қолади. Электр майдон ўчирилса, қутубланиш ҳам йўқолади, чунки поляр молекулалар хаотик иссиқлик ҳаракатини давом эттирадилар. Бунда дипол моментлар ҳар хил йўналишга қараган бўлиб қолади ва дипол моментлари йиғиндиси нолга тенг бўлади. Бундай қутубланиш ҳолатли қутубланиш деб аталади. Лекин шундай диэлектриклар бор-ки, уларда қутубланиш электр майдон ўчирилгандан сўнг ҳам сақланади. Бундай диэлектриклар сегнетоэлектриклар деб аталади. Сегнетоэлектрикларда кичик ҳажмли соҳалар бўлиб, уларда дипол моментли молекулалар бир хил йўналишда “ўз-ўзидан” терилиб қолади. Бу микроскопик ҳажмлардаги молекулалар электр майдон таъсирида ҳаммаси биргаликда буриладилар. Шунинг учун электр майдон ўчирилганда оддий хаотик ҳаракат молекулаларнинг оріентациясини бузаолмайди. Бунга кўпроқ энергия керак бўлади. Бу ишни юқори температурада бажариш мумкин. Сегнетоэлектрикларга мисол: сегнет тузи ($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) ва барий титанати (BaTiO_3).



3. Ташқи майдон таъсирида кристал панжаралардаги мусбат ионларнинг майдон бўйлаб , манфий ионларнинг эса қарама қарши томонга силжиши рўй беради ва дипол моментининг хоси бўлишига сабаб бўлади.

Қутбланганлик. Демак , диэлектрик ташқи майдонга киритилганда қутбланади, яъни нолдан фарқли дипол моментига эга бўлиб қолади. Диэлектрикнинг диполнинг қуйидагича аниқланади:

$$\vec{P}_V = \sum_i \vec{P}_i$$

бу ерда P_i – битта молекуланинг дипол momenti .

Демак , диэлектрикнинг дипол momenti ундаги молекулалар дипол моментларининг геометрик йиғиндисига тенг бўлар экан.

Диэлектрикнинг кўп ёки кам қутбланганлигини баҳолаш учун қутбланганлик дейилувчи вектор катталиқдан фойдаланилади. Қутбланганлик деб диэлектрикнинг бирлик ҳажмига тўғри келувчи дипол momenti билан аниқланадиган катталиқка айтилади:

$$\vec{P} = \frac{p_v}{V} = \frac{\sum_i p_i}{V}$$

бу ерда V - диэлектрикнинг ҳажми.

Изолятор диэлектриклар учун қутбланганлик қўйилган майдон куланганлигига пропорционал:

$$\vec{P} = \chi \epsilon_0 \vec{E}$$

Бу ерда χ диэлектрик қабул қилувчанликчанлик дейилиб, моддаларнинг тузилиши ва температурасига боғлиқ. ϵ_0 бирликсиз катталиқ бўлиб, қиймат доимо нолдан катта:

$$\chi > 0$$

Демак қутбланганлик P доимо диэлектрик турган ташқи электр майдони E бўйлаб йўналган бўлади.

Электр майдонидаги диэлектрик

Зарядланган жисм ўзида эркин зарядлар деб аталувчи: электрон ва мусбат (манфий) зарядланган ионлардан иборат. Электрик дипол электр нейтрал бўлса ҳам ўзида мусбат ва манфий зарядларни сақлайди. Бу зарядлар боғланган дейилади.. Боғланган зарядларнинг электр майдонини хаотик тартибсиз жойлашган диполлар ўзаро компенсациялайди. Тақи майдонда E_0 диполлар ориентацияланади ва боғланган зарядлар диэлектрикнинг қарама қарши юзаларида копенсацияланмай холда қолади .

Диэлектрик ичида боғланган зарядлар ҳосил қилган E^1 майдон эркин зарядлар ҳосил қилган майдонга E_0 қарама қарши йўналган. Диэлектрик ичидаги натижавий майдон вакуумдаги зарядлар ҳосил қилган кучланганлик майдонидан кичик ва

$$E = E_0 - E' \quad \text{тенг.}$$

Боғланган зарядлар эркин зарядлар каби электр майдон чизиқлари манбаси ҳисобланади. Шунинг учун боғланган зарядлар ҳисобга олинган ҳолда Гаусс теоремасини қуйидаги кўринишда тасвирлаш мумкин

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{q' + q}{\epsilon_0}$$

Электр силжиш

Электр майдон кучланганлиги муҳитнинг хусусиятига боғлиқ. Бундан ташқари диэлектриклар чегарасидан ўтганда ,сакраб ўзгаради. Шунинг учун зарядлар системасини электр майдонини диэлектрикларнинг қутбланиш хусусиятини ҳисобга олган ҳолда электр силжиш вектори тушунчасини киритамиз.Бу изотроп муҳит учун қуйидагича ёзилади

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E} = \varepsilon_0 (1 + \chi) \vec{E} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

Электр силжиш бирлиги – Кл/м².

D вектор эркин зарядлар ҳосил қилган электр майдонни тасвирлайди (вакуумда).

Кучланганлик чизиклари учун ҳам электр силжиш тушунчасини киритиш мумкин. Боғланган зарядлар бор соҳадаги майдондан D вектор чизиклари узилмасдан ўтади.

Ихтиёрий берк юза учун D оқим вектори

$$\Phi_D = \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \oint_S D_n dS$$

буерда $D_n = D \cos \theta$ юзага проекцияси.

Диэлектрикдаги электростатик майдон учун Гаусс теоремаси

Ихтиёрий юзадан ўтувчи диэлектрикдаги электростатик силжиш вектори оқими бу юза ичидаги қамалган эркин зарядлар нинг алгебраик йиғиндисига тенг

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \oint_S D_n dS = \sum_{i=1}^n q_i \quad \rho = \frac{dq}{dV}$$

Хажмий зичликка эга бўлган фазодаги узлуксиз тақсимланган зарядлар учун Гаусс теоремасини кўриниши қуйидагича

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV$$

Диэлектрикдаги майдон учун Гаусс теоремасини умумлаштирсак

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

Шундай қилиб, D вектор шуниси билан қулайки унинг оқимини биргина эркин заряд билан ҳисоблаш мумкин. D векторнинг чизиклари фақат эркин зарядлар билан бошланиб ва унда тугайди.

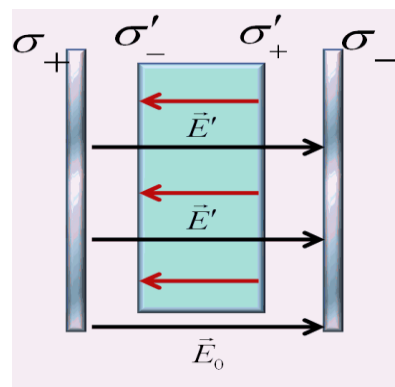
Бу $P = \chi \varepsilon_0 E$ формулани $D = \varepsilon_0 E + P$ га қўйсак

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}$$

ни ҳосил қиламиз.

$$\varepsilon = 1 + \chi = \frac{E_0}{E}$$

буерда ўлчамсиз катталиқ бўлиб муҳитнинг диэлектрик ўтказувчанлиги дейилади.



Диэлектрик ўтказувчанлик шундай катталики вакуумга нисбатан диэлектрикдаги кучланганлик майдони неча марта кучсизланганлигини билдиради. Диэлектрик ўтказувчанликни физик маъноси шуки у диэлектрик ичидаги электр майдон кучланганлигининг ва зарядларнинг ўзаро таъсирини

$$E = \frac{E_0}{\varepsilon}$$

ва зарядларнинг ўзаро таъсирини

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r^2} = \frac{F}{\varepsilon}$$

қанчага камайганини кўрсатади.

Масалан суюқ диэлектрикдаги нейтрал молекулаларда мусбат ва манфий зарядлар орасидаги тортишиш кучи камаяди. Иссқлик харакати келтириб читқарган тўқнашиш хисобига нейтрал молекулалар мусбат ва манфий зарядларга бўлинади. Бундай жараён электролитларда юз беради ва электролит диссоциацияси дейилади. Диссоциация натижасида суюқликни электр ўтказувчи қиладиган эркин зарядлар пайдо бўлади.

Диэлектрик бўлмаганда майдон кучланганлиги

$$E_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

билан аниқланади (σ - эркин зарядларнинг юза зичлиги).

Демак диэлектрик йўқ бўлганда

$$D = \sigma$$

Агар пластинкалар орасига диэлектрик жойлаштирилса D нинг қиймати ўзгармайди, чунки у фақат эркин зарядлар билан аниқланади. Аммо E нинг қиймати ўзгаради

$$E = \frac{D}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{E_0}{\varepsilon}$$

Сегнетоэлектриклар

Қаттиқ ҳолатдаги баъзи химиявий бирикмаларнинг диэлектрик хоссалари жуда ғалати ва қизиқ бўлади. Дастлаб бу хоссалар сегнет тузи кристалларида топилган ва шунинг учун шунга ўхшаш барча диэлектриклар сегнетоэлектриклар деб аталади. Сигноэлектриклар деб, шундай кристал диэлектрик-ларга айтиладики у ни ташкил этувчи зарраларининг диполь электр майдони ташқи электр майдон бўлмаганда ўз – ўзидан ориентацияланиш содир бўлади Масалан: сегнето тузи $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; титанат бария BaTiO_3

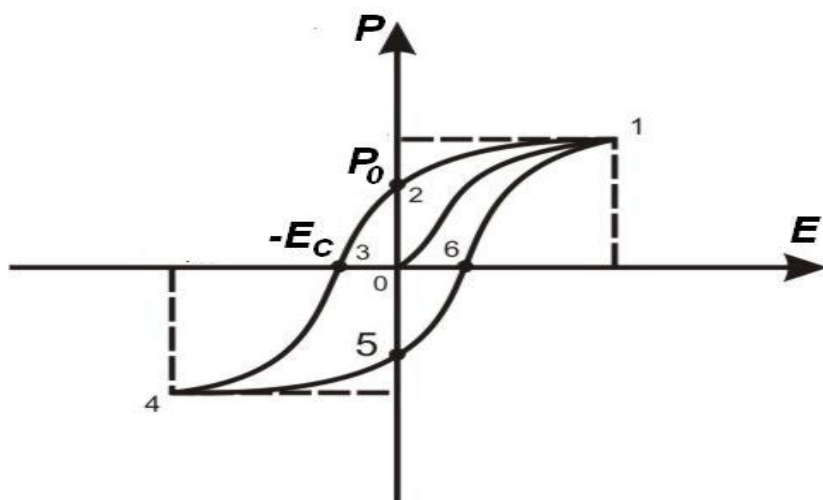
Сегнет тузининг биринчи хоссаси шундаки , бирор температура интервалида унинг диэлектрик сингдирувчанлиги жуда катта бўлиб , қиймати 10000 га яқин бўлади. Температура бирор қийматидан ортганда (бу температура турли моддалар учун турлича бўлади) сегнетоэлектрик хоссалари йўқолади ва сегнетоэлектриклар оддий диэлектрикка айланади. Бу температуранинг Кюри шарафига Кюри температураси ёки Кюри нуқтаси дейилади.

Сегнет тузининг иккинчи муҳим хоссаси электр силжишнинг майдон кучланганлигига боғлиқлигини тадқиқ қилишда қайд қилинади. Силжиш майдонга пропорционал бўлмай қолади, демак, диэлектрик сингдирувчанлиги майдон кучланганлигига боғлиқ. Бу боғлиқлик турли сегнетоэлектриклар учун турлича.

Учинчи хоссаси шундан иборатки, сегнет тузида электр силжишнинг қиймати фақат майдон кучланганлигининг қиймати билан эмас, балки қутбланишнинг олдинги ҳолатларига ҳам боғлиқ.

Қутбланишнинг майдон кучланганлигига боғланиши чизикли характерга эга эмас. Агар ташқи майдонни камайтирсак қутбланиш ўзининг олдинги чизиги бўйича қайтмайди. Майдоннинг камайтилиши билан қутбланиш ҳам камайтири кечикади. Бу ҳодиса гистерезис деб аталади.

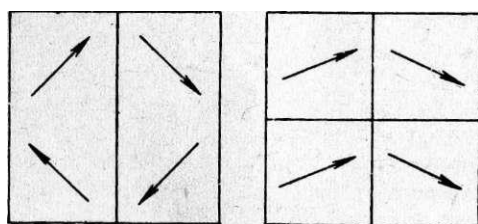
Қутбланишнинг майдон кучланганлигига боғлиқлигини кўрсаткичи , майдоннинг дастлабки ортишида қутбланишнинг ўсиши эгри чизик тармоғи 1 бир билан тасвирланган . Агар электр майдон камайтирилса , унда қутбланишнинг камайтилиш эгри чизик тармоғи 2 бўйича бўлади. Майдон нолга тенглашганда, қутбланиш нолга тенг бўлмайди. Бу сегнет тузида қолдиқ қутбланиш борлигини билдиради. ва ташқи электр майдон бўлмаганда ҳам сегнет тузи қутбланган бўлиб қолади. Қолдиқ қутбланиш ни йўқотиш учун тескари йўналишдаги электр майдон ҳосил қилиш керак. Электр майдонни бундан кейинги циклик ўзгаришидаги силжиш ўзгаришии ҳалқасимон эгри чизик – гистерезис ҳалқаси орқали тасвирланган.



Бу хоссалар фақат сегнет тузи учун эмас , балки ҳамма сегнето-электриклар учун тааллуқлидир.

Сигнетоэлектриклар доменлардан ташкил топган. Улар қутбланиши хар хил йўналишли эга бўлган соҳалардан иборат.

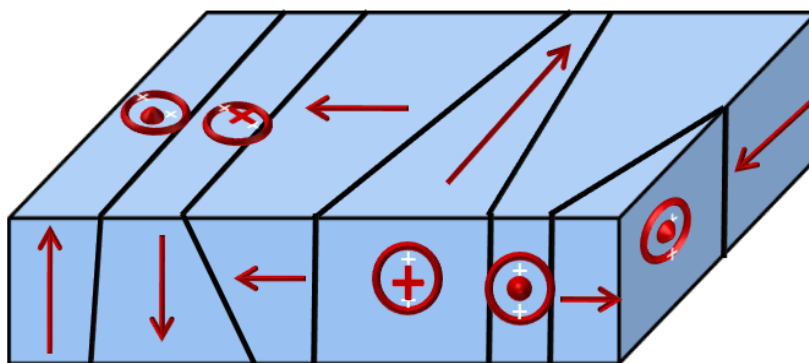
Сегнетоэлектрик хоссаларнинг вужудга келишига сабаб, сегнетоэлектрикларда зарралар орасида кучли ўзаро таъсир остида содир бўладиган ўз-ўзидан қутбланишдир. Бу ўзаро таъсир натижасида сегнетоэлектриклар алохида соҳаларга — ўз-ўзидан қутбланиш соҳаларига тақсимланади. Ўз-ўзидан қутбланиш соҳаларида ҳатто ташқи электр майдон бўлмаганда ҳам катта электр момент пайдо булади.



а)

б) расм

Оддий шароитларда ўз-ўзидан қутбланиш намоён булмайди. Агар кўрсатилган соҳалар кичик бўлса, унда қутбланиш вектори турли соҳаларда турлича йуналган ва бутун сегнетоэлектрик электр моментининг натижавий қиймати нолга якин (а раем). Бундай жойлашиш минимум энергияга тўғри келади, акс холда сегнетоэлектрик атрофида қушимча энергияга эга бўлган электр майдон пайдо булар эди. Агар ўз-ўзидан қутбланиш соҳаси катта бўлса ёки агар кристаллнинг ҳаммаси битта шундай соҳадан



иборат бўлса,

унда одатда қутбланиш намоён бўлмайди, чунки кристалл сиртида кристаллнинг қутбловчи зарядларини компенсациялайдиган сиртий зарядлар ҳосил бўлади (ҳаводан ионларнинг ўтириши туфайли ёки кристаллнинг электр ўтказувчанлиги ҳисобига шундай бўлади). Шунинг учун иккала ҳолда ҳам сегнетоэлектрикнинг бирор сабабларга кўра пайдо бўладиган электр момент ўзгаришини кузатиш мумкин.

Ташқи электр майдонда айрим соҳаларда қутбланиш йўналишининг ўзгариши рўй беради. Бу ўзгариш шундайки, қутбланиш векторлари майдон йўналишига параллел бўлган вазиятга яқинлашади ва майдон қанчалик кучли бўлса, у шу вазиятга қанчалик кучли яқинлаша боради (б- расм). Шунинг учун бутун сегнетоэлектрикларнинг электр моменти

ўзгаради ва бу ўзгариш унинг қутбланиши каи қабул қилинади. Ўз- ўзидан қутбланиш соҳаларининг бўлиши сегнетоэлектрикларнинг энг умумий ва аниқ белгисидир.

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Диэлектрик, атом, электрон, майдон, қутубланган молекула, қутубланмаган молекула, молекуланинг дипол моменти, қутубланиш вектори, колдик қутубланиш, сегнетоэлектриклар.

Назорат саволлари

1. Электр майдонда диэлектрик қандай қутбланади?
2. Диэлектрик сингдирувчанликнинг физик маъноси қандай?
4. Сегнетоэлектрик нима ва у қандай қутбланади?
5. Сегнетоэлектрик жисмларга, температуре қандай таъсир қилади?
6. Диэлектрикларнинг асосий хусусияти нимада?
7. Диэлектрик электр майдонига киритилса қандай ҳодиса рўй беради?
8. Сегнетоэлектрик жисмларнинг электр майдонидаги хусусиятини тушунтиринг?
9. Қутбли молекулалардан ташкил топган диэлектрикнинг диэлектрик сингдирувчанлиги температурага қандай боғланган?
10. Изоляцияланган ясси конденсаторни қопламалари горизонтал жойлашган. Агар пластинкалар орасидаги юпка вароқ диэлектрикни озгина тортиб ва уни қўйиб юборсак у қандай ҳаракатланади?
11. Юкоридаги конденсатор батареяга уланган бўлсин. У холда диэлектрик билан нима содир бўлади?
12. Батареяга уланган ясси конденсатор қурилмаси қопламалари орасидан диэлектрикни олиб ташланади. Бунда қопламалар орасидаги сиғим, заряд, конденсатор энергияси, потенциаллар фарқи , электр майдон кучланганлиги қандай ўзгаради?
13. Конденсатор Қопламалари орасига диэлектрик жойлаштирилса , ва бу холда а) конденсатор изоляцияланган , заряд ўзгармасдан қолади б) конденсатор батареяга уланган ва кучланиш ўзгармайди. Конденсаторда йиғилган энергия қандай ўзгаради?

ЭЛЕКТРОСТАТИК МАЙДОНДА ЎТКАЗГИЧЛАР.

Режа

- 1.Электростатик майдонга киритилган ўтказгичдаги зарядларнинг тақсимланиши.
- 2.Электр сиғим
3. Конденсаторлар
4. Конденсаторларни кетма-кет ва параллел улаш
5. Электростатик майдон энергияси

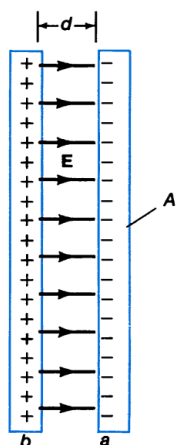
Ҳамма моддалар ўзининг электр хоссаларига қараб, ўтказгичлар, диэлектриклар (изоляцияторларга) ва ярим ўтказгичларга бўлинади.

Электр сиғим. Агар ўтказгичга кўшимча зарядлар берилса, улар ўтказгичда бири-биридан итарилиб, унинг юзасида тақсимланадилар ва юза маълум потенциалга эга бўлиб қолади. Агар заряд яна берилса потенциал ҳам ошади. Агар заряд dq га ошса потенциал ҳам $d\varphi$ га ошади ва

$$C = \frac{dq}{d\varphi} = \frac{q}{\varphi} \quad (16.1)$$

ўтказгичнинг электр сиғими деб аталади. Сиғим ўтказгичнинг ўлчами ва шаклига боғлиқ. (16.1) формуладан кўриниб турибдики, ёлғиз ўтказгичнинг электр сиғими унинг потенциални 1 Вольтга ўзгариши учун керак бўладиган зарядга тенг экан. Сиғим бирлиги Фарада деб аталади. Бу сиғим 1 Кулон заряд берилганда потенциал 1 Вольтга ўзгарадиган ўтказгич сиғимидир.

$$1\Phi = \frac{1Kл}{1B}$$



Q ва V боғлиқликни билган ҳолда сиғим C ни қуйидагича ифодалаймиз:

$$C = \frac{Q}{V} = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

Пластика юзаси A қанча катта бўлса, d нда зарядлар шунча эркин жойлашади, пластинкалар орасида итарилиш камаяди ва пластинкалар шунча кўп зарядланади.

16.1-расм

Нуктавий заряд ва шар марказидан r масофада майдон (потенциал) бир хил.

$$\varphi = \frac{q}{C} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}; \text{ бу ердан}$$

$$C = 4\pi\epsilon_0 r \quad (16.2)$$

$$\text{ва } \epsilon_0 = \frac{C}{4\pi r} = \left[\frac{\Phi}{M} \right]$$

(16.2) дан шарнинг радиусини топамиз:

Яккаланган ўтказгич ҳам электр сиғимга эга бўлади. Бу ҳолда электр сиғим электр заряднинг ўтказгич потенциалига нисбати билан аниқланади ва $Q = CV$ ифода тўғри эканлигини англатади.

Масалан, радиуси r_0 ва электр заряди Q бўлган сферанинг потенциал

бўлса, сиғими:

$$r = \frac{C}{4\pi\epsilon_0}$$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{4\pi\epsilon_0 r_0^2}{r_0}$$

(16.3)

Агар $C=1\Phi$ бўлса ва $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{м}$ ҳисобга олинса,

$$r = \frac{1F}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \approx 9 \cdot 10^9 м = 9 \cdot 10^6 км.$$

Демак радиуси $9 \cdot 10^6 км$ бўлган ёлғиз шар сиғими 1Φ экан. Бу жуда катта сиғим. Техникада шунинг учун микро ва пикофарадалардан фойдаланилади. Ернинг сиғими ($R=6400км$).

$$C_{yer} = 4\pi\epsilon_0 R_{yer} = 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{м} \cdot 64 \cdot 10^5 м \approx 710 мк\Phi$$

Электростатик майдон энергияси. Ўтказгичга заряд берилаётганда итариш кучларини енгиш учун иш бажарилади. Бу иш зарядланган ўтказгичнинг энергиясига айланади. Сиғими C бўлган нейтрал ўтказгичга секин-аста dq заряд бериб борилади ва ҳар гал

$$dA = (\varphi_0 - \varphi)dq \quad (16.4)$$

иш бажарилади. Агар заряд чексиздан олиб келинса $\varphi_0 = 0$ бўлади, демак

$$dA = -\varphi dq = -C\varphi d\varphi \quad (16.5) \text{ бўлади.}$$

Тўлиқ иш:

$$A = \int_0^\varphi dA = -C \int_0^\varphi \varphi d\varphi = -\frac{1}{2} C \varphi^2 \quad (16.6)$$

Минус ишора ташқи кучлар зарядланган ўтказгич майдон кучларига қарши иш бажаришини англатади. Демак, зарядланган ўтказгич энергияси:

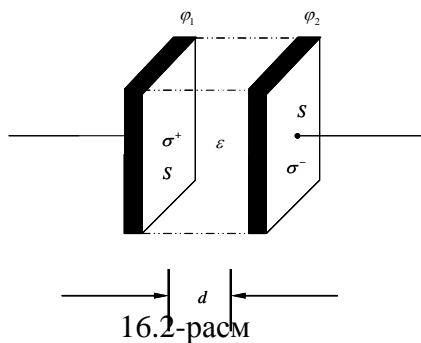
$$W = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{q\varphi}{2} = \frac{q^2}{2C} \quad (16.7)$$

Конденсаторлар. Катта сиғимга эга ўтказгичлар катта ўлчамларга эга бўлади. Масалан, металл шар $1 мк\Phi$ сиғимга эга бўлиши учун радиуси $9 км$ бўлиши керак. Лекин биридан диэлектриклар билан ажратилган ўтказгичлар системаси тузилса, бундай система кичик ўлчамли бўлса ҳам, катта сиғимга эга бўлиши мумкин. Бундай система конденсатор деб аталади. Энг оддий конденсатор-бир бирига параллел ва ўртасида ингичка

диэлектриги бор икки металл пластинкалардир. Бу пластинкаларга миқдори бир хил, лекин ишораси ҳар хил заряд берилади. Таърифга биноан бундай системанинг сиғими:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} \quad (16.8)$$

га тенг. Бу ерда q -битта пластинкадаги заряд.



d кичик бўлса, икки пластинка орасидаги майдонни бир жинсли дейиш мумкин. Бу ҳол учун қуйидаги муносабат ўринлидир:

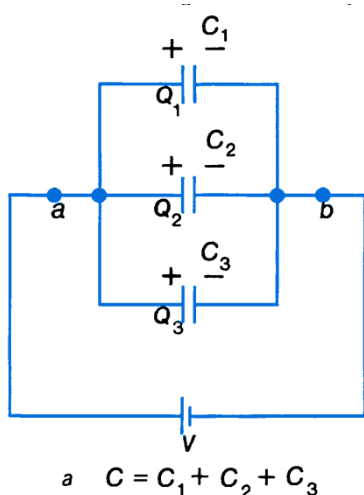
$$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} d; \quad (16.9)$$

$$C = \frac{q \varepsilon_0 \varepsilon}{\sigma d} = \frac{\sigma S \varepsilon_0 \varepsilon}{\sigma d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \quad (16.10)$$

Конденсаторларни бир-бирига улаш. Бир нечта конденсаторларни улаб, ўзгача сиғимга эга бошқа конденсаторларни ҳосил қилиш мумкин (буни конденсаторлар батареяси деб ҳам аташ мумкин).

Зарядланган бўлгани учун конденсаторлар энергияга эга ва у:

$$W = \frac{C(\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2} \quad (16.14)$$

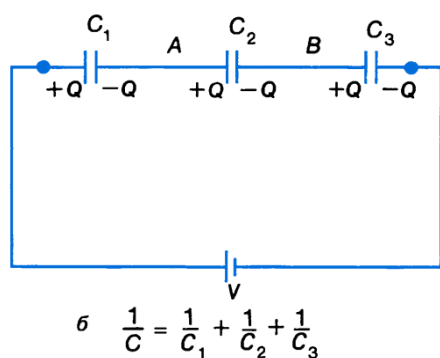


Конденсаторларни ҳар хил усулда улаш мумкин. Конденсаторларни улашнинг иккита асосий усули – параллел ва кетма - кет. Конденсаторлар 16.3 – расмда кўрсатилганидек параллел уланади.

Параллел уланган конденсаторларнинг чап қопламалари бир бири билан улангани учун уларнинг потенциали бир хил бўлади; худди шундай ҳолни ўнг қопламалар ҳақида ҳам айтиш мумкин. Унда ҳар бир конденсаторнинг заряди $Q_1 = C_1 V$, $Q_2 = C_2 V$, $Q_3 = C_3 V$ га тенг бўлади. Конденсаторнинг умумий заряди қуйидагича аниқланади:

Демак, конденсаторлар параллел уланганда системанинг умумий сифими конденсатор сифимларининг йиғиндиси кўринишида аниқланади:

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$



16.4-расм. Кетма – кет уланган конденсаторларнинг умумий кучланиши ҳар бир конденсаторнинг алоҳида кучланишлари йиғиндисига тенг

Конденсаторлар зарядлари

$Q = C_1 V$, $Q = C_2 V$, $Q = C_3 V$ ни ҳисобга олсак:⁴⁶

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed$ ва $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon \cdot S}{d}$ бўлгани учун

Электростатик майдон энергияси ва зичлиги

⁴⁶ Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, Prentice Hall; 6th edition January 17, 2004 USA

Заряди q , сиғими C , потенциалы φ бўлган ўтказгич сиртига чексизликдан dq зарядни кўчириш учун мазкур зарядланган ўтказгич атрофидаги фазо соҳасида мавжуд бўлган электр майдон кучларига қарши

$$dA = \varphi dq \quad (18)$$

иш бажариш лозим. Агар $q = C\varphi$ тенгликни эътиборга олсак, (18) ни қуйидагича ўзгартириб ёза оламиз:

$$dA = \varphi d(C\varphi) = C\varphi d\varphi. \quad (19)$$

Бу ифода ўтказгич потенциалыни $d\varphi$ қадар орттириш учун бажарилиши лозим бўлган ишни ифода қилади. Зарядланмаган (яъни потенциалы ноль бўлган) ўтказгич потенциалыни φ га етказиш учун бажарилиши керак бўладиган ишни эса қуйидаги интеграллаш ёрдамида аниқлаймиз:

$$A = \int_0^{\varphi} C\varphi d\varphi = C\varphi^2/2. \quad (20)$$

Зарядланган ўтказгич энергияси шу ўтказгични зарядлаш учун бажариладиган иш билан аниқланади. Зеро, зарядланган ўтказгич энергиясини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$W = C\varphi^2/2 = q^2/2C = q\varphi/2. \quad (21)$$

Зарядланган конденсатор энергиясини топиш учун қуйидагича мулоҳаза юритамиз. Конденсаторни зарядлаш деганда унинг бир қопламасидан q зарядни иккинчи қопламасига кўчириш тушунилади. Натижада эркин электронларини йукотган қоплама мусбат зарядланиб қолади. Иккинчи қопламада эса эркин электронлар ортиқча, шунинг учун у манфий зарядланган бўлади. Зарядланган конденсатор қопламалари орасида U кучланиш мавжуд бўлган ҳолда бир қопламадан иккинчи қопламага dq зарядни кўчиришда бажарилган иш

$$dA = U dq \quad (22)$$

ёки конденсатордаги кучланиш, заряд ва электр сиғим орасидаги муносабат ($q = CU$) дан фойдалансак:

$$dA = U d(CU) = CU dU. \quad (23)$$

Мазкур ифодани интегралласак, зарядланмаган (яъни $U=0$ бўлган) конденсаторни зарядлаш (яъни унинг қопламалари орасида U кучланишни вужудга келтириш) учун бажариладиган ишни (яъни зарядланган конденсатор энергиясини) топган бўламиз:

$$W = A = \int_0^U CU dU = CU^2/2 = q^2/2C = qU/2. \quad (24)$$

(21) ва (24) ифодалар билан аниқланувчи зарядланган ўтказгич ва зарядланган конденсатор энергияси ўтказгичдаги ёки конденсатор қопламаларидаги зарядлар энергиясини ёхуд мазкур зарядлар туфайли вужудга келган электростатик майдон энергиясини? Аввало, шуни қайд қилайликки, электростатик майдон ва унинг манбаи – қўзғалмас электр зарядлар бир-бири билан узвий боғлиқ. Бошқача айтганда, қўзғалмас электр заряд атрофидаги фазо соҳасида электростатик майдон вужудга келади ёки электростатик майдон мавжуд бўлса, уни вужудга келтирган қўзғалмас электр заряд ҳам мавжуддир. Шундай экан, қўзғалмас электр заряд ва электростатик майдонни бир-биридан ажралган ҳолда тасаввур этиб бўлмайди. Шунинг учун электростатикага оид билимимизга таянган ҳолда юқоридаги саволга узил-кесил жавоб бера оlmaymиз. Кейинчалик, электромагнит майдон билан танишамиз. Электромагнит майдоннинг фазода электромагнит тўлқинлар тарзида тарқалиши ва бу тўлқинлар билан биргаликда энергиянинг кўчиши электромагнит майдоннинг энергияга эгаллигини кўрсатади. Зеро, юқорида қайд қилинган энергиялар электростатик майдонлар энергиясидир, деб ҳисоблашимиз мумкин.

Ясси конденсаторнинг электр сиғими $C=\epsilon_0\epsilon S/d$ ва унинг қопламалари орасидаги кучланиш $U=Ed$ эканлигидан фойдаланиб ясси конденсатор қопламалари орасида мужассамлашган электростатик майдон энергияси (W_3) ни аниқловчи (24) ифодани қуйидагича ёза оламиз:

$$W_3 = \frac{\epsilon_0\epsilon S}{2d} E^2 d^2 = \epsilon_0\epsilon E^2 S d / 2. \quad (25)$$

Қопламалар орасидаги хажм $V=Ed$. Шунинг учун (25) ифода V хажмдаги электр майдон энергиясини характерлайди. Агар (25) ифодани V га бўлсак, бирлик хажмга тўғри келувчи электр майдон энергиясини топамиз. Бу катталиқ *электр майдон энергиясининг зичлиги* дейилади:

$$\omega_3 = W_3 / V = \epsilon_0\epsilon E^2 / 2. \quad (26)$$

Агар электр индукцияси $D=\epsilon_0\epsilon E$ эканлигини ҳисобга олсак:

$$\omega_3 = ED / 2 \quad (27)$$

бўлади. Электр индукция (D) ва Кутбланиш (P) векторлари орасида $D=\epsilon_0 E + P$ боғланиш мавжуд эди. Шунинг учун

$$\omega_3 = E(\epsilon_0 E + P) / 2 = \epsilon_0 E^2 / 2 + EP / 2. \quad (28)$$

Бу ифодадаги $\epsilon_0 E^2 / 2$ хад электростатик майдоннинг вакуумдаги энергия зичлигини, $EP / 2$ хад эса диэлектрик муҳитнинг бирлик хажмини кутбланиш учун сарфланган энергияни характерлайди.

Конденсатор пластинкалари орасидаги майдон бир жинслидир. Шунинг учун бу майдон энергиясининг зичлиги ҳам майдоннинг турли соҳаларида доимий қийматга эга. Электростатик майдон зарядланган ўтказгич туфайли вужудга келган ҳолда эса майдоннинг турли соҳаларида энергия зичлиги ҳам турлича, чунки заряддан узоқ бўлган соҳаларда майдон кучсизроқ, яқинроқ бўлган соҳаларда эса майдон кучлироқ-да.

Пондеромотор кучлар. Ўзаро таъсир назариялари

Яна ясси конденсатор мисолига қайтайлик. Конденсатор пластинкаларидаги зарядларнинг ишоралари қарама-қарши бўлганлиги учун бу пластинкалар бир-бирига тортилади. Зарядланган макроскопик жисмлар орасида вужудга келадиган бундай механик кучлар *пондеромотор кучлар* (F_n) деб аталади. Пондеромотор кучлар таъсирида конденсатор пластинкалари Δd масофага яқинлашса, бунда бажарилган иш

$$\Delta A = F_n \Delta d$$

га тенг бўлади. Бу иш электростатик майдон энергиясининг камаюви ҳисобига бажарилади. Шунинг учун

$$-\Delta W_3 = F_n \Delta d. \quad (29)$$

Ясси конденсатор оралиғидаги электростатик майдон энергияси эса ($q=const$ хол учун), (24) ва $C=\epsilon_0\epsilon S/d$ ифодалар асосида

$$W_3 = q^2 / 2C = q^2 d / (2\epsilon_0\epsilon S)$$

бўлади. Бундан электростатик майдон энергияси камаювининг миқдори

$$\Delta W_3 = q^2 \Delta d / (2\epsilon_0\epsilon S). \quad (30)$$

га тенг.

(29) ва (30) ларни солиштириб, қуйидаги формулани ҳосил қиламиз:

$$F_n = -q^2 / (2\epsilon_0\epsilon S) = -\sigma^2 S / (2\epsilon_0\epsilon). \quad (31)$$

Бу ифодадаги минус ишораси F_n куч тортишиш характериға эғалигини, яъни қопламалар орасидаги d масофани кичрайтиришға интилишини англатади.

Демак, зарядланган ясси конденсатор пластинкалари бир-бири билан пластинкалардаги зарядлар сирт зичлиги σ нинг квадратиға пропорционал бўлган куч билан ўзаро таъсирлашади.

”Таъсирлашади“, ”таъсирлашув“ сўзларидан кўп фойдаландик, лекин таъсирлашувнинг ўзи нима?

Зарядланган жисмларнинг таъсирлашуви (Кулон қонуни), умуман ҳар қандай жисмларнинг таъсирлашуви (бутун олам тортишиш қонуни) тўғрисидаги қонунларда таъсирлашув кучларининг математик ифодаси топилди. Таъсирлашувнинг табиати тўғрисидаги мулоҳазалар эса кейинчалик ривожланди. Бу мулоҳазалар асосида қуйидаги икки назария яратилди.

Яқиндан таъсир назариясига асосан, икки жисм орасидаги ўзаро таъсир бу жисмлар орасидаги моддий муҳит орқали ўзатилади. Масалан, ҳаракатланаётган автомобилни ҳайдовчи тўхтатиш мақсадида тормоз педалини босади. Натижада ғилдирак дискига ярим халқасимон пластинканинг тегиши туфайли тормозланиш вужудга келади. Бу мисолда тормоз педалига берилган таъсир ярим халқасимон пластинкага найчалар орқали оқувчи суюқлик ёрдамида узатилади.

Демак, яқиндан таъсир назариясига асосан, жисм бевосита моддий муҳитга таъсир қилади. Бу муҳит эса иккинчи жисмга таъсир кўрсатади.

Лекин зарядланган конденсатор пластинкалари орасида вакуум бўлганда ҳам пондеромотор кучлар намоён бўлади-ку! Самовий жисмлар орасида ўзаро тортишиш, бу жисмлар оралари ҳавосиз фазо бўлишига қарамай, мавжуд-ку! Буни қандай тушунмоқ керак?

Бу муаммо **олисдан таъсир** назариясини вужудга келишига сабабчи бўлди. Бу назарияга асосан, таъсир бир жисмдан иккинчи жисмга улар оралирида ҳеч қандай муҳит бўлмаганда ҳам бир онда узатилади.

Фаннинг ривожланиши олисдан таъсир тўғрисидаги фикр асоссиз эканлигини кўрсатди. Майдонлар тўғрисидаги тасаввурларни фанга киритилиши яқиндан таъсир қилиш назарияси томон кескин бурилиш ясади. Бу тасаввурларга асосан, бутун олам тортишиш қонунида акс этган, икки жисм орасидаги таъсирлашувни узатувчи майдонни тортишиш майдони дейилади. Кулон қонунида ўз аксини топган, бир қўзғалмас электр заряднинг иккинчи қўзғалмас электр зарядга таъсирини узатувчи майдонни электростатик майдон баъзан эса оддийгина электр майдон деб аталди.

Юқорида электростатик майдон энергияси билан танишдик. Бу эса ўз навбатида электростатик майдон – объектив борлик эканлигини тасдиқловчи далиллардан биридир. Ахир йўқ нарса энергияга эга бўла олмайди-да!

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Заряд, майдон, электростатик, ион, электрон, ўтказгич, сиғим, конденсатор, конденсаторларни параллел улаш, конденсаторларни кетма-кет улаш, электр майдон энергияси.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

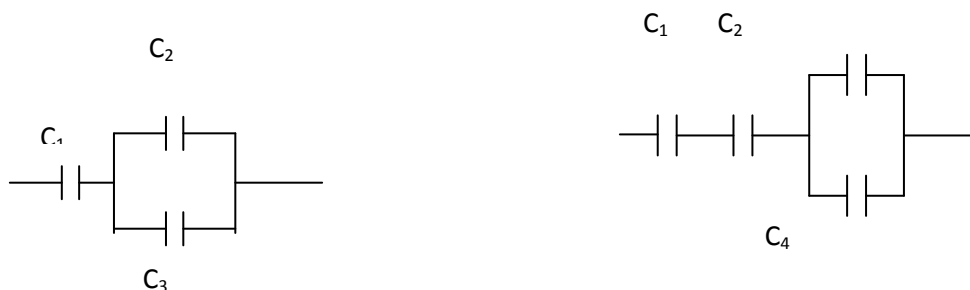
1. Электр майдонида ўтказгич қандай қутубланади?
2. Электр сиғими деб нимага айтилади?
3. Сиғим бирлиги қандай?
4. Ясси конденсатор энергияси нимага тенг?
5. Параллел ва кетма – кет уланган конденсаторлар системасининг сиғими нимага тенг?
6. Электр майдон энергияси қандай аниқланади, формуласини келтириб чиқаринг?
7. Иккитадан ортиқ конденсатор кетма-кет уланганда умумий сиғим ифодасини ёзинг?
8. Электр майдонига қўйилган ўтказгич қандай таъсирланади?
9. Электр сиғим қандай физик катталиқ?
10. Конденсатор қандай электр қуролма, у қандай вазифани бажаради?
11. Конденсатор қопламалари орасидаги масофа икки марта ортса, унинг сиғими қандай ўзгаради?

12. Электр доимийсини конденсатор ёрдамида аниқлашнинг осон йўлини кўрсатинг.
13. Нима учун манбага уланган конденсатор қопламалари бир хил зарядланади? Агар қопламалар юзаси ёки шакли ҳар хил бўлса, уларнинг заряди бир хил бўладими?
14. Қалинлиги l бўлган мис пластина конденсатор қопламаларига тегмасдан уларнинг орасига жойлаштирилса, конденсаторнинг сиғими ўзгарадими?
15. Учта бир хил конденсатор манбага уланган. Қайси ҳолда система энергияси катта бўлади, параллел уланганда ёки кетма-кет?
16. Манбага уланган конденсатор қопламалари орасидан диэлектрик олиб ташланди. Конденсаторнинг электр сиғими ўзгарадими?
17. Манбага уланган конденсатор қопламалари орасидан диэлектрик олиб ташланди. Конденсатор қопламалри заряди қандай ўзгаради?

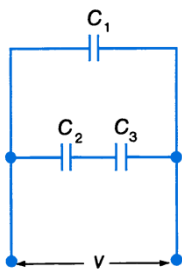
Амалий машғулот

Электр сиғим. Конденсаторлар.

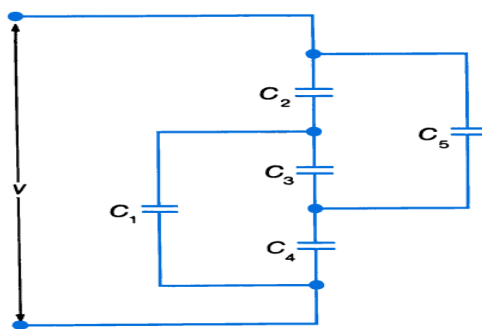
1. Шарсимон ўтказгичнинг сиғимиунинг радиусига пропорционал. Ўтказувчи шарчанинг сиғими вакуумда 1 Ф га тенглаштириш учунунинг радиуси қанча бўлиши керак? Шушарнинг радиуси Ер радиусидан неча мартакатта бўлади?
2. Расмда кўрсатилгандек қилиб уланган конденсаторлар батареясининг электр сиғимини аниқланг. Ҳамма конденсаторларнинг сиғимини $0,6 \text{ мкФдан}$ деб олинг. Агар батареяда кучланиш 100 В бўлса, унда тўпланган электр заряд миқдорини топинг.



3. Ясси ҳаво конденсатори ҳар бир пластинкасининг юзи $62,3 \text{ см}^2$ дан, улар орасидаги мас . Агар конденсатор пластинкаларида электр потенциаллар фарқи 60 В бўлса, унинг зарядини аниқланг.
4. Ясси ҳаво конденсаторлари пластинкалари орасидаги масофа $0,1 \text{ см}$ га тенг. Ҳар бир пластинканинг юзи 200 см^2 ва улардаги потенциаллар фарқи 600 В . Конденсаторда қанча заряд тўпланган? Агар пластинкалар орасидаги бўшлиқнинг диэлектрик синдирувчанлиги 6 га тенг бўлган слюдабилан тўлдирилса, электр потенциаллари қандай ўзгаради?
5. Ясси ҳаво конденсатори пластинкалари орасидаги масофа $1,5 \text{ мм}$ ва у 150 В кучланишгача зарядланган. Кучланиш 600 В гача ортиши учун пластинкаларни қанча масофага узоқлаштириш керак бўлади?
6. Сиғимлари $4, 2$ ва 6 мкФ бўлган учта конденсатор батарея ёкили буланган ва 200 В ли ўзгармас кучланиш манбаига уланган: 1) конденсаторлар кетма-кет уланган ҳол учун; 2) конденсаторлар параллел уланган ҳол учун батареянинг энергиясини ва сиғимини топинг.
7. Сиғими **$60 \mu\text{F}$** бўлган конденсаторнинг бир қопламасидан иккинчисига **20 мС** зарядни ўтказиш учун **16 J** энергия сарфлаш лозим. Ҳар бир қоплама қанча зарядга эга бўлади?
8. Занжирдасиғим **$3 \mu\text{F}$** бўлган конденсатор ўрнатилган. Инженер бу сиғимни **$4,8 \mu\text{F}$** га ошириш лозим деб ҳисоблади. Қандай сиғимли конденсаторни қўшимча тарзда улаш лозим ва қўшимча конденсаторни қандай улаш керак?



9. а) расмдаги занжирда уланган конденсаторларга эквивалент сиғимни формуласини аниқланг. б) Агар $C_1 = C_2 = 2C_3 = 4,0 \mu F$ бўлса, $U = 50 V$ кучланишда ҳар бир конденсатордаги заряд миқдори нечага тенг бўлади?
10. Ясси конденсатор Q ўзгармас зарядга эга. Пластиналар орасидаги масофа икки марта орттирилди. а) Конденсаторда ҳосил бўлган электр майдон энергияси неча марта ўзгаради? б) Агар ҳар бир пластинанинг юзаси S бўлса, пластиналар орасидаги масофани ошириш учун қанча иш бажариш лозим?
11. Сиғими $4500 pF$ бўлган ҳаво конденсатори $12 V$ кучланишли ток манбаига уланган. Агар ҳаво ўрнига слюда солинса, ток манбаидан конденсаторга қанча заряд ўтади?



12. Бешта конденсатордан тузилган занжирга U кучланиш қўйилган. а) Занжирнинг умумий сиғими нечага тенг? б) $C_2 = C_4 = 3,0 \mu F$, $C_1 = C_3 = 6,0 \mu F$ бўлса, занжирнинг умумий сиғини топинг.

13. Қопламаларининг юзаси $S = 100 \text{ см}^2$, улар орасидаги масофа $d = 0,1 \text{ мм}$ бўлган слюдали ясси конденсаторнинг электр сиғими C аниқлансин. $\epsilon_{\text{слюда}} = 7$

14. Ясси конденсатор пластикалари орасидаги потенциаллар айирмаси $\varphi_1 - \varphi_2 = 90 \text{ В}$. Ҳар бир пластинканинг юзи $S = 60 \text{ см}^2$ ва заряди $q = 1 \text{ нКл}$. Пластинкалар бир-биридан қанча масофада туриши топилсин.

15. Ясси конденсатор бир-биридан $d = 2 \text{ мм}$ масофада жойлашган, ҳар бирининг юзи $S = 200 \text{ см}^2$ дан бўлган иккита пластинкадан иборат бўлиб, улар орасида слюда қатлами бор. Агар рухсат этиладиган кучланиш $U = 3 \text{ кВ}$ бўлса, конденсаторга энг кўпи билан қанча заряд бериш мумкин. (Слюда учун $\epsilon = 7$ га тенг).

16. $U = 600 \text{ В}$ потенциаллар фарқигача зарядланган ясси конденсатор қопламалари орасида иккита диэлектрик қатлами бор, калинлиги $d_1 = 7 \text{ мм}$ бўлган шиша ва калинлиги $d_2 = 3 \text{ мм}$ бўлган эбонит. Конденсатор ҳар бир қопламасининг юзаси $S = 200 \text{ см}^2$. 1) конденсаторнинг сиғими C ; 2) қатламларнинг ҳар биридаги майдон кучланганлиги ва 3) потенциал тушиши $\Delta\varphi$ топилсин. $\epsilon_1 = 7$, $\epsilon_2 = 3$

17. Электрон ясси конденсаторнинг бир пластинкасидан иккинчисига бўлган оралиқни ўтганда $v = 10^8 \text{ см/сек}$ тезликка эришган. Пластинканинг оралиғи $d = 5,3 \text{ мм}$. 1)

пластинкалар орасидаги потенциаллар айирмаси; 2) конденсатор ичидаги электр майдон кучланганлиги; 3) пластинкалардаги заряднинг сирт зичлиги топилсин.

18. Шарнинг сифими $C=1,0 \text{ Ф}$ га тенг бўлиши учун унинг радиуси қандай бўлиши керак?

19. Ер шарининг сифими топилсин. Ер шарининг радиусини $R=6400 \text{ км}$ деб олинсин. Ер шарига $q=1,0 \text{ Кл}$ электр заряди берилса, унинг потенциали қанчага ўзгаради.

20. A ва B нуқталар орасидаги потенциаллар айирмаси $\varphi_A - \varphi_B = 6 \text{ В}$ га тенг, (6.3-расм). Биринчи конденсаторнинг сифими $C_1=2 \text{ мкФ}$ иккинчисиники эса $C_2=4 \text{ мкФ}$. Ҳар бир конденсатор қопламаларидаги заряд ва потенциаллар айирмаси топилсин.

6.3-расм

21. $C=20 \text{ мкФ}$ сифимли конденсатор $U=100 \text{ В}$ потенциалгача зарядланган. Шу конденсаторнинг энергияси топилсин.

22. $R=1 \text{ м}$ радиусли шар $\varphi=30 \text{ кВ}$ потенциалгача зарядланган. Зарядланган шарнинг энергияси топилсин.

ЛАБОРАТОРИЯ ИШИ

КОНДЕНСАТОР СИҒИМИНИ УИТСОН КЎПРИГИ ЁРДАМИДА ЎЛЧАШ

Ишдан мақсад: Конденсаторлар билан танишиш ва уларнинг электр сифим катталигини ўлчаш.

Керакли асбоб ва буюмлар: реохорд, телефон ёки осциллограф, сифимлар магазини, номаълум сифимли иккита конденсатор, калит, ўзгарувчан ток манбаи.

НАЗАРИЙ ҚИСМ

Бошқа ўтказгич ва зарядлардан чексиз ўзоқда жойлашган, яъни яккаланган бир ўтказгичга q заряд берилса, унда қиймати шу заряд миқдорига пропорционал бўлган потенциал юзага келади.

Турли ўлчамга ҳамда турли шаклга эга бўлган ўтказгичлар бир хил миқдордаги электр заряд билан зарядланса, уларнинг потенциали турлича бўлади.

Ўтказгичга берилган заряд билан шу ўтказгичда юзага келадиган потенциал орасидаги боғланиш чиқиқли хусусиятига эга бўлиб, қуйидагича ифодаланади:

$$q = C\varphi(1)$$

Бу ерда C -пропорционаллик коэффиценти бўлиб, уни шу ўтказгичнинг электр сифими дейилади,

$$(1) \text{ ифодани } C = \frac{q}{\varphi} \quad (2)$$

кўринишда ёзамиз. Бу ифодага кўра, берилган ўтказгичнинг электр сифими деб, шу ўтказгич потенциалини бир бирликка орттириш учун лозим бўлган заряд миқдорига тенг бўлган физик катталикка айтилади.

Ҳалқаро бирликлар системаси (СИ) да электр сифим бирлиги қилиб **фарада (Ф)** олинган. Яккаланган ўтказгичга 1 Кл заряд берилганда унинг потенциали 1 В га ортса, шу ўтказгичнинг электр сифими 1 Фарада га тенг бўлади, яъни $1 \text{ Ф} = 1 \text{ Кл} / 1 \text{ В}$.

Миқдоран 1 Фарада га тенг сифим ниҳоятда каттадир, шу сабабли амалда фараданинг жуда кичик бўлаклари: $1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$ (микрофарада), $1 \text{ нФ} = 10^{-9}$ (нанофарада), $1 \text{ пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$ (пикофарада) қўлланилади.

Амалий ишларда ўлчами кичик бўлса ҳам кўпроқ зарядни ўзида тўплай оладиган, яъни катта сифимга эга бўла оладиган ўтказгичлар системасидан фойдаланишга тўғри келади. Бундай ўтказгичлар системаси **конденсатор** деб аталади. Масалан, бир-биридан диэлектрик муҳит билан ажратилган сирт юзлари тенг иккита ва ундан ортиқ ясси

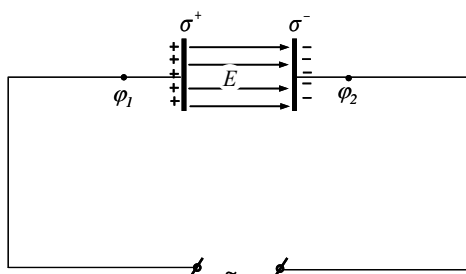
пластинкалардан иборат системага **ясси конденсатор** дейилади. Диэлектртик муҳит билан ажратилган иккита қўшни пластинка қарама-қарши зарядланган бўлади.

Икки пластинкадан иборат ясси конденсаторнинг электр сиғими ҳар бир пластинкадаги заряднинг шу пластинкалар орасидаги потенциаллар айирмаси (кучланиш) га нисбатига тенгдир:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} \quad (3)$$

Пластинкалар одатда қоплама деб аталади. Шунга кўра, шундай таъриф бериш мумкин: конденсаторнинг электр сиғими унинг қопламалари орасидаги потенциаллар айирмасини бир бирликка орттириш учун зарур бўлган заряд миқдори билан ўлчанувчи катталиқдир.

Қопламалари орасидаги масофа d , қопламалар юзи S ва қопламалар орасига қўйилган модданинг диэлектррик сингдирувчанлиги ϵ бўлган ясси конденсаторнинг электр сиғими юқоридаги катталиқлар орқали қандай ифодаланишини кўриб чиқайлик (1-расм).



1-расм

Қопламалар орасидаги потенциаллар айирмаси $\varphi_1 - \varphi_2$, U -кучланиш, E -кучланганлик, d -масофа ўзаро қуйидагича боғланган:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = U = Ed \quad (4)$$

Ўз навбатида q заряд билан зарядланган икки пластинка орасидаги майдон кучланганлиги

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} = \frac{q}{\epsilon_0 \epsilon S} \quad (5)$$

кўринишда бўлади. Бу ерда σ - қопламадаги заряднинг сирт зичлиги $\sigma = \frac{q}{S}$. (4)

ифодадаги майдон кучланганлиги ўрнига (5) ни қўйсак потенциаллар айирмаси учун қуйидаги тенгликни оламиз:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{qd}{\epsilon_0 \epsilon S} \quad (6)$$

Бу ифодани (2) тенглик билан таққосласак, изланаётган ясси конденсатор сиғими қуйидаги формула орқали ифодаланишини топиш мумкин:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} \quad (7)$$

Бундан конденсаторнинг электр сиғимини орттириш учун қопламлар юзасини катталаштириш ёки улар орасидаги масофани кичиклаштириш зарур экан, деган хулосага келиш мумкин. Аммо бу усул билан лозим бўлган сиғимни ҳосил қилиш ноқулайдир.

Бунинг ўрнига бир неча конденсаторни бир-бирига махсус усулларда улаб лозим бўлган сиғимни ҳосил қилиш мумкин.

Бу улаш усуллариининг икки тури: 1) *кетма-кет улаш*: 2) *параллел улаш* орқали натижавий сиғимларни ҳосил қилиш билан танишайлик.

Конденсаторларни кетма-кет улаш

Кетма-кет улашда (2-расм) конденсаторларнинг барча пластинкаларидаги заряд миқдори бир хил бўлади, яъни $q_1 = q_2 = q_3 = \text{const}$. Қопламалр орасидаги потенциаллар айирмаси ҳар хил бўлади. Бунда $\varphi_3 - \varphi_1 = (\varphi_3 - \varphi_2) + (\varphi_2 - \varphi_1)$

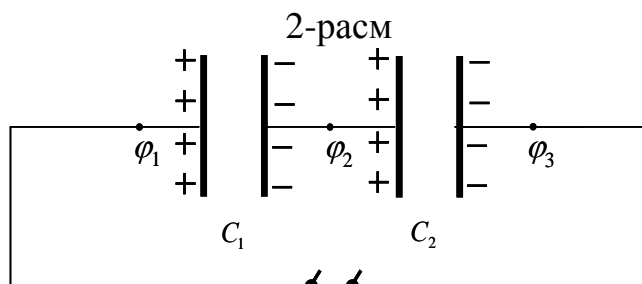
$U = \varphi_3 - \varphi_1$, $U_1 = \varphi_2 - \varphi_1$, $U_2 = \varphi_3 - \varphi_2$ десак

$$U = U_1 + U_2 \quad (8)$$

ифодага эга бўламиз. $U = \frac{q}{C}$; $U_1 = \frac{q}{C_1}$; $U_2 = \frac{q}{C_2}$. Демак, $\frac{q}{C} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2}$, q -зарядларни

қисқартирсак $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ (9) ифода келиб чиқади.

Демак, конденсаторлар кетма-кет уланса, умумий сиғим кичиклашади. Кетма-кет улаш схемаси 2-расмда келтирилган.



2. Конденсаторларни параллел улаш

Параллел уланган конденсаторлар қопламасидаги потенциаллар айирмаси барча конденсаторлар учун бир хил бўлиб, $\varphi_1 - \varphi_2$ га ($\Delta\varphi$ га) тенг. Агар конденсаторлар сиғими C_1, C_2, C_3 ва ҳоказо бўлса, бу ҳолда ҳар бир конденсатордаги зарядни

$$\begin{aligned} q_1 &= C_1(\varphi_1 - \varphi_2) \\ q_2 &= C_2(\varphi_1 - \varphi_2) \end{aligned} \quad (10)$$

$$q_n = C_n(\varphi_1 - \varphi_2)$$

ифодалар билан аниқлаш мумкин. Барча конденсаторларнинг умумий заряди

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots \quad (11)$$

(10) ва (11) ифодаларни биргаликда ишлаб чиқсак

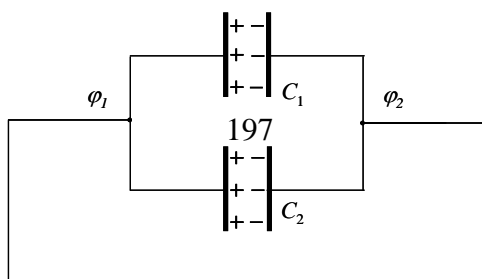
$$C(\varphi_1 - \varphi_2) = C_1(\varphi_1 - \varphi_2) + C_2(\varphi_1 - \varphi_2) + \dots \quad \text{ва умумий сиғими}$$

$$C = \sum C_i = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad (12)$$

бўлади.

Бунданкўринадики,

умумийсиғимуланганконденсаторларсиғимларикийматларинингйиғиндисигатенгбўларэкан. Конденсаторларнипараллелулашсхемаси 3-расмдакелтирилган.



3-расм

Буишда конденсаторларнинг сифимлари Уитсон кўприги ёрдамида аниқланади.

Маълумки, конденсатор қопламлари орасида бўш ёки диэлектрик қатлам бўлганлигиса баблӣ ўзгармастек конденсатордан ўтмайди. Шусабабли,

ишни бажаришда ўзгарувчан токдан фойдаланилади.

Агар конденсаторнинг қопламлари ўзгарувчан токманбаи гауланса,

ухолда конденсатор қопламлари давий равишда зарядланиб, зарядсизланиб туради.

Шусабабли конденсаторни ўзгарувчан ток кўлидаги ўтказгич деб ҳисоблаш мумкин.

Кузатилаётган занжир синуслар қонуни бўйича ўзгарувчан электр юритувчи кучи (ЭЮК)

бўлган токманбаи гауланган бўлса

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t \quad (13)$$

бу ерда ε - ЭЮКнинг t ёри т моментдаги қиймати, ε_0 - ЭЮКнинг максимал

(амплитуда вий) қиймати, ω - доира вий частота, $\omega = \frac{2\pi}{T}$.

Конденсатор қопла масидаги заряд миқдорини сифим формуласига кўра куйидаги ча аниқлаш мумкин:

$$q = C\varepsilon = C\varepsilon_0 \sin \omega t \quad (14)$$

Демак, қопламадаги заряд ҳам синуслар қоида си бўйича ўзгаради. (14)

ифодани ва кт бўйича дифференциаллаймиз ва бунда заряднинг ва кт бўйича ўзгаришито к кучига тенг эканлигини эътиборга оламиз:

$$\frac{dq}{dt} = I = C\omega\varepsilon_0 \cos \omega t \quad (15)$$

Бундан кўриниб турибдики,

ток кучи ҳам давий равишда ўзгара р экан.

Унинг қиймати максимал ($\cos \omega t = 1$) бўлганда:

$$I_0 = C\omega\varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_0}{\frac{1}{\omega C}} \quad (16)$$

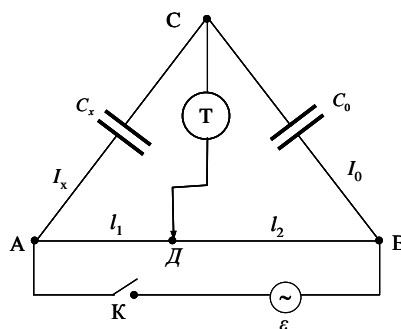
Кўринишга эга бўлади. (16) ифодани Ом қонуни формуласига ($I = \frac{\varepsilon}{R}$) билан таққосласак, $\frac{1}{\omega C}$

каттали к қаршили к квазифасини ўта шинибилишимиз мумкин, уни R_c деб белгилаб

$$R_c = \frac{1}{\omega C} \quad (17)$$

ифодани ёзишимиз мумкин. R_c - конденсаторнинг сифимий қаршили гиде йилади.

Конденсаторнинг сифимини ўлчаш учун кўлланиладиган электр занжир схемасияъни Уитсон кўприги 4-расмда тасвирланган.



4-расм

Бусхемада ε ўзгарувчан ЭЮК манбаи, C_0 – сиғими маълум бўлган конденсатор, C_x – сиғими ўлчанишилози бўлган конденсатор, K – калит, занжирнинг C – D қисмидаги телефон (Т) кўприк квазифасин ўтайди. Занжирнинг A ва B нуқталари реохордга уланган. Телефонга уланган симнинг D учиреохорд бўйлаб ҳаракатга келтирилиб телефон даток ўтишит ўхтаган ҳолат топилади.

Бу телефонда товуш бўлмаслигига кўра аниқланади. Бу ҳолатни кўприкнинг мувозанат ҳолати дейилади, бунда C ва D нуқталардаги потенциаллар тенглашган бўлади. Реохорд симнинг D нуқтага нисбатан чап ва ўнг қисмлари узунлиги мос равишда ℓ_1 ва ℓ_2 деб белгиланади ва улар реохорд елкалари деб аталади. Кўприкнинг мувозанат ҳолати ($I_g = 0$) да 4-расмдаги электр занжирига нисбатан қуйидаги айниятларни ёзиш мумкин:

$$I_0 = I_x \quad \text{ва} \quad I_1 = I_2 \quad (18)$$

Шунингдек, C ва D нуқталарда потенциаллар қийматларининг тенглиги ($\varphi_c = \varphi_D$)

дан АСДА контур учун

$$\varphi_A - \varphi_C = \varphi_A - \varphi_D \quad (19)$$

ёки

$$I_0 R_{C_x} = I_1 R_1 \quad (20)$$

Шунингдек, СВДС контур учун $I_0 R_{C_0} = I_2 R_2 \quad (21)$

ни ёзиш мумкин. (20) ва (21) тенгликларнинг чап ва ўнг томонларининг нисбатини оламиз, ҳамда ток кучлари учун (18) ифодалардан фойдаланиб номаълум қаршилиқ учун

$$R_{C_x} = R_{C_0} \frac{R_1}{R_2} \quad (22)$$

тенгламага келиш мумкин. Бу ерда $R_{C_x} = \frac{1}{\omega C_x}$, $R_0 = \frac{1}{\omega C_0}$ бундан

$$C_x = C_0 \frac{\ell_2}{\ell_1} \quad (23)$$

ифода келиб чиқади.

Бу ифода номаълум сиғим C_x ни ℓ_1 , ℓ_2 ва маълум C_0 нинг қийматлари орқали топишга имкон беради.

Ишни бажариш тартиби

1. 4-расм бўйича электр занжирни йиғилади. Занжирга сиғими номаълум бўлган C_{x1} конденсатор уланади.
2. Дконтактни реохорднинг ўртасига қўйилади. Сиғимлар магазинидан шундай C_1 сиғим танлаб олинадики, бунда телефоннинг товуши энг паст (осциллографдаги сигнал минимал) бўлсин. Сўнгра D контактни реохорд

бўйлаб суриб телефондаги товуш (осциллографдаги сингал) нинг ўзгариши кайд қилиб борилади. Телефонда товуш йўқолиши (осциллографдаги сингал 0 га тенг бўлиши) билан контактни суриш тўхтатилади. Шу нуқтага нисбатан реохорднинг елкалари узунликлари ℓ_1 ва ℓ_2 жадвалга ёзиб олинади. Бу тажрибани 3 марта такрорлаш лозим.

3. Сиғими номаълум биринчи конденсатор ўрнига иккинчи номаълум сиғимли C_{x_2} конденсатор уланади. Бу конденсатор учун ҳам 2-бандда бажарилган ишлар такрорланади.

4. C_{x_1} ва C_{x_2} конденсаторлар кетма-кет уланади ва яна 2-бандда бажарилган ишлар такрорланади. Сўнгра бу икки номаълум сиғимли конденсатор параллел уланиб тажриба яна 3 марта такрорланади.

5. Тажрибада топилган ℓ_1 ва ℓ_2 ҳамда C_0 қийматларни (23) формулага қўйиб ҳар бир конденсаторнинг сиғими ҳисоблаб топилади. Шунингдек, конденсаторларнинг кетма-кет ва параллел улангандаги натижавий сиғимлари ҳам ҳисобланади. Сўнгра, икки номаълум конденсаторни кетма-кет ва параллел улашда олинadиган натижавий сиғим (9) ва (12) назарий формулалар бўйича ҳисобланиб, тажрибада олинган натижалар билан таққосланади.

Тажриба ва ҳисоблаш маълумотлари қуйидаги жадвалга ёзиб борилади

Конденсаторлар	№	C_0 (ф)	ℓ_1 (м)	ℓ_2 (м)	$C_x(\text{ф})$	$\langle C_x \rangle$
C_{x_1} -конденсатор	1					
	2					
C_{x_2} -конденсатор	1					
	2					
C_{x_1} ва C_{x_2} кетма-кет уланган	1					
	2					
C_{x_1} ва C_{x_2} параллел уланган	1					
	2					

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Электр сиғими деб қандай физик катталиқка айтилади ва у қандай бирликларда ўлчанади?
2. Конденсатор қандай асбоб, унинг вазифаси нимадан иборат?
3. Конденсаторларни кетма-кет ва параллел уланганда натижавий сиғим қандай формулаларга кўра топилади?
4. Конденсаторнинг ўзгарувчан токка нисбатан қаршилиги (сиғимий қаршилик) қандай аниқланади?
5. Ясси конденсаторнинг сиғимини аниқлаш формуласини келтириб чиқаринг.
6. Нима учун сиғимни ўлчашда ўзгарувчан токдан фойдаланилади?
7. Конденсаторнинг номаълум сиғимини кўприк усулда аниқлаш формуласини келтириб чиқаринг.

ЎЗГАРМАС ЭЛЕКТР ТОКИ

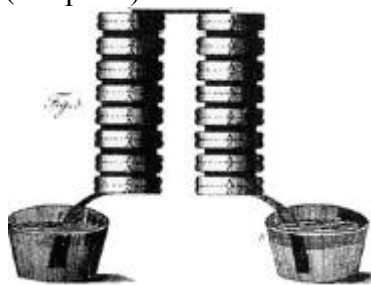
Режа

1. Ток манбалари. Электр батареялари.
2. Электр токи. Ток кучи ва унинг зичлиги
3. Ташқи кучлар. Электр юритувчи куч ва кучланиш
4. Ом қонуни ва унинг интеграл ҳамда дифференциал кўринишидаги ифодаси. Ўтказгичлар қаршилиги
5. Токнинг иши ва қуввати. Жоул-Ленц қонуни
6. Занжирнинг бир жинсли бўлмаган қисми учун Ом қонуни
7. Ўта ўтказувчанлик ҳодисаси
8. Занжирнинг тармоқланган қисми учун Кирхгоф қоидалари

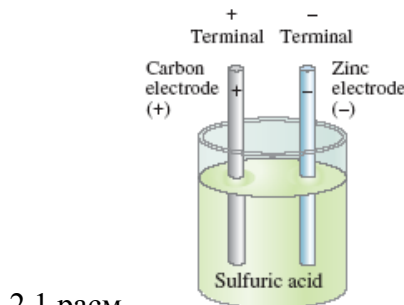
Ток манбалари. Электр батареялари.

Электр батареяларини яратишда, икки инглиз олимлари Волта ва Гальвани орасидаги илмий баҳслар сабаб бўлди деб ҳисобласа бўлади. Болония университети профессори Гальвани 1780-йилда, электр машинаси ёрдамида олинган электр токи ёрдамида қурбақа мушакларининг қисқариши бўйича кўпгина тажрибалар ўтказди. Гальвани мушаклар қисқариши, қурбақани металлга теккизганда ҳам содир бўлишини кузатди. Павия университетида ишлайдиган Волта ҳам шунга ўхшаган тажрибалар ўтказди. Волта электр токини икки металл бир-бирига теккизганда ҳосил бўлади деган хулосага келди. Қурбақа мушакларининг қисқариши, электр токининг кучланишини аниқлайдиган нозик элемент бўлиб хизмат қилишини тушунди. Кейинчалик бу мулоҳазалар асосида электрометрлар яратилди¹.

Ўтказилган тажрибалар асосида Волта, металллар бир-бирига теккизилганда электр юритувчи куч ҳосил бўлишини тахмин қилди. Кейинчалик Волта кумуш ва рух дисклари орасига туз эритмаси ёки кислота эритмасидан шимдирилган қоғоз қўйиб, бу элементларни бир нечасини устма-уст қўйиб, устунлар(батарея)лар ҳосил қилди. Устунлар учларига сим улаб, бу симлар бир-бирига теккизилганда учқунлар ҳосил бўлишини аниқлади. Шундай қилиб Волта биринчи марта электр токи манбаларини ясади (2.1-расм).



(1.1-расм)



2.1.расм

Бу ихтирони 1800-йилда эълон қилди. Кейинчалик Волта устун(батарея)лари асосида қувватли ток манбалари яратилди.

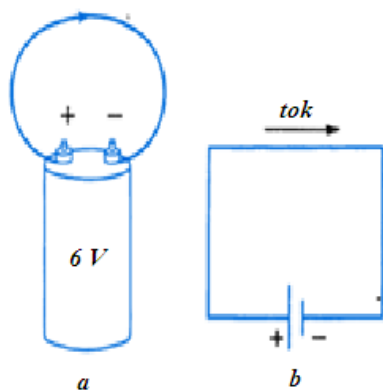
Кейинчалик аниқланишича, Волта ихтиро қилган батареяларда, кимёвий энергия электр энергиясига айланар экан. Ҳозирги вақтда ҳар хил электр элементлари ёки батареялари кашф қилинган. Энг содда батарея бу гальваник элементдир. Бунда элементнинг электродлари ҳар хил металллардан қилинган иккита стержендан (кўпинча улардан бири кўмрдан қилинади) иборат бўлади. Электродлар электролитга туширилган бўлади. Суюлтирилган кислота электролит вазифасини бажаради. Қуруқ элементларда электролит қуюқ ишқорлардан қилинган бўлади. Электролитда кимёвий реакциялар асосида мусбат ва манфий ионлар ҳосил бўлади. Бу ионлар электродларга ўтириб, мусбат ва манфий зарядланган қутбларни ҳосил қилади. Мусбат электрод анод деб, манфий

электрод катод деб юритилади. Қутблар орасида потенциаллар айирмаси ёки кучланиш сақланиб туради. Батарея қутбларида ҳосил бўлган потенциаллар фарқи, ташқи занжирга уланмаганда электр юритувчи куч(ЕЮК) деб аталади ва ϵ ҳарфи билан белгиланади.

Батарея типидagi ҳар қандай қурилма потенциаллар фарқини ҳосил қилса ва ташқи занжир бўйлаб зарядлар оқимини юзага келтирса, бундай қурилма ЭЮК манбаи деб аталади. Элемент ва батареялардан ташқари, электр токи генераторлари, фотоэлементлар, термопаралар ва бошқалар ҳам ЭЮК манбалари бўлиб хизмат қилади.

Электр токи. Ток кучи ва унинг зичлиги

Тартибланган ҳолда, йўналиш олиб ҳаракатланувчи зарядлар оқимини электр токи дейилади. Электр майдон таъсири остида ўтказгичдаги эркин зарядлар ҳаракатланиб, мусбатлари майдон бўйлаб, манфийлари эса тескари йўналишда силжий бошлайдилар.



12.3 - расм

Буни ўтказувчанлик токи деб атаймиз. Ўтказувчанлик токи электр майдонининг таъсири остида ҳосил бўлади. Бу ҳолда, ўтказгичдаги зарядларнинг (Электростатик) тақсимот мувозанати бузилади унинг сирти ва ҳажми соҳалари эквипотенциал бўлмай қолади. Ўтказгичнинг ичида электр майдони пайдо бўлади, унинг сиртидаги майдон кучланганлигининг уринма ташкил этувчиси эса $\vec{E} \neq 0$ бўлади. ўтказгичдаги заряд тақсимои унинг барча нукталари эквипотенциал ҳолга келмагунча давом этади. Агар ток фазодаги зарядли макроскопик жисмларнинг силжиши туфайли ҳосил бўлса, уни конвекция токи деб юритамиз¹.


Электр токининг ҳосил бўлиши ва барқарор туриши учун энг аввало эркин силжий оладиган зарядли заррачалар бўлиши, сўнгра эса уларни энергия билан доимий таъминлаб турувчи электр майдони мавжуд бўлиши лозим. Электр ташувчи зарядли зарядлар қуйидагилардан иборат:

Металларда эркин электронлар;
Электролитларда мусбат ва манфий зарядли ионлар;

2.2-расм

- Газлар ва плазмада ионлар ва электронлар;
- Ярим ўтказгичларда электронлар ва тиркишлар;

Токнинг йўналиши сифатида шартли равишда мусбат зарядларнинг ҳаракат йўналиши қабул қилинган.

Батарея қутбларини ўтказгич сим билан бирлаштирсак электр занжири ҳосил бўлади 2.2-расм(12-3 расм). Электр занжирларида батареяларни  символик кўринишда белгиланади. Бунда узун чизиқча мусбат қутб, қисқа чизиқча эса манфий қутб деб қабул қилинади. Бу занжир орқали электр заряди бир қутбдан иккинчи қутбга кўчиши мумкин. Бу зарядларнинг оқими электр токи деб аталади.

Электр токини миқдорий жиҳатдан характерлаш учун **ток кучи** деган скаляр физик катталиқ киритилади. Вақт бирлиги ичида ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзасидан оқиб ўтувчи заряд миқдорини аниқловчи катталиқни **ток кучи** деб атаймиз.

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (2.1)$$

Агар вақт ўтиши билан токнинг сон қиймати ва йўналиши ўзгармаса уни **ўзгармас ток** дейилади.

$$I = dQ / dt \quad \text{агар } I = \text{const} \text{ бўлса, } I = Q / t$$

Ток кучининг ўлчов бирлиги $[I] = A(\text{ampere})$

Ўрганилаётган сиртнинг турли нуқталаридаги ток йўналишини ва ток кучининг шу сирт бўйича тақсимланишини характерлаш учун ток зичлиги деб аталувчи катталик киритилади:

Ўтказгичнинг бирлик қўндаланг кесим юзасидан ўтувчи ток кучининг сон қийматини кўрсатувчи вектор физик катталикни ток зичлиги дейилади:

$$j = \frac{dI}{dS_{\perp}}, \quad I = \frac{dQ}{dt} = ne \langle \mathcal{G} \rangle S \quad (2.2)$$



12.4 - rasm

2.3 (12.4)-расм

Шунда, ток зичлиги:

$$\vec{j} = ne \langle \vec{\mathcal{G}} \rangle$$

Бунда $\langle \mathcal{G} \rangle$ - ўтказгичдаги зарядлар тартибли ҳаракатининг ўртача арифметик тезлиги, n - ток ташувчи заррачалар контсентратсияси; q -элементар заряд.

Ток зичлигининг ўлчов бирлиги: $[j] = A/m^2$.

Исталган S сирт орқали ўтувчи ток кучи j векторнинг оқими сифатида аниқланади:

$$I = \int_S j dS \quad (2.3)$$

бунда $d\vec{S} = \vec{n} dS$ ($\vec{n} - dS$ yuzaga o'tkazilgan birlik normal vektor)

Агар S берк сирт бўйлаб, $d\vec{S}$ вектор ҳамма жойда ташқи \vec{n} нормал бўйича ўтказилган бўлса; унда: $dQ = -Idt$. $\oint \vec{j} d\vec{S} = -\frac{dQ}{dt}$

Бу тенгламани **узилмаслик тенгламаси** дейилади. Агар ток ўзгармас бўлса, заряд $Q = \text{const}$ ва $\oint \vec{j} d\vec{S} = 0$ шарт бажарилади.

Ташқи кучлар. Электр юритувчи куч ва кучланиш

Ўзгармас электр токи мавжуд бўлиши учун занжирда, ноэлектрик табиатли кучлар бажарадиган иш ҳисобига, доимий потенциаллар фарқи ҳосил қилиб турувчи қурилма

бўлиши керак. Бундай қурилма генератор ва ёки ток манбаи деб аталади. Ток манбаи томонидан зарядларга таъсир этувчи нозлектрик табиатли кучларни эса ташқи кучлар дейилади. Ташқи кучларнинг табиати турлича бўлиши мумкин:

- Ўзгармас ток генераторида бу кучлар магнит майдон ва якорнинг айланиш механик энергиялари ҳисобига ҳосил бўлади;
- Аккумулятор ва гальваник элементда химиявий реакциялар туфайли пайдо бўлади;
- Яримўтказгичли фотоэлементда электромагнит энергия (ёруғлик) ҳисобига вужудга келади.

Ташқи кучлар томонидан мусбат бирлик зарядни кўчиришда бажариладиган ишни аниқловчи физик катталиқ занжирда таъсир қилувчи электр юритувчи куч (Э.Ю.К.) деб юритилади.

$$\varepsilon = A/Q_o \quad (2.4)$$

Бу ҳолда иш ток манбаи энергиясининг сарфланиши ҳисобига бажарилади. Ташқи куч томонидан Q_0 зарядга таъсир этувчи куч қуйидагига тенг:

$$\vec{F}_m = \vec{E}_m Q_0$$

бунда \vec{E}_m - ташқи кучлар майдонининг кучланганлиги. Занжирнинг берк қисмида Q_0 зарядни кўчиришда бажариладиган ишни аниқлаймиз:

$$A = \oint \vec{F}_m d\vec{l} = Q_0 \oint \vec{E}_m d\vec{l} \quad \text{ёки} \quad \varepsilon = \oint \vec{E}_m d\vec{l}$$

Занжирнинг чегараланган 1-2 қисми учун эса:

$$\varepsilon_{12} = \int_1^2 \vec{E}_T d\vec{l} \quad (2.5)$$

Q_0 зарядга ташқи кучлардан ташқари электростатик майдон кучлари ҳам таъсир қилади.

$$\vec{F}_e = Q_o \vec{E}$$

$$\begin{aligned} \vec{F} &= \vec{F}_T + \vec{F}_e = Q_o \left(\vec{E}_m + \vec{E} \right)_2 \\ \text{ёки} \quad A_{12} &= Q_0 \int_1^2 \vec{E}_m d\vec{l} + Q_0 \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} \end{aligned}$$

Бундан эса қуйидаги формулани ҳосил қиламиз:

$$A_{12} = Q_0 \varepsilon_{12} + Q_o (\varphi_1 - \varphi_2)$$

Берк занжирда электростатик кучларнинг бажарган иши нолга тенг. Шу сабабли:

$$A_{12} = Q_o \varepsilon_{12}$$

Занжирнинг бирор чегараланган қисмида бирлик мусбат зарядни кўчиришда натижавий майдон кучлари томонидан бажарадиган ишни аниқловчи скаляр физик катталиқни занжирнинг шу қисмидаги кучланиши дейилади.

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}$$

Агар занжирнинг қаралаётган қисмида ЭЮК бўлмаса:

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$$

унда кучланиш занжирнинг шу қисмидаги потенциаллар фарқига тенг бўлади.

Ом қонуни ва унинг интеграл ҳамда дифференциал кўринишларидаги ифодаси. Ўтказгичлар қаршилиги

Занжирнинг бир жинсли (яъни Э.Ю.К мавжуд бўлмаган) қисмидан ўтувчи ток шу қисмдаги U кучланишга тўғри, унинг R қаршилигига эса тескари пропорционал бўлади:

$$I = U / R \quad (2.6)$$

Бу тенглама занжирнинг бир қисми учун Ом қонунининг интеграл кўринишини ифодалайди. Қаршиликка тескари бўлган катталикини ўтказгичнинг электр ўтказувчанлиги деб аталади.

$$G = 1 / R \quad [R] = \text{Ом}, \quad [G] = \text{См} \quad (\text{сименс})$$

Бир жинсли, чизиқли ўтказгичнинг R қаршилиги унинг l -узунлигига тўғри, s кўндаланг кесим юзасига эса тескари пропорционал бўлади:

$$R = \rho l / S \quad (2.7)$$

бунда ρ -солиштирама электр қаршилиги бўлиб, у ўтказгичнинг материални характерлайди.

Солиштирама электр қаршилигининг ўлчов бирлиги:

$$[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м}$$

Кумуш ($1,6 \cdot 10^{-8}$ Ом. м) ва мис ($1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом.м) энг кичик солиштирама қаршилигига эга. Амалиётда эса кўпроқ алюминий ўтказгичлар ишлатилади. Гарчи алюминий ($2,6 \cdot 10^{-8}$ Ом.м) нинг солиштирама қаршилиги катта бўлсада, унинг зичлиги кумушникидан анча кичик бўлганлиги бунга сабаб бўлади .

Юқоридагиларга асосланиб, Ом қонунини, қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{I}{S} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{U}{l}$$

бунда $1/\rho = \gamma$ -ўтказгич материали (моддаси)нинг солиштирама электр ўтказувчанлиги деб юритилади. $[\gamma] = \text{См/м}$.

$U/l = E$ – ўтказгичдаги электр майдон кучланганлиги ва $I/S = j$ ток зичлиги эканлигини эътиборга олсак:

$$j = \gamma E \quad \text{yoki} \quad \vec{j} = \gamma \vec{E} \quad (2.8)$$

Бу ифода **Ом қонунининг дифференциал кўриниши**дир. У ўтказгич ичидаги исталган нуқтада ток зичлиги билан майдон кучланганлигини боғлайди.

Токнинг иши ва қуввати. Жоул-Ленц қонуни

Учларига U кучланиш қўйилган бир жинсли ўтказгичдан ∂t вақт ичида $\partial Q = U \partial t$ миқдорда заряд ўтиб, унда dA миқдорда иш бажарилади.

$$dA = U dQ = IU$$

Агар ўтказгичнинг қаршилиги R бўлса, Ом қонунини қўллаб қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$dA = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt. \quad (2.9)$$

Токнинг қуввати эса:

$$P = \frac{dA}{dt} = UI = I^2 R = U^2 / R \quad (2.10)$$

Агар ток қўзғалмас металл ўтказгичдан ўтаётган бўлса, унда бажарилган иш унинг қизишига сарфланади:

$$\partial Q = \partial A$$

Юқоридагиларни жамлаб, хулосалаймиз:

$$dQ = IU dt = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt \quad (2.11)$$

Бу ифода Жоул – Ленц қонунини ифодалайди.

Ўтказгичда $\partial V = \partial S \partial l$ элементар цилиндрик ҳажмни ажратамиз, унинг қаршилиги $R = \rho \frac{dl}{dS}$ бўлишини эътиборга олсак:

$$dQ = I^2 R dt = \frac{\rho dl}{dS} (j dS)^2 dt = \rho j^2 dV dt$$

Бирлик ҳажмда, бирлик вақт ичида ажраладиган иссиқлик миқдорини солиштирма иссиқлик қуввати дейилади.

$$\omega = \rho j^2 = jE = \gamma E^2$$

Бу формула Жоуль – Ленц қонунининг дифференциал ифодасидир. У барча ўтказгичлар учун ўринли.

Занжирнинг бир жинслимас қисми учун Ом қонуни

Агар ток қўзғалмас ўтказгичнинг бир жинслимас қисми орқали ўтаётган бўлса, унда зарядни шу қисмда кўчириш учун бажариладиган иш ва ўтказгичнинг шу қисмидан ажралиб чиқадиган иссиқлик миқдори энергиянинг сақланиш қонунига кўра ўзаро тенг бўлади:

$$A_{12} = Q_0 E_{12} + Q_0 (\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$Q = I^2 R t = IR(I t) = IR Q_0$$

$$\text{ёки } I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}}{R}$$

Бу формулани занжирнинг бир жинслимас қисми учун Ом қонунининг интеграл ифодаси бўлади. У умумлашган Ом қонуни ҳисобланади.

Унинг хусусий ҳоллардаги тадбиқи билан танишамиз.

- Агар мазкур қисмда ток манбаи мавжуд бўлмаса $\varepsilon_{12} = 0$, унда бир жинсли занжир учун Ом қонуни ҳосил бўлади.

$$I = (\varphi_1 - \varphi_2) / R = U / R$$

- Агар электр занжири берк бўлса, унда берк занжир учун Ом қонуни келиб чиқади.

$$I = \varepsilon / (R + r) \quad (2.12)$$

бунда r - манбанинг ички қаршилиги.

- Агар электр занжири очик бўлса, унда $U=0$.

$$\varepsilon_{12} = \varphi_2 - \varphi_1$$

яъни, очик занжирда ЭЮК, ўтказгич учларидаги потенциаллар фарқи тенг бўлади. Шу сабабли, ток манбаининг ЭЮК ини топиш учун занжирнинг узилган ҳолатида, ток манбаи клеммаларидаги потенциаллар фарқи ўлчаниши керак бўлади.

Одатдаги шароитлар учун қаршилик температурага чизикли боғлиқ ҳолда ўзгаради:

$$\begin{aligned}\rho &= \rho(1 + \alpha t) \\ R &= R_0(1 + \alpha t)\end{aligned}\quad (2.13)$$

бунда ρ ва ρ_0 , R ва R_0 - мос ҳолда ўтказгичнинг t ва $\theta^\circ C$ даги солиштира қаршилиги ва тўла қаршилиги. α - **қаршиликнинг температуравий коэффициенти** бўлиб, у тоза металллар учун (жуда паст бўлмаган температураларда) $1/273 K^{-1}$ га яқин қийматни қабул қилади. Демак, қаршиликнинг температурага боғлиқлигини қуйидагича ифодалаш мумкин: $R = \alpha R_0 T$ бунда T – термодинамик температура. Лекин, тажрибалар кўпгина металл (Al, Pb, Zn ...) ва қотишмаларнинг электр қаршилиги **критик температура** деб номланувчи, жуда паст (0,14-20K) температураларда, тўсатдан нолга айланиб абсолют ўтказувчи бўлиб қолишини кўрсатди. Бу ҳодисани **ўта ўтказувчанлик ҳодисаси** деб юритилади.

Уни 1911-йилда Г. Камерлинг – Оннесс симоб билан ўтказилган тажрибалар пайтида аниқлади. Бу ҳодиса квант назарияси асосида талқин этилади.

Ўта ўтказувчан материаллардан амалда фойдаланишга уларнинг критик температураларининг жуда пастлиги тўсқинлик қилади. Лекин ҳозирги кунда 100 K ва ундан юқори температураларда ҳам ўта ўтказувчанлик хусусиятига эга бўлувчи керамик материаллар борлиги аниқланган.

Қаршиликлар термометри деб аталувчи асбобнинг таъсири, металллар электр қаршилигининг температурага боғлиқлигига асосланади. Бу ўлчов асбобида унинг қаршилик ва температура орасидаги градиуровкага боғлиқ тарзда 0,003 K аниқликда температурани ўлчаш имкониятини беради. Ишчи модда сифатида махсус технология бўйича тайёрланган ярим ўтказгич асосида ишлайдиган термисторлар температурасининг $10^{-6} K$ миқдоридаги ўзгаришларини ҳам қайд қила олади.

Занжирнинг тармоқланган қисми учун Кирхгоф қоидалари

Занжирнинг уч ва ундан ортиқ токли ўтказгичлари учрашадиган нуқтаси *тугун* деб аталади. Шартли равишда тугунга келувчи токни мусбат ва ундан чикувчи токни эса манфий ишорали деб ҳисоблаймиз.

Кирхгофнинг биринчи қоидаси:

Тугунда учрашувчи тоklarнинг алгебраик йиғиндиси нолга тенг.

$$I = \sum_k I_k = I_1 + I_2 + \dots + I_k = 0, \quad k = 3, 4, \dots \quad (2.14)$$

Масалан. 1- расмдаги ҳол учун Кирхгоф қондаси қуйидагича ёзилади:

$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

Кирхгофнинг биринчи қондаси электр зарядларининг сақланиш қонунидан келиб чиқади.

Кирхгофнинг иккинчи қондаси эса тармоқланган занжир учун умумлашган Ом қонунидан келади чиқади.

Уч қисмдан иборат контурни кўриб чиқамиз. Ихтиёрий равишда, соат милининг айланиш йўналишини мусбат деб оламиз. Ток манбалари берадиган тоқларнинг йўналишига қараб, уларнинг ишораларини белгилаб оламиз. Занжирнинг мос қисмларига Ом қонунини қўллаб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\begin{cases} I_1 R_1 = \varphi_A - \varphi_B + \varepsilon_1 \\ -I_2 R_2 = \varphi_B - \varphi_C - \varepsilon_2 \\ I_3 R_3 = \varphi_C - \varphi_D + \varepsilon_3 \\ I_4 R_4 = \varphi_D - \varphi_A \end{cases}$$

бунда эса:

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_4 R_4 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

Бу тенглик **Кирхгофнинг иккинчи қондасини** ифодалайди:

Тармоқланган электр занжирининг танланган ҳар қандай берк контурида мос қисмлардаги ток кучи ва қаршилиқлар кўпайтмаларининг алгебраик йиғиндисини шу қисмларда учрайдиган мос Э.Ю.К ларнинг алгебраик йиғиндисига тенг:

$$\sum_i I_i R_i = \sum_k \varepsilon_k \quad (2.15)$$

ўзгармас токнинг мураккаб электр занжирлари учун Кирхгоф қондаларидан фойдаланиб ҳисоблашлар ўтказилаётганда қуйидагича иш тутилади.

- Занжирнинг барча қисмлари учун ягона, ихтиёрий йўналиш танлаб олинади. Тоқларнинг ҳақиқий йўналиши эса масала ҳал қилингандан сўнг маълум бўлади. Агар аниқланган токнинг ишораси мусбат чиқса, демак, йўналиш тўғри белгиланган, манфий бўлса унинг йўналиши тескари деб, қаралади.
- 2. Контурни айланиб чиқиш йўналиши ихтиёрий танланади ва унга қатъий амал қилинади. Агар токнинг йўналиши шу қисмдаги айланиб чиқиш йўналишига мос тушса, I_n мусбат ишора билан олинади. ЭЮКларнинг ишораси ҳам худди шундай принципда аниқланади.
- Изланаётган катталиклар сонига тенг тенгламалар тузиш лозим бўлади.

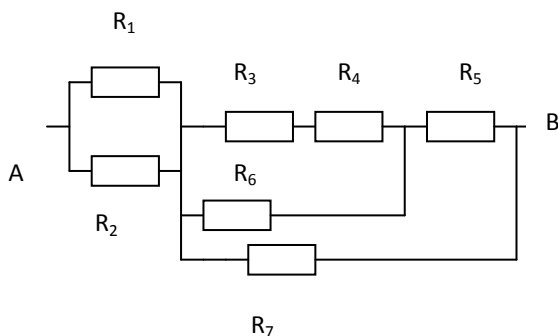
НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Ом қонунининг дифференциал кўринишини келтириб чиқаринг.
2. Жоул-Ленц қонунининг дифференциал шаклни ҳосил қилинг.
3. Тоқнинг солиштирма иссиқлик қуввати қандай физик маънони англатади?

4. Умумлашган Ом қонунини таҳлил қилиб беринг.
5. Тугун тушунчасини ёритинг.
6. Кирхгофнинг биринчи қондасини таърифланг, у қандай қонунга асосланади?
7. Кирхгофнинг иккинчи қондасини таърифланг, у қандай қонунга асосланади?

Амалий машғулот Ўзгармас электр токи

1. Агар мис симда электронлар контсентрацияси $3 \cdot 10^{23} \text{ см}^{-3}$, уларнинг тартибли ҳаракатининг ўртача тезлиги $0,25 \text{ Мм/с}$ ва симнинг кўндаланг кесим юзи 85 мм^2 бўлса, троллейбус тармоғининг контакт мис симидаги токкучини аниқланг.
2. Агар кўндаланг кесимининг юзи 105 мм^2 , токкучи 500 А бўлган ўтказгичда ўтказувчанлик электронларининг тартибли ҳаракати ўртача тезлиги $0,1 \text{ Мм/с}$ бўлса, симнинг ўтказувчанлик электронларининг контсентрациясини аниқланг.
3. Энергия истемолчиси токманбаидан $0,5 \text{ км}$ масофада жойлашган ва у билан кўндаланг кесимининг юзи 5 мм^2 бўлган ўтказгич билан туташтирилган. Истеъмолчи 1 км узоққа кўчирилди. Линияда кучланиш тушиши аввалгидек қолиши учун қандай кўндаланг кесимдаги ўтказгич олиниши керак?
4. 45 В кучланиш ва 10 Ат оккучига мўлжаллангани электр ёйи 110 В ли кучланиш тармоғига уланди. Агар туташтирувчи симнинг қаршилиги $0,5 \text{ Ом}$ бўлса, зарур бўлган қўшимча қаршиликни аниқланг.
5. Занжир кетма-кет уланган учта симдан иборат бўлиб, 24 В кучланишли манбага уланган. Биринчи ўтказгичнинг қаршилиги 4 Ом , иккинчисиники 6 Ом , учинчи ўтказгич учларидаги кучланиш 4 В . Занжирдаги ток кучини, учинчи ўтказгич қаршилигини ва биринчи ҳамда иккинчи ўтказгич чучларидаги кучланишларни топинг.
6. 1-расмда электр занжирининг схемаси берилган. Кучланиш $U_{AB}=220 \text{ В}$. Умумий ток кучини ва параллел тармоқлардаги ток кучини аниқланг. Бу ерда $R_1=12 \text{ Ом}$, $R_2=4 \text{ Ом}$, $R_3=5 \text{ Ом}$, $R_4=7 \text{ Ом}$, $R_5=13 \text{ Ом}$, $R_6=4 \text{ Ом}$, $R_7=16 \text{ Ом}$,



7. Электр ўтказувчанлик G қаршиликка тесқари 1-расм ал: $G = \frac{1}{R}$. Ўлчов бирлиги ҳам қаршилик бирлиги Ом га тесқари бўлиб, сименс (Sm) деб юритилади. Агар электр кучланиш $12,0 \text{ В}$, ундан ўтаётган ток 800 mA бўлса, жисмнинг ўтказувчанлиги (сименсларда) нечага тенг?
8. Ички радиуси R_1 , ташқи радиуси R_2 ва узунлиги L бўлган ичи ковак цилиндр шаклидаги резистор (қаршилик)нинг солиштирма қаршилиги ρ га тенг. а) Ташқи ва ички радиусларини ҳисобга олиб, ток учун ҳисобланган қаршилиги қуйидагига тенг: $R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{R_2}{R_1}$. (Изоҳ: цилиндр қатламига қаранг ва интегралланг). б) Агар $R_1 = 1,0 \text{ мм}$, $R_2 = 1,8 \text{ мм}$, $L = 1,0 \text{ см}$ бўлса, углерод учун резистор қаршилигини ҳисобланг. в) Агар ток резистор ўқи бўйлаб оқаётган бўлса, худди шу параметрлар учун резистор қаршилигини топинг.

9. Ички радиуси r_1 , ташқи радиуси r_2 ва солиштира σ бўлган ичи ковак шаршаклидаги резистор (қаршилиқ)нинг солиштира қаршилиги ρ га тенг бўлган ўтказгичнинг қаршилигини ҳисоблаш формуласи келтириб чиқаринг.
10. Ҳайдовчи машинаси фарасини ўчиришни ёдидан чиқарди. Машина олд фараларининг ҳарбирининг қуввати 40 W дан, орқа чироқларининг ҳар бири 6 W дан бўлса (*jami* 92 W), у ҳолда янги зарядланган 12 V кучланишли $45\text{ A} \cdot \text{soat}$ сифимли аккумулятор қанча вақт чироқларни ёқиб тура олади (Ҳар бир лампага 12 V кучланиш берилади деб ҳисобланг)?

ЛАБОРАТОРИЯ ИШИ

ЎТКАЗГИЧНИНГ ҚАРШИЛИГИНИ ЎЗГАРМАС ТОК КЎПРИГИ ЁРДАМИДА АНИҚЛАШ

Ишдан мақсад: Ўзгармас ток воситасида ўтказгич қаршилигини аниқлаш.

Керакли асбоб ва буюмлар: реохорд, ўзгармас ток манбаи, қаршилиқлар магазини, калит, қаршилиқлари аниқланиши лозим бўлган иккита ўтказгич.

НАЗАРИЙ ҚИСМ

Электр майдони мавжуд бўлган ҳолда биринчи тур ўтказгичларда (металларда) кристалл панжара тугунлари орасида эркин электронларнинг тартибли ҳаракати вужудга келади. Бундай электронларнинг тартибли ҳаракатига электр токи дейилади. Электр токи миқдорий томондан ток кучи, деб аталадиган катталиқ билан характерланади.

Вақт бирлиги ичида ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзасидан ўтган заряд миқдорига тенг бўлган катталиқ ток кучи дейилади. Ток кучи скаляр катталиқ бўлиб, умумий равишда қуйидаги формула билан аниқланади.

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (1)$$

Агар токнинг қиймати ва йўналиши ўзгармаса бундай токка ўзгармас ток дейилади. Ток кучи бирлиги 1 Ампер (А). Ампер-вакуумда бир-биридан 1 м масофада жойлашган иккита чексиз узун параллел ўтказгичнинг ҳар биридан ток ўтганда, ўтказгичлар орасида уларнинг ҳар бир метр узунлигига $2 \cdot 10^{-7}\text{ Н}$ га тенг ўзаро таъсир кучини вужудга келтирадиган ток кучидир.

Ўтказгич учларида кучланиш бор бўлган ҳоллардагина, ўтказгичларда электр токи ҳосил бўлади. Бунда Ом қонунига асосан ток кучи қуйидагига тенг.

$$I = \frac{U}{R} \quad (2)$$

U -ўтказгич учларидаги кучланиш, R -ўтказгич қаршилигидир. Металл ўтказгич электр манбаига уланганда, металл таркибидаги эркин электронлар маълум йўналишда тартибли ҳаракат қила бошлайди. Бу электронлар тартибли ҳаракат давомида кристалл панжара тугунларида жойлашган мусбат ионлар билан тўқнашадилар. Ҳар бир тўқнашиш натижасида электронлар тартибли ҳаракатини йўқотади.

Демак, эркин электронлар ҳар бир тўқнашиш давомида ўзининг тартибли ҳаракат тезлиги ҳисобига олган кинетик энергиясининг бир қисмини кристалл панжарасидаги ионларга узатади. Ток манбаи электронларни қайтадан тезлаштиради, улар яна панжарасидаги ионлар билан тўқнашади ва х.к.

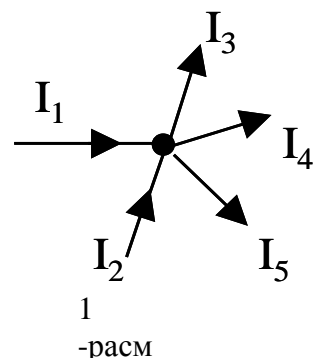
Электронларнинг тартибли ҳаракатига ҳалакит берадиган тўсиқлар йиғиндиси ўтказгичнинг қаршилиги R дейилади.

Баъзи амалий масалаларни ечишда бирмунча мураккаб, тармоқланган занжирлардаги ток кучи, кучланиш ва ҳоказоларни аниқлашга тўғри келади. Ом қонуни формулалари асосида бу масалаларни ҳал қилишнинг имкони бўлса ҳам бунда маълум қийинчилик юзага келиши мумкин. Бундай масалалар Кирхгофнинг иккита қонунини эътиборга олинса анча осон ечилади.

Кирхгофнинг биринчи қоидасини таърифлаш учун аввал тугун тушунчасини кўриб ўтайлик. Учта ва ундан ортиқ ўтказгичлар туташган занжир нуқтаси тугун деб аталади. (1-расм) Тугунга келаётган тоқлар мусбат ишора билан тугундан кетаётган тоқлар эса манфий ишора билан белгиланади. Кирхгофнинг биринчи қоидаси шундай таърифланади.

«Тугунга келаётган ва ундан кетаётган тоқларнинг алгебраик йиғиндиси нолга тенг». 1-расмда тасвирланган тоқлар учун Кирхгофнинг биринчи қоидаси ифодаси қуйидаги кўринишда ёзилади: $I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0$ ёки

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 \quad (3)$$



Кирхгофнинг биринчи қоидаси заряднинг сақланиш қонининг натижасидир. Кирхгофнинг иккинчи қоидаси тармоқланган занжир учун Ом қонунинг умумлаштиришдан келиб чиқади. 2-расмда тасвирланган занжирни кўрайлик. Ихтиёрий тарзда бирор йўналишни, мисол учун соат стрелкаси йўналишини мусбат ишорали деб танлаб олайлик.

Контурни шу йўналиш бўйича айланиб ўтувчи катталиклар (тоқ кучи, кучланиш) мусбат ишорали, тескари йўналишда айланиб ўтувчи катталиклар манфий ишорали деб қабул қилинади. Масалан, контурни соат стрелкаси бўйича айланиб ўтишида вужудга келтирилган ЭЮК мусбат ҳисобланади.

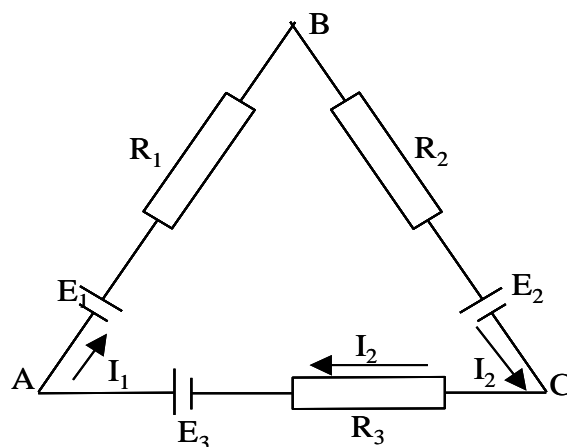
Контурнинг ҳар бир қисми учун бир жинсли бўлмаган Ом қонунини қўллаيمиз.

$$I_1 R_1 = \varphi_A - \varphi_B + \varepsilon_1$$

$$I_2 R_2 = \varphi_B - \varphi_C - \varepsilon_2$$

$$I_3 R_3 = \varphi_C - \varphi_A + \varepsilon_3$$

Бу тенгламаларни ҳадма-ҳад қўшиб қуйидаги ифодани оламиз:



2-расм

$$I_1 R_2 - I_2 R_2 + I_3 R_3 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \quad (4)$$

ёки умумий тарзда

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \quad (5)$$

Бундан Кирхгофнинг иккинчи қоидасига шундай таъриф бериш мумкин: *Тармоқланган электр занжиридаги ҳар қандай берк контурда контурнинг тегишли қисмларидаги тоқ кучининг шу қисм қаришиликларига кўпайтмаларининг йиғиндиси контурдаги барча ЭЮК ларнинг алгебраик йиғиндисига тенгдир.*

Кирхгоф қоидаларини қўллашда қуйидаги шартларга риоя қилиш керак:

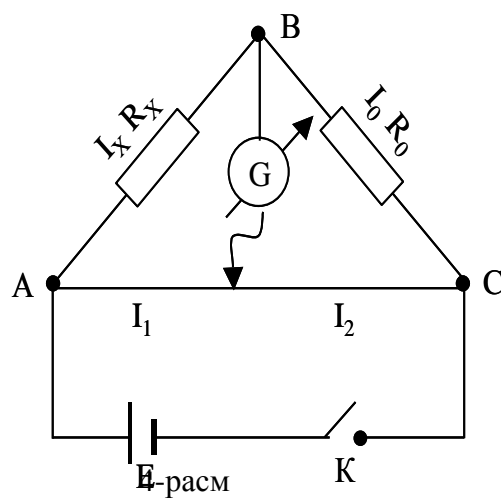
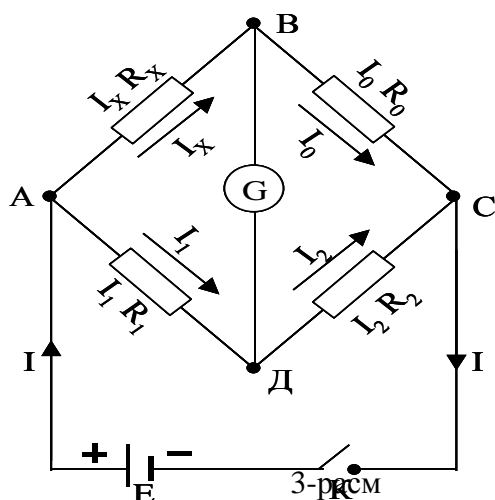
а) тоқ йўналишини тўғри танлаш лозим. Агар масалани ечишда манфий тоқ қиймати ҳосил бўлса, демак унинг ҳақиқий йўналиши тескари танланган бўлади. б) контурни

айланиб ўтиш йўлини тўғри танланиши керак: в) тузилган тенгламалар сони номаълум катталиклар сонига тенг бўлиши лозим.

Ўтказгичлар қаршилигини ўлчашнинг турли усуллари мавжуддир. Бу усуллардан энг қулайи амперметрда ўлчанган ток кучи ва вольтметрда аниқланган кучланиш қийматларини билган ҳолда, занжирнинг бир қисми учун Ом қонунидан фойдаланиб ўтказгич қаршилигини аниқлашдир. Лекин бу усул ёрдамида қаршилиқни аниқлашда кўпроқ хатоликка йўл қўйилади. Чунки ўлчов асбоблари амперметр ва вольтметрларнинг ички қаршилиқларининг мавжудлиги у ток кучини ва U кучланишни аниқ ўлчашга имкон бермайди. Натижада Ом қонуни ёрдамида ўтказгич қаршилигини ўлчашда хатоликка йўл қўйилади.

Шунинг учун кўпинча қаршилиқларни ўзаро таққослаш воситасида аниқлаш усулидан фойдаланилади. Бу усул ўзгармас ток кўприги Уистон кўприги усулидир.

Уистон кўприги схемаси R_0, R_1, R_2, R_x қаршилиқларнинг ABCD тўртбурчак шаклида уланишидан ҳосил бўлади (3-расм) Бу ерда R_0 - қаршилиқлар магазини.



Бу схеманинг (3-расм) бир диагоналига ток манбаи, иккинчи диагоналига эса сезгир гальванометр уланади. Гальванометр уланган худди шу диагонал кўприк вазифасини бажаради. Бу схема ёрдамида бажарилувчи барча ўлчашлар гальванометрда ток кучи қийматининг нолга тенг бўлишига асосланган.

3-расмда тасвирланган электр занжиридаги қаршилиқларнинг ихтиёрий қийматларида гальванометр орқали ток ўтиб туради. Аммо, схемадаги қаршилиқларнинг шундай қийматларини танлаган ҳолда гальванометрдан ток ўтмаслигини вужудга келтириш, яъни гальванометрда ток кучи қийматининг нолга тенг бўлишига эришиш мумкин.

Тажрибада Уистон кўпригида R_1 ва R_2 қаршилиқлар узунлиги 1 метр бўлган реохорд (сим тортилган масштабни чизгич) билан алмаштирилади (4-расм). Реохорд солиштирма қаршилиги жуда катта бўлган бир жинсли ингичка сим бўлиб, бу сим орқали D контактни силжитиш мумкин. R_1 ва R_2 қаршилиқлар вазифасини ℓ_1 ва ℓ_2 сим узунликлари бажаради.

Калит ёрдамида кўприкнинг иккинчи диагоналига ток манбаи уланса 4-расм берк занжирининг барча қисмларидан электр токи ўта бошлайди. Юқорида эслатиб ўтилгандек қаршилиқларни шундай танлаш мумкинки, гальванометрдан ток ўтмай қолсин. Кўприкнинг шу ҳолатини мувозанат ҳолат дейилади. Бу ҳолатнинг амалга ошиш учун R_0, R_1, R_2 қаршилиқлар маълум тенгликларни қаноатлантирадиган тарзда танланиб олиниш керак. Масалан, гальванометрдаги ток нолга тенг ($I_g=0$) бўлган пайтда табиийки, ва нуқталарнинг потенциаллари бир-бирига тенг яъни $\varphi_B = \varphi_D$ бўлади. 3-расмда кўрсатилган схема учун Кирхгоф қоидаларини қўллаймиз. Кирхгофнинг биринчи қоида

$$\text{A нуқта учун } I - I_1 - I_x = 0$$

$$\text{B нуқта учун } I_x - I_0 - I_g = 0 \quad (6)$$

Д нукта учун $I_g + I_1 - I_2 = 0$
 кўринишда ёзилади. Занжир асосан АВДА ва ВСДВ контурлардан ташкил топганлигини
 англаш қийин эмас. Шу контурлар учун мос равишда Кирхгофнинг икинчи қондасини
 қуйидагича ёзамиз.

$$\text{АВДА: } I_x R_x + I_g R_g - I_1 R_1 = 0 \quad (7)$$

$$\text{ВСДВ: } I_0 R_0 + I_2 R_2 - I_g R_g = 0 \quad (8)$$

Кўприк мувозанат ҳолатда бўлиши учун $I_g = 0$ шарт бажарилиши лозим эди. Шу ҳолат
 учун (6) тенгликлардан ток кучи учун

$$I_0 = I_x, \quad I_1 = I_2 \quad (9)$$

ифодаларга келамиз. (7) ва (8) тенгликлардан эса

$$I_x R_x = I_1 R_1, \quad I_0 R_0 = I_2 R_2 \quad (10)$$

ифодалар келиб чиқади. Бу тенгликларни ҳадлаб бирини иккинчисига бўламиз

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{R_1}{R_2} \quad (11)$$

Бундан номаълум қаршиликни аниқловчи ифодани оламиз:

$$R_x = R_0 \frac{R_1}{R_2} \quad (12)$$

Ёки R_1 ва R_2 қаршиликларни реохорд симининг елка узунликлари ℓ_1 ва ℓ_2 лар
 билан алмаштириб қуйидаги ифодага эга бўламиз.

$$R_x = R_0 \frac{\ell_1}{\ell_2} \quad (13)$$

Бу ерда реохорд симининг барча узунлиги бўйлаб унинг қўндаланг кесими бир хил
 деб қабул қилинган.

Ишни бажариши тартиби

1. Схема билан батафсил танишилади. Тажриба натижаларини ёзиш учун
 қуйидаги жадвал чизилади. Номаълум қаршилик сифатида R'_x қаршиликни
 ўтказгич занжирга уланади.
2. Қўзғалувчан Д контактни реохорд симининг ўртасига ($\ell_1 = \ell_2 = 50$ см) қўйиб
 қаршиликлар магазинидан R_0 нинг қиймати шундай танлаб олинадики,
 гальванометрдан ўтаётган ток кучи $I_g = 0$ бўлсин. Сўнгра Д
 контакт силжитилиб гальванометрдаги ток кучи айнан «0» га
 келтирилади. ℓ_1 ва ℓ_2 нинг қийматлари жадвалга ёзилади.
3. Сўнгра реохорднинг ℓ_1 30, 40, 60, 70 см қийматлари учун ҳам R_0
 қаршилик танлаб олинади ва ҳар бир узунлик учун гальванометрдан
 ўтаётган ток нолга келтирилади. Ўлчаб олинган катталиклар асосида (13)
 формуладан фойдаланиб номаълум R'_x қаршилик ҳисоблаб топилади ва
 унинг ўртача қиймати аниқаланади, ℓ_1 , ℓ_2 , R_0 ларнинг қийматлари жадвалга
 ёзилади.

Жадвал

Қаршиликлар	N	R_0 (Ом)	ℓ_1 (м)	ℓ_2 (м)	R_x (Ом)	$\langle R_x \rangle$	ΔR_x	$\langle \Delta R_x \rangle$	$\frac{\langle \Delta R_x \rangle}{\langle R_x \rangle} \cdot 100\%$
R'_x	1								
	2								
	3								
R''_x	1								

	2 3								
R'_x ва R''_x лар параллел уланган	1 2 3								
R'_x ва R''_x Лар кетма-кет уланган	1 2 3								

4. Занжирга қаршилиги R''_x бўлган ўтказгич уланади, 2-3 бандлар такрорланиб (13) формула ёрдамида иккинчи ўтказгичнинг қаршилиги ва унинг ўртача қиймати аниқланади.
5. R'_x ва R''_x лар қаршиликлар электр занжирига аввал параллел сўнгра кетма-кет уланади. Ҳар икки ҳол учун 2-3 бандлар такрорланиб (13) формула ёрдамида умумий қаршиликлар $R_{\text{пар}}$ ва $R_{\text{к-к}}$ ҳисоблаб топилади. Ўтказгичлар параллел улангандаги умумий қаршилик $R_{\text{пар}}$ нинг ҳамда кетма-кет улангандаги умумий қаршилик $R_{\text{к-к}}$ нинг ўртача қийматлари аниқланади.
6. Ўтказгичларни параллел ва кетма-кет улаб топилган тажриба натижаларини назарий йўл билан чиқарилган формулалар: кетма-кет улаш учун
- $$R_{\text{к-к}} = R'_x + R''_x, \text{ параллел улаш учун } R_{\text{пар}} = \frac{R'_x \cdot R''_x}{R'_x + R''_x} \text{ орқали ҳисоблаб топилган}$$
- натижалар билан таққосланади.
7. Олинган натижалар бўйича R'_x ва R''_x қаршиликлар учун абсолют ва нисбий хатоликлар ҳисобланади. Олинган натижалар юқоридаги жадвалга ёзилади.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Ўтказгич қаршилиги қандай физик катталиқ ва классик электрон назарияси асосида у қандай тушунтирилади.
2. Кирхгоф қоидаларини тушунтиринг.
3. Уистон кўприги схемасини чизинг. Бу кўприк усули ёрдамида қаршилиқни ўлчашнинг моҳиятини изохлаб беринг.
4. Реохорднинг вазифасини тушунтиринг.
5. Кирхгоф қоидалари ёрдамида гальванометрдан ток ўтмаслиги шarti асосида номаълум қаршилиқни ҳисоблаш формуласини исботланг.

МУҲИТЛАРДА ЭЛЕКТР ТОКИ

Маъруза режаси:

5. Ионланиш энергияси ва ионлашиш турлари

6. Номустақил ва мустақил газ разрядлари
7. Мустақил газ разряд турлари
8. Плазма

Газларнинг ионланиши

Газлар табиий ҳолда электр ўтказмайди. Агар қуқрук атмосфера ҳавосида яхши изоляцияланган зарядланган жисм, масалан, яхши изоляцияланган зарядли электрометр жойлаштирсак, у ҳолда электрометрнинг заряди амалда ўзгаришсиз қолади.

Бироқ газга турли ташқи таъсирлар кўрсатиш йўли билан унда электр ўтказувчанликни юзага келтириш мумкин. Масалан, зарядланган электрометр ёнига горелка алангаси келтирилса, у ҳолда электрометрнинг заряди тез камайишини кўриш мумкин. Бу ҳолда биз газда юқори температура ҳосил қилиб, газда электр ўтказувчанликни ҳосил қилдик. Агар горелка алангаси ўрнига электрометр яқинида бошқа ёруғлик манбаини, масалан, симоб ёй лампасини (қуйига қаранг) қўйсак, лампадан чиқаётган ультрабинафша нурлар туфайли электрометр зарядларининг камайишини кузатиш мумкин. Рентген нурлари ва радиоактив препаратларнинг нурланиши ҳам газга худди шундай таъсир кўрсатиши мумкин.

Бу юқори температура ва турли нурланишлар таъсирида газларда зарядланган зарралар пайдо бўлишини кўрсатади. Бундай зарядларнинг пайдо бўлишига газ атомидан бир ёки бир неча электронларнинг юлиб чиқарилиши, бунинг натижасида нейтрал атомлар ўрнида мусбат ион ва электронлар пайдо бўлади. Ҳосил бўлган электронларнинг бир қисми бошқа нейтрал атомлар томонидан тутиб олиниши мумкин ва бунда яна манфий ионлар пайдо бўлади.

Атомдан электронларнинг юлиб олиниши (атомнинг ионлашиши) маълум энергия – ионланиш энергияси сарфланишини талаб қилади. Бу энергия атомнинг тузилишига боғлиқ ва шунинг учун турлича бўлади.

Ионизатор таъсири тўхтагандан сўнг газдаги ионлар сони вақт ўтиши билан камая бошлайди ва пировардида батамом йўқолади. Ионларнинг йўқолишига сабаб ионлар билан электронларнинг иссиқлик ҳаракатида иштирок этиши ва шунинг учун ўзаро бир-бири билан тўқнашишидир. Мусбат ион ва электрон тўқнашганида улар нейтрал атом бўлиб бирлашиши мумкин. шунингдек, мусбат ва манфий ионлар тўқнашганида манфий ион ўзининг ортиқча электронини мусбат ионга бериши ва ҳар иккала ион нейтрал атомларга айланиши мумкин. Ионларнинг ўзаро нейтралланишига оид бу процессионлар *рекомбинацияси* деб аталади.

Мусбат ион ва электрон ёки икки ионнинг рекомбинациясида маълум энергия ажралиб чиқади, бу ажралган энергия ионланиш энергиясига тенг бўлади. Бу энергия қисман ёруғлик тарзида тарзида нурланади, шунинг учун ионлар рекомбинациясида ёруғлик нурланиши рўй беради (рекомбинация ёруғланиши). Агар мусбат ва манфий ионлар сони жуда катта бўлса, у ҳолда ҳар секундда бўладиган рекомбинация актларининг сони ҳам жуда катта бўлади ва рекомбинация ёруғланиши кучли бўлиши мумкин. Рекомбинацияда ёруғликнинг нурланиши турли хил разряддаги ёруғликнинг нурланиши турли хил газ разряддаги ёруғлик сочишининг сабабларидан биридир.

Номустақил ва мустақил газ разрядлари

Электрон зарби таъсирида ионлашишнинг бир ўзи мустақил разряднинг юз бериб туришини таъминлай олмайди. Шунинг учун мустақил газ разрядидаги ионларни таъминловчи асосий процессларни қараб чиқайлик:

1. *Зарбдан ионланиш*. Электронларнинг зарб билан тўқнашишдаги кинетик энергия W майдоннинг кучланганлиги E га ва эркин йўлининг узунлиги λ га пропорционалдир: $W = eE\lambda$

Бунда e - электроннинг заряди. Агар бу энергия газ молекулаларининг ионлашиш иши A дан катта бўлса, яъни $W=A$

Шарт бажарилса, зарбдан ионлашиш процесси содир бўлади ва юқорида баён қилинган электронлар кўчкиси (куйони) ҳосил бўлади.

2. *Иккиламчи электрон эмиссия*. Майдон таъсирида катта кинетик энергияга эришган мусбат ионлар катоддан иккиламчи электронларни уриб чиқаради. Катоддан бундай электроннинг чиқиш ходисасига иккиламчи электрон эмиссия дейилади.

3. *Автоэлектрон эмиссия*. Ниҳоятда кучли электр майдон (10^2 В/м) таъсирида катоддан электронларни юлиб (тортиб) олиш мумкин. Кучли майдон таъсирида катоддан электронларнинг чиқишига автоэлектрон эмиссия дейилади.

4. *Фотоионланиш*. зарбли урилишдан ҳосил бўлган ион уйғотилган ҳолатда бўлиб, у асосий ҳолатга ўтаётган қисқа тўлқин узунликда нур чиқаради. Бу ёруғлик квантининг энергияси етарли бўлганда фотоионланиш содир бўлади.

5. *Термоэлектрон эмиссия*. Юқори температурали катодда электронларнинг учиб чиқиши-термоэлектрон эмиссия туфайли жуда кўп электронлар вужудга келади.

Мустақил ва мустақил бўлмаган разрядлар

Кучланиш манбаи, газ оралиғи ва кенг чегараларда ўзгартириш мумкин бўлган ўзгарувчан қаршиликдан иборат занжирни кўрайлик (1 -расм). Занжирда ток ўлчайдиган A асбоб ва V вольтметр ҳам бор. Дастлаб, газ оралиғига қандайдир ионизатор, масалан ультрабинафша нурлар таъсир кўрсатади, натижада улар манфий электродларга тушиб, ундан фотоэлектронларни уриб чиқаради деб фараз қилайлик. Бундан газ бирмунча электр ўтказувчанликка эга бўлади ва занжирда ток пайдо бўлади. Агар газ оралиғидаги занжирда g қаршиликни бир текис камайтириб борилса, ток кучи дастлаб ортади, бунинг сабаби электродлар орасида кучланишнинг ортиши ва улар орасидаги фазовий зарядларнинг камайишидандир. Қаршилик янада камайтирилса, электродлардаги кучланиш шундай қийматга етадики, бунда барча ҳосил бўлган ионлар мусбат электродгача бориб етади ва биз i_s тўйиниш токини ҳосил қиламиз, унинг кучи энди фақат ионизатор интенсивлигигагина боғлиқ бўлади (2-расм). Бунда қайд қилинадиган тоқлар жуда кичик (одатда, ионизаторнинг интенсивлигига боғлиқ ҳолда ҳам микроампер ва ундан ҳам кам) бўлади.

Агар разряд характеристикасининг O_a тармоғи билан тасвирланадиган бирор режимда ионизатор таъсирини тўхтатсак, у ҳолда разрад тўхтайди. Фақат ташқи

ионизатор таъсиридагина мавжуд бўладиган бундай разрядлар *мустақил бўлмаган* разрядлар деб аталади.

Агар занжирнинг қаршилигини камайтирсак, у ҳолда кучланиш нисбатан кам ортганда ҳам разряд оралиғи орқали ўтувчи ток тез ортади. Бу ҳол характеристиканинг аб қисмига мос келади (2-расм). Характеристиканинг аб қисмида токнинг ортиши газ оралиғида янги ионларнинг пайдо бўлишидан дарак беради.

Агар қаршилиқ камайтирилса, разряд оралиғи орқали ўтувчи ток тамоман бошқача характерда бўлади. Разрядда ток кучи кескин ортиб кетади (юз ва минглаб марта) ва газда кучли намоён бўлувчи ёруғлик ва иссиқлик эффектлари кузатилади. Агар энди ионизатор таъсири тўхтатилса ҳам, разряд давом этаверади. Бу деган сўз, газнинг электр ўтказувчанлигини таъминловчи ионлар разряднинг ўзида бўладиган процесслар туфайли пайдо бўлади, демакдир. Бундай газ разрядлар *мустақил* разрядлар деб аталади. Мустақил разряд юзага келадиган кучланиш газ оралиғининг *тешилиш кучланиши* деб аталади ёки газ *разряднинг ёниш кучланиши* деб аталади.

Разрядда ионларни ҳосил қилувчи қандай процесс устун туришига қараб мустақил разрядларнинг турли шакллари ва хиллари ҳақида гапириш мумкин. Масалан, мустақил разряднинг тож разряд, учқун разряд, ёй разряд, ёлқин разряд ва бошқа турлари бўлади. Разряднинг бу шакллари бир-биридан хоссалари ва ташқи кўриниши билан фарқ қилади.

Мустақил газ разряд турлари

Газнинг хоссаси ва ҳолатларига, электродларнинг материали, шакли, ўлчамлари ва ўзаро жойлашишига, шунингдек электродларга берилган кучланиш катталигига қараб газларда мустақил разряднинг ҳар хил турларини кузатиш мумкин.

1.Тож разряд- атмосфера босимида бир жинсли бўлмаган кучли электр майдони мавжуд бўлган ҳолларда ҳавода кузатилади. Масалан, тож разряд қоронғу тунда юқори кучланишли электр узатиш линияси атрофида ёки қоронғу қилинган аудиторияда юқори кучланишли ток манбаига уланган симлар атрофида худди куёш тожига ўхшаш нурланиш кузатилади. Тож разряд симлар атрофида эмас, балки учлик ўтказгич атрофида, кема мачталарининг, дарахтнинг учларида ҳам кузатилади.

Тож разрядининг ҳосил бўлиш механизмини қуйидагича тасаввур қилиш мумкин. Юқори кучланишли сим атрофида тасодифан ҳосил бўлган мусбат ионлар манфий сим томонга ҳаракатланади ва ундан электронларни уриб чиқаради, улар ўз навбатида газ молекулаларини ионлаштиради. Бу процессда нурланиш кузатилади.

2.Учқунли разряд. Атмосфера босимида, электродлар орасидаги электр майдонининг кучланганлиги жуда катта ($E = 3000 \text{ кВ/м}$) бўлганда зарбдан ионланиши натижасида қисқа вақтли разряд-учқун вужудга келади.

Учқунли разряд равшан нурланувчи эгри-бугри тармоқланган канал кўринишида бўлиб, у орқали кучи катта бўлган қисқа муддатли ток импульси ўтади. Чакмоқ (яшин) бунга мисол бўлади: чакмоқнинг узунлиги 10 км гача, каналнинг диаметри 40 см гача бориши, ток кучи эса 10 кА гача етиши мумкин, импульснинг давомийлиги 10^{-4} с га тенг. Ҳар қайси чакмоқ битта каналдан кетма-кет келадиган бир неча импульсдан иборат бўлади. Учқун каналидаги газнинг температураси жуда юқори-10000 К гача етади. Газнинг тезда кучли қизиши босимнинг кескин ортишига ва товуш тўлқинларини пайдо

бўлишига олиб келади. Шунинг учун ҳам, чакмоқ чиққандан кейин момақолдироқнинг гумбурлаши этилади.

3. Ёй разряди (электр ёйи). Турли газларда босими атмосфера босимининг ўнли улушларидан тортиб, то бир неча минг атмосферагача бўлган босимда рўй беради. Газ разрядлари ичида амалий жиҳатдан жуда муҳим аҳамиятга эга бўлгани электр ёйидир.

Электр ёйини ҳосил қилиш учун иккита кўмир стержен олиб, уларга 40-50 В кучланиш берилади ва аввал уларнинг учлари бир-бирига теказилади. Бунда иккала учлари орасида бирданига кўзни қамаштирарли даражада равшан нурланиш рўй беради. Сўнгра электродларни бир-биридан биров узоклаштирилса, улар орасида ёй шаклида кучли ёруғлик берувчи электр ёйи деб аталувчи мустақил газ разряди ҳосил бўлади.

Электр ёйини биринчи бўлиб 1802 йилда рус академиги В.В.Петров кашф қилган.

Ёй разрядида температуранинг $2500-4000^{\circ}\text{C}$ гача кўтарилиши металлургияда ёй разрядидан иссиқлик оладиган электр печларида металлларни пайванд қилишда ишлатилади.

Ёй разряди жуда кучли ёруғлик манбаидир, ундан прожекторларда, проекцион аппаратларда ва кино аппаратларида фойдаланилади.

4. Милтиллама разряд. Сийракланган газларда, яъни паст босим симоб устунининг миллиметрининг ўндан бир, юздан бир улушларида ҳосил бўлади. Милтиллама разрядни ҳосил қилиш учун икки томонга электродлар кавшарланган ва хавоси сўриб олиш учун насосга уланган шиша найча олиб, электродларни кучланиши бир неча юз вольтли манбага улаймиз. Найдаги хавонинг нурланиш характери унинг сийраклашиш даражасига боғлиқ бўлади. Дастлаб, электродлар орасида бинафша рангли “шнурсимон” газ разряди ҳосил бўлади, сўнгра най ичидаги барча хаво қизғиш рангда ёруғлик чиқаради. Бундай милтиллама разряд мусбат ионлар катоддан уриб чиқарган электронларнинг газ молекулаларини зарб билан ионлашиши туфайли ҳосил бўлади. Найдаги газ ўзгартирилганда нурланишнинг ранги ҳам ўзгарар экан. Масалан, аргон кўк ранг, неон қизил ранг, гелий эса сариқ рангли нурланиш беради.

Милтиллама (ёлқин) разрядда ионлар концентрацияси, шунингдек нейтрал атомлар сони кам бўлганлиги учун газда ажраладиган иссиқлик миқдори унча катта бўлмаганлигидан нурланиш совуқ нурланишдан иборат бўлади.

Милтиллама (ёлқин) разряддан нурланувчи рекламаларда кенг қўлланиладиган газ – ёруғлик найларини яратишда, кундузги ёруғлик лампаларида ишлатилади.

Плазма.

Абсолют нолга яқин бўлган жуда паст температураларда ҳамма моддалар қаттиқ ҳолатда бўлади. Иситилганда модда қаттиқ ҳолатдан суяқ ҳолатга, ундан кейин эса газ ҳолатига ҳам ўтади.

Ўта юқори температура ($T = 10000\text{ K}$) да газ молекулаларининг тўқнашуви туфайли ионланиш содир бўлади. Модда плазма деб аталувчи янги ҳолатга ўтади.

Плазма деб, электр жиҳатдан бутунлайича нейтрал, қисман ёки тўлиқ ионлашган модданинг ҳолатига айтилади.

Плазманинг ўзига хос хоссаларидан бири, унинг модданинг махсус тўртинчи ҳолати деб ҳисоблашга имкон беради.

Температураси тахминан $20000 - 30000\text{ K}$ бўлган ҳар қандай модда тўла ионлашган плазмадан иборат бўлади. Тўла ионлашган плазма табиатда энг кўп тарқалган модданинг

ҳолатидир. Оламнинг барча моддалари ўзида мужассамлаштирилган Қуёш ва бошқа юлдузлардаги юқори температурали плазманинг гигант тўпламидан иборатдир. Юқори температурали тўлиқ ионлашган плазманинг электр ўтказувчанлиги ўта ўтказувчанликка яқиндир. Ҳар қандай газ разряди қисман ионлашган плазмадан иборатдир.

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Газ разряди, ионизация, рекомбинация, номустақил разряд, мустақил разряд, ёниш кучланиши, тешилиш кучланиш, иккиламчи электрон эмиссия, фотоионланиш, плазма.

Назорат саволлар

1. Газ разряди деб нимага айтилади?
2. Рекомбинация деб қандай процессга айтилади?
3. Ионизация қандай процесс?
4. Мустақил ва мустақил бўлмаган разрядлар бир –биридан нима билан фарқ қилади?
5. Тож, учқинли, ва ёй разрядлари қандай ҳосил бўлади?
6. Милтиллама разряд қандай ҳосил бўлади?
7. Модданинг плазма ҳолати қандай ҳолат?
8. Ёлқинли разряднинг техникада қўлланиши.
9. Чакмоқ қандай разряд?
10. Электр ёйи қаерларда ишлатилади?

МАГНИТ МАЙДОНИ. ЎЗГАРМАС ТОКНИНГ МАГНИТ МАЙДОНИ

РЕЖА:

1. Вакуумда магнит майдони.
2. Магнит индукция вектори
3. Био-Савар-Лаплас қонуни.
4. Турли шаклдаги ўтказгичлар атрофидаги магнит майдон индукциясини ҳисоблаш.

Қириш. Магнитлар магнит майдонларини ҳосил қилиб, электр тоқлари ҳам уларни яратади. Компас кўрсаткичлари магнитдан иборат ва улар магнит майдони йўналишида ётади. Бу расмда компаслар заряд ташиётган сим магнит майдони ҳосил қилганини кўришимиз мумкин. Бу бобда биз магнит майдонни қандай аниқлашни ва магнит майдоннинг зарядга ва зарядланган jismlar таъсирини ўрганамиз.

Магнит ва магнит майдонлари. Магнетизм тарихи минг йилларга бориб тақалади, улардан биринчилари Кичик Осиёнинг Магнезия деган жойидан топилган тошлар бўлиб, улар орасида тортишиш кучи бир-бирларини тортиб турган. Бу тошлар топилган жойи номига «МАГНИТ» деб аталган. Ўн тўққизинчи асргача магнетизм ва электр тоқи бир бирига боғлиқлиги кашф қилинмаган. Кейинчалик электр тоқи оқими магнит майдони ҳосил қилиши аниқланган. Ҳамма турдаги электр жихозлари, компасдан тортиб то мотор, овоз кучайтиргич, компьютер хотираси ва генераторлар ҳам магнетизмга боғлиқдир.

Исталган магнит ҳоҳ у тўғри тўртбурчак ёхуд тақа шаклида бўлишидан қатъий назар, унинг иккита қутби бўлади расм 4.1.. Агар тўғри тўртбурчакли магнитни ўртасидан ўқ ўтказсак ва у ўқ атрофида эркин айланса, унинг битта учи доим шимолни кўрсатади. Бу факт қачон топилгани номаълум, лекин хитойликлар буни ўн биринчи асрда балки аввалроқ буни навигацияда қўллашган.

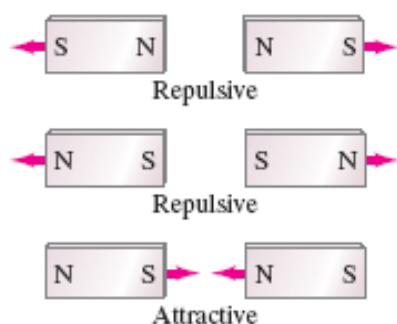


Расм 4.1.

Маълумки, магнитлар ўзларига темирдан ясалган буюмларни тортадилар.

Жумладан, компаснинг ишлаши ҳам шу принципга асосланган. Компас стрелкаси - бу оддийгина магнит бўлиб, унинг оғирлик марказига таянч қўйилган ва у эркин айлана олади. Эркин осилиб турган магнитнинг шимолга қараган қутби магнитнинг шимолий қутби (N) дейилади. Қарама қарши қутб эса жанубга қараган бўлиб, у жанубий қутб (S) дейилади.

Маълумки, агар иккита магнитни бир бирига яқинлаштирсак улар орасида куч пайдо бўлади. Магнитлар бир бири билан ё тортишади, ёки итаришади;



уларнинг таъсирлашуви хаттоки улар бир бирига тегмаса ҳам кузатилаверади. Агар бир магнитнинг шимолий қутбига иккинчи магнитнинг шимолий қутбини яқинлаштирсак, улар итаришадилар; худди шу ҳол улар жанубий қутблари яқинлаштирилса ҳам кузатилади. Аммо, агар бир магнитнинг шимолий қутбини иккинчисининг жанубий қутбига яқинлаштирсак, тортишиш пайдо бўлади (4-2-расм).

Расм 4.2.

Бу электр зарядлари таъсирлашишини эслатади: бир хил қутблар итаришади, ҳар хил қутблар тортишади.

Кучли магнит хоссалар факат темир ва бошқа бир нечта моддаларда кузатилади, масалан кобальт, никел, гадолиний. Бу моддалар ферромагнит дейилади (лотинчадан феррум - темир). Қолган бошқа моддалар ҳам магнит хусусиятларига эга, аммо улар шу даражада заифки, уларни сезгир асбоблар билан аниклаш мумкин.

Биз электр зарядини ўраб турган электр майдон тушунчаси қанчалик фойдали эканлигини кўрган эдик. Худди шунга ўхшаб, магнит атрофида ҳам магнит майдон мавжудлиги хақидаги тасаввур ўринли. Бир магнитнинг иккинчисига таъсир кучини бир магнит билан иккинчи магнитнинг магнит майдони ўзаро таъсири натижаси сифатида қараса бўлади. Худди электр майдони куч чизикларини тасвирлаганимиздек, магнит майдони куч чизикларини ҳам тасвирласак бўлади. Электр майдонидагидек, улар куйидагича ўтказилади

1) Магнит майдони ҳар бир нуқтада куч чизигига уринма бўйича йўналган.

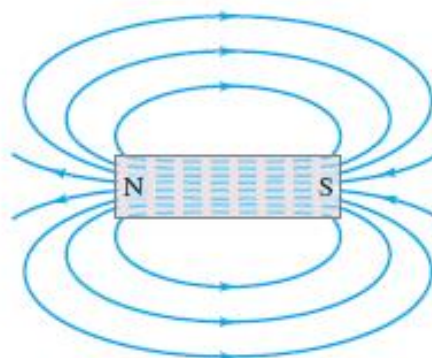
2) Юза бирлигига тўғри келувчи чизиклар сони магнит майдон қийматига пропорционал.

Магнит майдон йўналишини аниқлаш учун, шу нуктага магнит стрелкаси киритилади ва унинг шимолий қутби қараган тараф магнит майдон йўналишига мос келади. 2--расмда эса худди шу усулда чизилган магнит майдон куч чизиклари кўрсатилган. Бизнинг таърифга мос равишда куч чизиклар магнитнинг шимолий қутбидан жанубий қутбига йўналганлигига эътибор берамиз. 2-3-расм. Стерженсимон магнит куч чизикларининг магнит стрелкаси ёрдамида тасвирланиши.

Ихтиёрий нуктада магнит майдонни йўналиши юқорида айtilганидек аникланадиган B вектор сифатида аниқлаш мумкин. B катталики магнит стрелкаси магнит куч чизиклари бўйича жойлашмаганда унга таъсир килувчи айланма моменти орқали аниклана бўлади. Момент канчалик катта бўлса магнит майдони шунчалик кучли бўлади. Хозирча биз фақат шу (унчалик тўғри бўлмаган) таърифдан фойдаланамиз; аниқроқ таъриф кейинги бўлимларда берилади. B векторни оддийгина “магнит майдон” деб эмас, “магнит оқим зичлиги” ёки магнит индукцияси деб аташ афзалроқ.



(a)

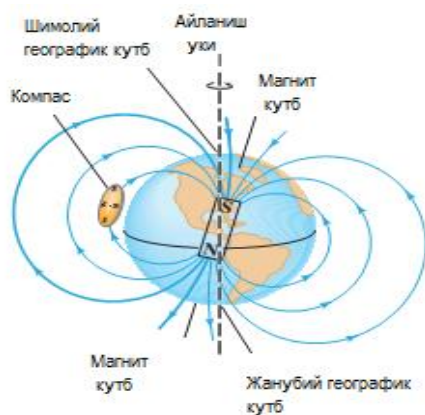


(b)

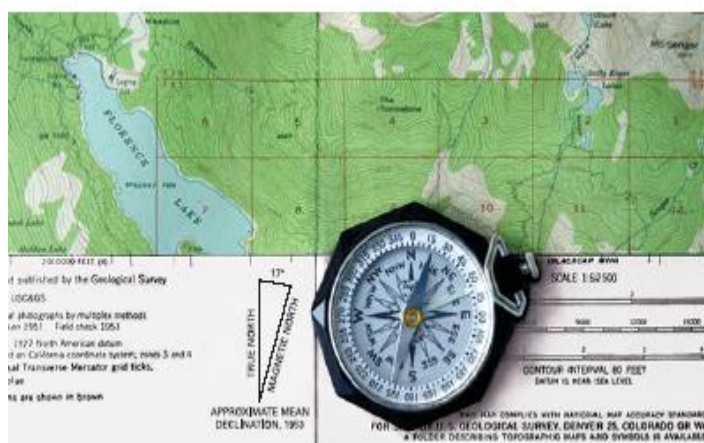
4-3 расм

Ернинг магнит майдони. Ернинг магнит майдони 4-4 расмда кўрсатилган. Майдон чизиклари модели деярли Ер ичида ҳаёлий магнит бўлаги бордек назарда тутилади. Компаснинг шимолий қутб (N) игнаси шимолга қарагани билан, географик шимолда жойлашган Ернинг магнит қутби магнит нуктаи назаридан жанубий қутбдир, қайсики 4-4 расмда S орқали Ер ичидаги схематик магнит бўлагида кўрсатилган. Эсингизда булсин, магнитланган шимолий қутб бошқа магнитланган жанубий қутбни жалб этади. Шундай булсада, шимолда Ер қутби ҳали ҳам “шимол магнит қутби” деб аталади, ёки “геомагнетик шимол” деб ҳам аталади, шунчаки шимолда жойлашганлиги учун. Худди шундай, географик Жанубий қутбга яқин Ер жанубий магнит қутби, магнит нуктаи назардан шимолий қутби (N) дир. 4.4 расмда

Ер магнит қутблари Ернинг айланиш уқида жойлашган географик қутблар билан мос келмайди. Шимолий магнит қутби, масалан, Канада Арктикасида жойлашган булиб, географик шимолий қутбидан 1000 км масофада жойлашган, ёки бошқача қилиб айtilганда шимол дейилади. Компасдан аниқ фойдаланиш учун бу фарқ ҳисобга олиниши керак (4-5 расм).



4.4. расм



4.5. расм

Исталган жойлашувдаги компас игнаси (магнит майдон чизиклари буйлаб ишора) йуналиши билан ҳақ (географик) шимол орасидаги бурчак фарқи магнит оғиш дейилади. АҚШ да жойлашишига қараб, тахминан 0° дан 20° орасида бўлади. 4-6 расм (а) Ток-ташувчи симнинг олдида компас стрелкасининг магнит майдоннинг йуналишини ва мавжудлигини курсатган ҳолда оғиши. (б) Темир кипикларини ток-ташувчи симнинг олдида ҳосил булган магнит майдон чизиклари йуналиши буйлаб ҳаракатланиши. (с) Симдаги электр токи буйлаб йуналтирилган магнит майдон чизиклари тасвири. (д) Магнит майдон йуналишини эслаш учун унғ кул коидаси: қачонки бош бармоқ ток йуналишини курсатганда, сим буйлаб букилган панжалар магнит майдон йуналишини акс этади (**B** магнит майдон белгиси).



(а)



(б)



(с)



(д)

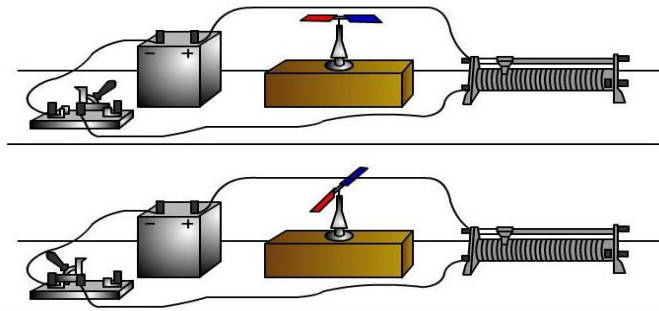
4.6-расм

Магнит майдонини фақат доимий магнитлар ҳосил қилмайди, балки электр токи ҳам магнит майдон ҳосил қилади (Ерстеднинг буюк тажрибалари). Айнан мана шу жиҳатига кўра магнит майдони алоҳида эътибор билан ўрганилади. Магнит майдонининг энг оддий ҳоли бир жинсли магнит майдонидир, қайсики нуқтадан нуқтага ўтганида ўзгармайдиган. Кенг жойларда бир жинсли магнит майдонини ҳосил қилиш бир мунча қийин иш ҳисобланади. Доимий магнит майдони ҳосил қилувчи жисмнинг (доимий магнит) магнит қутблари текисликдан иборат бўлса, бир жинсли магнит майдонига яқин бўлган магнит майдон ҳосил қилиш мумкин.

Фақат доимий магнитнинг четларида бир жинслилик бузилади. Магнит майдон куч чизиклари бир-бирига нисбатан параллел жойлашган бўлса, магнит майдони бир жинсли

деб ҳисобланади. Лекин кўпинча магнит майдони нуктадан нуктага ўтганида ўзгариб турадиган магнит майдони, яъни бир жинсли бўлмаган магнит майдонига дуч келинади. Биз бир неча оддий ҳолларда магнит майдон индукцияси векторини қандай ҳисоблаб топишни ва магнит майдони ва унинг манбалари орасидаги боғланишларни кўриб чиқамиз.

1820 йилда Даниялик физик Г.Х.Эрстед (1777-1851) тажрибаларда электр токини магнит стрелкасига таъсирини аниқлаган расм 4.7..



4.7-расм. Ўзгармас ток атропоида магнит майдони ҳосил қилиш бўйича Эрстед тажрибалари.

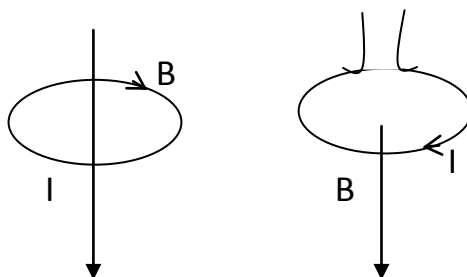
Тажрибаларнинг кўрсатишича тоқларнинг ўзаро ва магнит стрелкасига таъсирига сабаб шуки ҳар қандай тоқли ўтказгич атропоида алоҳида табиатли магнит майдони ҳосил бўлади ва бу магнит майдон иккинчи тоқли ўтказгичга ёки магнит стрелкасига таъсир кўрсатади. Магнит майдонни текшириш учун, майдоннинг текшириладиётган нуктасига тоқли берк контур киритилади ва уни «синов контури» деб аталади.

Контурнинг миқдорий характеристикаси сифатида контурдан ўқувчи тоқ кучи I ни контурнинг юзи S га кўпайтмасидан фойдаланилади. Бу кўпайтма контурнинг магнит моменти деб аталади ва P_m деб белгиланади.

$$P_m = I \cdot S \quad (4.1)$$

Агар магнит майдоннинг танлаб олинган нуктасига магнит моментлари (P_m) турлича бўлган синов контурларини киритсак, уларга таъсир этувчи айланма моментларнинг максимал қийматлар (M_{max}) ҳам турлича бўлади. Лекин ҳар бир синов контурига таъсир этувчи максимал айланма моменти (M_{max}) нинг P_m га нисбати магнит майдоннинг шу нуктаси учун ўзгармас катталиқ бўлади, яъни

$$\frac{M_{max}}{P_m} = const \quad (4.2)$$



4.8-расм.

Берк контурдаги магнит майдон индукция векторининг ҳосил бўлиши ва йўналиши схемаси. Бу нисбат магнит майдоннинг миқдорий характеристикасини ифодалайди ва магнит индукция (B) деб аталади 2.8. расм. Магнит индукцияси вектор катталиқ бўлиб, унинг йўналиши майдоннинг текшириладиётган нуктасига киритилган «синов контури»нинг мувозанат вазиятдаги

$$\overline{B} = \frac{\overline{M}_{\max}}{P_m} \quad (4.3)$$

мусбат нормаларнинг йўналиши билан, қиймати эса синов контурига майдон томонидан таъсир этувчи айланма моментининг максимал қийматини синов контурининг магнит моментига бўлган нисбати билан аниқланади. СИ да магнит индукцияни ўлчов бирлиги 1 тесла.

$$[B] = \left[\frac{M_{\max}}{P_m} \right] = \frac{N \cdot m}{A \cdot m^2} = T \text{ (Tesla)} \quad (4.4)$$

1 тесла (1Т) магнит майдон шундай нуқтасининг магнит индукциясики бу нуқтага киритилган магнит momenti $1 A \cdot m^2$ бўлган ясси контурга магнит майдон томонидан таъсир этадиган айлантирувчи моментнинг максимал қиймат $1 N \cdot m$ га тенг бўлиши лозим.

Био – Саваар-Лаплас қонуни. 1820-йили Француз олимлари Био ва Ф.Саваар турли шаклдаги токли ўтказгичдан атрофидаги магнит майдонларини текшириш натижасида токли ўтказгичдан r масофадаги нуқтанинг магнит индукцияси ўтказгичдаги ток кучига (I) тўғри пропорционал, r га эса тескари пропорционал эканлигини аниқладилар. Майдонлар суперпозиция принципига кўра қуйидагича таърифланади. Агар магнит майдони бир неча тоklar туфайли вужудга келаётган бўлса, шу майдоннинг бирор ихтиёрий нуқтадаги магнит индукцияси (\vec{B}) алоҳида тоklar вужудга келтираётган майдонларнинг шу нуқтадаги магнит индукцияларининг вектор йиғиндисига тенг:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \dots + \vec{B}_n \quad (4.5)$$

Био-Савар қонуни қуйидагича таърифланади: ихтиёрий токли ўтказгичдан бирор r масофадаги нуқтанинг магнит индукцияси ўтказгични элементар узунлигига, ўтказгичдан ўтувчи ток кучига, элементар ўтказгич ва ундан нуқтагача бўлган чизқ орасидаги бурчак синусига тўғри пропорционал, оралиқ масофа квадратига тескари пропорционалдир:

$$dB = k \frac{Idl \cdot \sin \alpha}{r^2}; \quad d\vec{B} = k \frac{I[d\vec{l} \cdot \vec{r}]}{r^3} \quad (4.6)$$

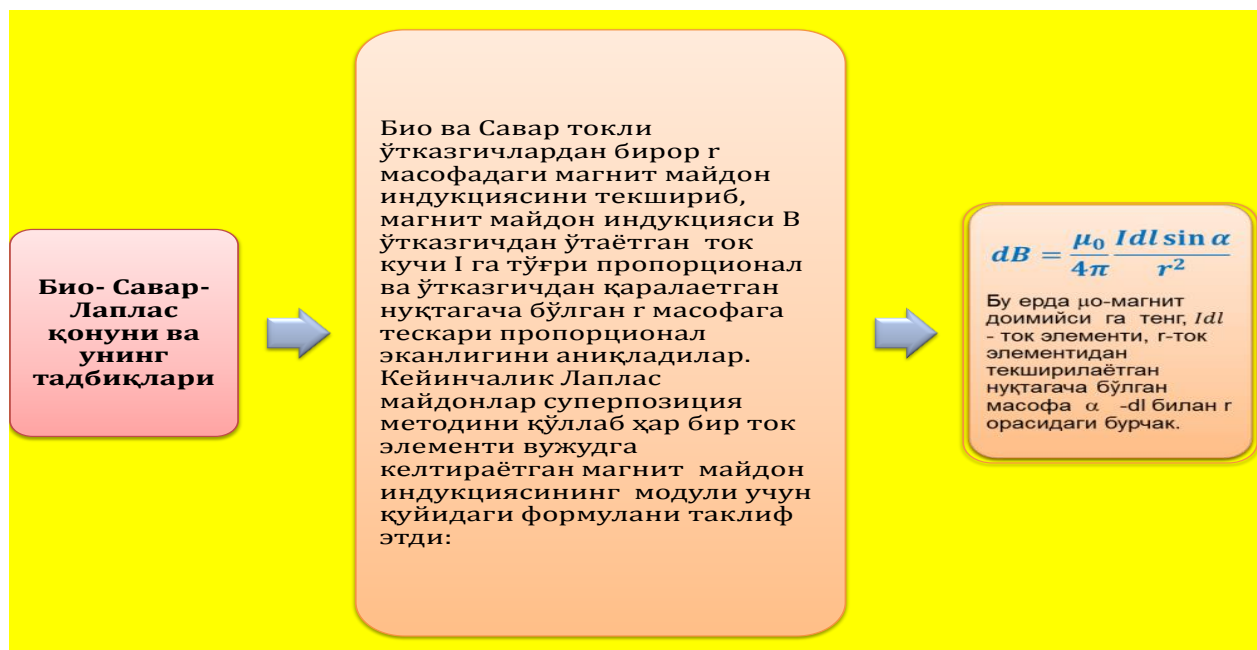
СИ тизимида

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \cdot \sin \alpha}{r^2}; \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I[d\vec{l} \cdot \vec{r}]}{r^3}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Gn}{m} \quad (4.7)$$

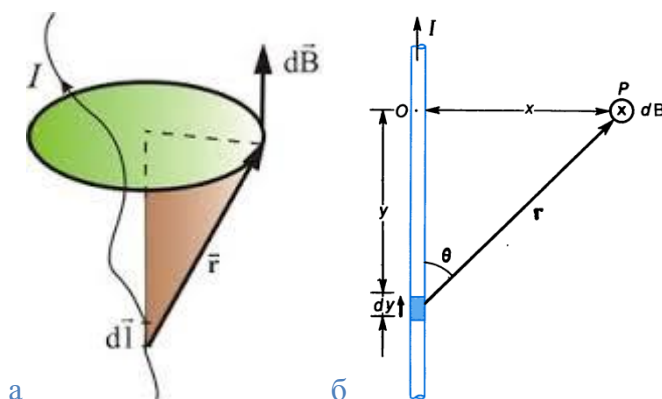
$d\vec{B}$ нинг йўналиши ўнг винт қонидаси асосида топилади. Магнит майдонни тавсифлашда магнит майдон индукцияси вектори \vec{B} билан биргаликда магнит майдоннинг кучланганлик вектори деб аталувчи \vec{H} физик катталиқдан ҳам фойдаланади. Агар магнит майдонининг бирор нуқтасини индукцияси B бузилса у ҳолда шу нуқтада магнит майдонининг кучланганлиги $\vec{H} = \vec{B}/\mu\mu_0$ ёки $\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$, бунда μ - муҳитни нисбий магнит сингдирувчанлиги, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Gn}{m}$

Био-Савар-Лаплас қонунининг қўлланилиши.



Био-Савар қонунидан фойдаланиб, турли шаклдаги токли ўтказгичлар майдонларининг магнит индукциясини ҳисоблаш мумкин.

1.Чексиз узун тўғри чизик шаклидаги ўтказгичдан ўтаётган I ток (тўғри ток) туфайли вужудга келган майдоннинг магнит индукциясини ҳисоблайлик (4.9-расм). Танлаб олинган A нуқтанинг тўғри токдан узоқлиги r_0 бўлсин.



4.9-расм. Био-Савар қонунига асосан I ток ўтувчи ўтказгичнинг $dl = dy$ қисмидан \vec{r} масофасидаги нуқтасидаги магнит майдон индукцияси вектори модулини аниқлаш.

Ток ўтаётган ўтказгични dl узунлидаги элементларга ажратамиз. Бу ток элементлари вужутга келтирган барча dB ларнинг йўналишлари бир хил бўлиб, улар чизманинг орқа томонига йўналган. Натижавий магнит майдон индукцияси B dB лар модулларининг йиғиндисидан иборат. А нуқтадан r масофа узоқликдаги ток элементи вужудга келтирган магнит майдон индукциясининг модули Био-Савар қонунидан топилиши лозим бўлганлиги учун B нинг модули қуйидаги интеграллашга келтирилади:

$$B = \int dB = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int \frac{dl}{r^2} \sin \alpha \quad (4.8)$$

4.9-расмдан фойдалансак: $r = \frac{r_0}{\sin \alpha}; \quad dl = \frac{r d\alpha}{\sin \alpha} = \frac{r_0 d\alpha}{\sin \alpha}$

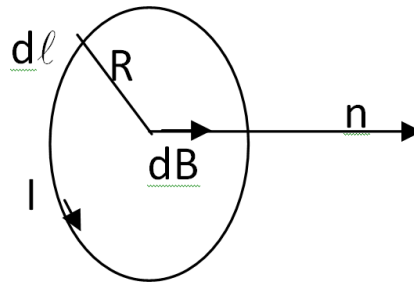
еканлигини топамиз. Шунинг учун:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int_0^\pi r_0 \frac{d\alpha \cdot \sin \alpha}{\sin^2 \alpha \cdot \frac{r_0^2}{\sin^2 \alpha}} = \frac{\mu_0}{4\pi r_0} \int_0^\pi \sin \alpha d\alpha = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_0} \quad (4.9)$$

бўлади. Шундай қилиб, чексиз узун тўғри ток туфайли вужудга келаётган майдоннинг ихтиёрий нуктасидан магнит индукцияси ўтказгичдан ўтаётган ток кучига тўғри пропорционал ва индукцияси ўлчанаётган нуктасининг ўтказгичдан узоқлигига тескари пропорционалдир.

2. Радиуси R бўлган айлана шаклидаги ўтказгичдан I ток ўтаётган бўлсин (4.10-расм).

Шу айлананинг марказидаги магнит майдон индукциясини аниқлайлик. Айлананинг ҳар бир dl элементи ва радиуси r орасидаги бурчак $\pi/2$ га тенг бўлганлиги учун Био-Савар қонунига асосан:



4. 10-расм.

3. Радиуси R бўлган айлана шаклидаги ўтказгичдан I ток ўтаётганда ҳосил бўлаётган dB магнит индукцияси:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl}{R^2} \quad (4.10)$$

Барча dB лар айнан бир хил йўналишда, яъни, айлана марказидан ўтувчи мусбат нормал бўйлаб йўналган. Шунинг учун натижавий майдоннинг айлана марказидаги магнит индукцияси:

$$B = \int dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R^2} \int_0^{2\pi R} dl = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R^2} 2\pi R = \frac{\mu_0}{2} \frac{I}{R} \quad (4.11)$$

ҳосил бўлади. Айлана шаклидаги токли контурнинг моменти

$$P_m = I \cdot S = I \pi R^2$$

бўлганлиги учун (4) ни қуйидагича ўзгартириб ёзиш мумкин

$$B = \frac{\mu_0 I \pi R^2}{2R \cdot \pi R^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2P_m}{R^3} \quad (4.12)$$

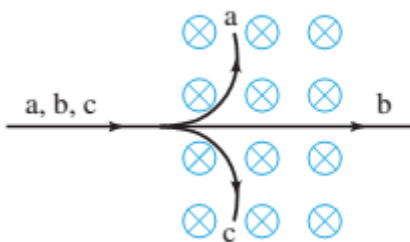
Соленоид ва тороид марказидаги майдонининг магнит индукцияси

$$B = \mu_0 I \frac{N}{l}; \quad N\text{-ўрамлар сони}$$

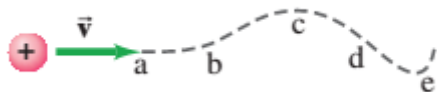
$$B = \mu_0 I n \quad n = \frac{N}{l}$$

Назорат саволлари

1. Компас стрелкаси Ер сатҳи бўйлаб ҳар доим ҳам баланс ҳолда параллел эмас, бир учи пастга оғиб туриши мумкин. Тушунтиринг.
2. Нима учун Ернинг “шимолий кутби” аслида магнитнинг жанубий кутбилигини тушунтиринг. Қандай қилиб шимолий ва жанубий магнит кутблар аниқланг ва қандай қилиб биз тажриба орқали шимолий кутб аслида магнитнинг жанубий кутбилигини айта оламиз.
3. Сиздан тўғридан тўғри қочиб ҳаракатланётган ток ташувчи тўғри сим атрофини ўраган магнит майдон чизиқлари йуналиши қаяргга қараган? Тушунтиринг.
4. Тақасимон магнит шимол кутби чапга ва жануб кутби уннга қараган ҳолда вертикал турибди. Сим кутблар орасидан ўтмоқда, тенг масофада, сиздан тўғридан тўғри қочган ҳолатда. Симдаги қуч қаякка йуналган бўлади? Тушунтиринг.
5. Магнит алюмин ёки мисдан қилинган метал жисмни ўзига тортадими? Уриниб кўринг. Нима учун шундай?
6. Икки темир устун учлари қандай бир бирига яқин жойлашганидан қатъий назар тортишяпти. Иккалари ҳам магнитми? Тушунтиринг.
7. Уйингиздаги симлардаги ток сабаб магнит майдон компасга таъсир этиши мумкин. Таъсирни тоқлар орқали тушунтиринг, агар улар ўзгарувчан ёки ўзгармас ток бўлса.
8. Агар манфий зарядланган заррача доимий магнит майдонга кирса ва магнит майдон заррача тезлигига перпендикуляр бўлса, заррачанинг кинетик энергияси ошадими, камаядими ёки ўзгармас бўладими? Жавобингизни тушунтиринг.
9. а, б ва с заррачалар магнит майдонга қиради ва 1-рasm бўйича ҳаракатланади. Ҳар бирининг заряди ҳақида нима дея оласиз? Тушунтиринг.



10. Темир таёқ магнитни ўзига торта оладими? Магнит темир таёқни ўзига торта оладими? Сиз шу саволларга жавоб бериш учун нимани ҳисобга олишингиз керак?
11. Доимий бўлмаган магнит майдонда мусбат зарядланган заррача 2- расмдагидек траекторияда ҳаракатланади. Нукталардаги магнит майдон йуналишини аниқланг, йул ҳамиша саҳифа текислигида жойлашган, ҳар бир қисмдаги майдон нисбий қийматини аниқланг. Жавобларингизни тушунтиринг.

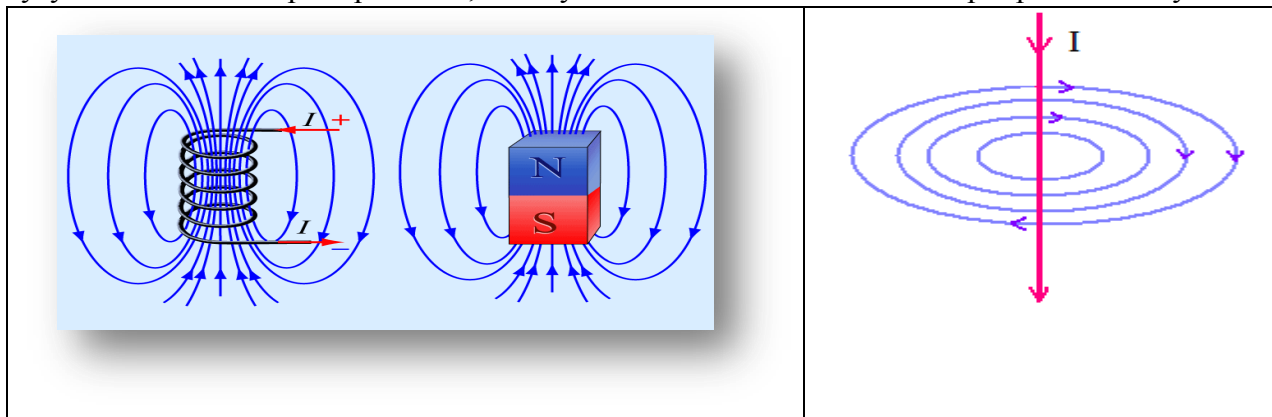


12. Зарядланган заррача фазонинг айнан бир кисмида тугри чизик буйлаб ҳаракатланыпти. Ушбу чегарада нолга тенг бўлмаган магнит майдони бўлиши мумкинми? Шундай булса, иккита мисол келтиринг.
13. Ҳаракатланаётган зарядланган заррача фазонинг бир қисмида томонларга огиб кетса, биз $\vec{B} \neq 0$ дея хулоса қила оламизми? Тушунтиринг.
14. Узун соленоид ичида B га қанака таъсир бўларди, агар (а) барча ҳалкаларнинг диаметри икки баробар ошса, (б) ҳалкалар орасида бўшлиқ икки баробар ошса, ёки (с) соленоиднинг узунлиги умумий ҳалкалар сони билан биргаликда икки баробар ошса?
15. Био-Савар-Лаплас конунини таърифланг.

Амалий машғулот
Магнит майдон. Био-Савар-Лаплас қонуни ва турли шаклдаги
ўтказгичларга тадбиқи

1. (а) 0.90-Т доимий магнит майдонга перпендикуляр бўлган 6.40-А ток ташувчи симга таъсир қиладиган куч/метр нимага тенг? (б) Агар майдон ва симнинг орасидаги бурчак 35° бўлсачи?
2. 4.80м узунликдаги симдан қанча ток оқиб ўтади, агар 0.0800-Т доимий майдонга 0.625 N максимум куч таъсир қилса?
3. 240м узунликдаги сим икки минора буйлаб тортиб куйилди ва 120А ток утказилди. Кучнинг симга бўлган қийматини аниқланг, агар Ернинг магнит майдони 5.0×10^{-5} Т бўлса ва сим билан 68° бурчак ҳосил қилса.
4. Узунлиги 2.6м бўлган горизонтал сим 4.5-А токни жанубга ташийди. Ернинг магнит майдони ва сим орасидаги оғиш бурчаги 41° тенг. Симга таъсир қиладиган магнит кучининг қийматини аниқланг, агар Ер магнит майдони 5.5×10^{-5} Т бўлса.
5. Магнит кучининг сим метрига нисбатан қиймати максимум мумкин бўлган қийматининг 45% ташкил қилади. Сим ва магнит майдон орасининг бурчаги нимага тенг?
6. 6.45 А ток ташиётган симга таъсир қиладиган 1.28 N куч ўз қийматига магнитнинг қутблари орасида эришди. Агар қутблар диаметри 55.5 см бўлса, тахминий магнит майдон кучи нимага тенг?
7. Симга таъсир қиладиган 8.50×10^{-2} N куч ўз қийматига магнитнинг қутблари орасида эришди. Ток ўнг томонга горизонтал оқади ва магнит майдони вертикал. Ток ёқилган пайтда, томошабин йўналиши буйлаб сим худди сакрагандек бўлди.
 (а) Юкори қутб қандай магнит қутб турига киради? (б) Агар қутблар диаметри 10см бўлса, симдаги токнинг қийматини аниқланг, майдон 0.220Т га тенг. (с) Агар сим горизонт билан 10° ташкил қилса, қандай кучни хис қилади? (Ёрдам: энди майдонда сим узунлиги қанча бўлди?)
8. Тасаввур қилинг, 1мм диаметрлик мис сими Ернинг магнит майдон B (горизонтал, симга перпендикуляр, 5.0×10^{-5} Т) ёрдамидаги кучи таъсирида ҳавода горизонтал йўналишда сузиб юрибди. Сим қанака ўлчамда ток ташийди? Жавоб реал кўринишга эгами? Тўлиқ тушунтиринг.
9. Ўчиб қолган автомобильни юргизиш учун 65 А ток ўтувчи эгиловчи кабеллар қўлланади. Бир кабельдан 4,5 см узоқликдаги магнит майдон нимага тенг? Ернинг магнит майдони билан солиштиринг ($5,0 \times 10^{-5}$ Тл).
10. Электр симидан 12 см масофада ҳосил қилинган магнит майдон Ернинг магнит майдони ($5,0 \times 10^{-5}$ Тл)дан ошмаслиги учун ундаги максимал ток кучи қанча бўлиши керак?

11. Бир хил йўналишда ҳар бирдан 25 А ток ўтаётган иккита параллел 25 м узунликдаги ва бир бирдан 4,0 см узоқликда жойлашган симлар орасидаги кучнинг



қиймати ва йўналишини топинг.

12. 28 А ток ўтаётган вертикал тўғри сим ундан 9,0 см узоқликда жойлашган ва унга параллел бўлган иккинчи симни бирлик узунлигига мос келувчи $7,8 \times 10^{-4} \text{ Н/м}$ куч билан ўзига тортади. Иккинчи симдан ўтаётган токнинг қиймати ва йўналишини топинг.

ЛАБОРАТОРИЯ ИШИ ЕРНИНГ МАГНИТ МАЙДОН ИНДУКЦИЯСИНИНГ ГОРИЗОНТАЛ ТАШКИЛ ЭТУВЧИСИНИ ТАНГЕНС-БУССОЛ ЁРДАМИДА АНИҚЛАШ.

Ишдан мақсад: Ер магнит майдони хусусиятини ўрганиш.

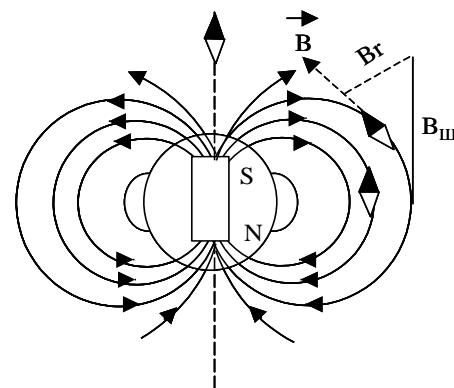
Керакли асбоб ва буюмлар: тангенс-буссол, ўзгармас ток манбаи, реостат, амперметр, қайта улагич (переключатель).

НАЗАРИЙ ҚИСМ

Ер атрофида магнит майдони мавжудлиги инсонларга жуда қадимдан маълумдир. Шунинг учун ҳам Ерни жуда катта магнитга ўхшатиш ёки Ер марказида жойлашган ML магнит диполи мавжуд деб қараш мумкин. Бу магнит диполнинг магнит қутблари Ернинг географик қутбларига яқин жойлашган. Лекин Ернинг магнит майдонинг жанубий қутби (S) шимолий географик қутбга яқин, шимолий қутби (N) унинг жанубий географик қутбига яқин жойлашган. Магнит диполнинг майдон индукция (\vec{B}) чизиқларининг манзараси ва йўналиши тажриба асосида аниқланган бўлиб, 1-расмда тасвирланган. Демак, Ер сирти атрофини магнит майдони ўраб олган экан.

Буни 1-расмда тасвирланган кичкина магнит стрелкаларининг ҳар хил йўналишда жойлашиши тасдиқлайди. Масалан, Ернинг магнит қутбларида магнит стрелка Ер сиртига тик йўналган бўлса, Ер экваторига мос келувчи нуқталарда горизонтал жойлашади. Ер сиртининг бошқа ихтиёрий нуқталарида эса, магнит стрелка магнит майдон индукция чизиқларига уринма равишда йўналган бўлади. 1-расмдаги \vec{B} – Ернинг магнит майдон индукцияси, \vec{B}_r - унинг горизонтал ташкил этувчисиدير. Ернинг магнит майдон индукцияси 1-расм

вектори \vec{B}_r нинг горизонтал текисликка проекцияси Ернинг магнит майдони индукция векторининг горизонтал ташкил этувчиси \vec{B}_r дейилади. Ер магнит майдон индукцияси



йўналиши билан горизонтал ташкил этувчиси орасидаги бурчак (β) магнит энкайиши дейилади.

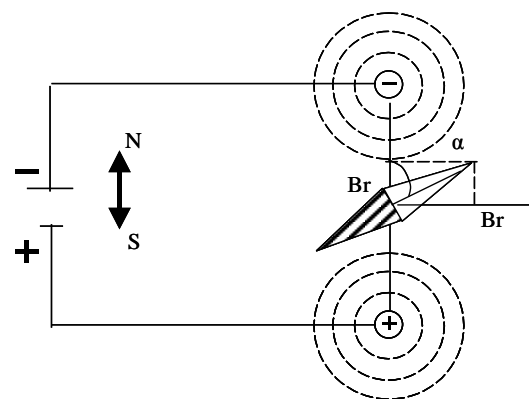
Ер сиртида шундай жойлар борки, бу жойларда магнит майдони индукцияси бошқа жойлардаги майдон индукциясидан кескин фарқ қилади. Бундай жойлар магнит аномалияси мавжуд бўлган жойлар дейилади. Магнит аномалиясининг мавжудлиги шу жойларда темир рудаси тўпланганлигини билдиради. Ер шарининг ҳар бир нуқтасидаги Ер магнетизми элементлари вақт ўтиши билан аста-секин ўзгариб бориши мумкин. Аммо, шундай пайтлар бўладики, Ернинг магнит майдони бир неча соат ичида кескин ўзгаради. Бу ҳодисага магнит бўрони дейилади. Магнит бўронининг вужудга келиши Қуёш активлигининг ўзгариши билан боғлиқ бўлиб, Ер шароитидаги ҳаётга салбий таъсир этиши мумкин.

Ернинг магнит майдонини тадқиқ қилувчи жуда кўп асбоблар мавжуд. Шундай асбоблардан бири ва энг оддийси компасдир. Компас вертикал ўқ атрофида айлана оладиган магнит стрелка бўлиб ўқ атрофида айланиши магнит майдон индукциясининг горизонтал ташкил этувчиси (\vec{B}_r) нинг таъсирига асосланган. Бу таъсир натижасида компас стрелкасининг бир учи шимолни (Ш) иккинчи учи жанубни (Ж) кўрсатади.

Ернинг магнит майдон индукциясининг горизонтал ташкил этувчисини аниқлаш учун тангенс-буссолдан фойдаланамиз. Тангенс-буссол (ТБ) R-радиусли n-та ўрамли ва марказида компас жойлашган ясси вертикал ғалтакдан иборат қурилмадир. (R ва n нинг қийматлари (ТБ) да кўрсатилган).

Ўзгармас ток манбаига уланган тангенс-буссолнинг ишлаш принципи билан танишиб чиқайлик. 2-расмда токка уланган тангенс-буссолнинг кесими тасвирланган. Айлана кўринишидаги пунктир чизиклар магнит майдон индукция чизикларини, унинг марказидаги мусбат ишора токнинг чизма текислигининг орқа томонидаги нуқта эса, токнинг биз томонга қараб йўналганлигини билдиради.

Агар занжирда ток мавжуд бўлмаса, магнит стрелкаси магнит меридиани NS йўналишида бўлади. Магнит майдоннинг горизонтал ташкил этувчиси йўналишига мос келган йўналиши магнит меридиани дейилади. Тангенс-буссол ўрамларидан ўзгармас электр токи ўтаётган бўлса, магнит стрелка дастлабки ҳолатидан бирор α бурчакка оғади. Бунга сабаб магнит стрелкасига Ернинг магнит майдони индукциясидан ёки аниқроқ айтганда, унинг 2-расм.



горизонтал ташкил этувчиси \vec{B}_r дан ташқари, айлана шаклдаги ўрамлардан ўтаётган ток кучининг ғалтак марказида ҳосил қилинган магнит майдон индукцияси \vec{B}_0 ҳам таъсир қилишидадир. 2-расмдан бурчак тангенси учун қуйидаги ифодага эга бўламиз.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\vec{B}_0}{\vec{B}_r} \quad (1)$$

Бу ифодадан Ернинг магнит майдони индукциясининг горизонтал ташкил этувчиси (\vec{B}_r) топилади.

$$\vec{B}_r = \frac{\vec{B}_0}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (2)$$

бу ердаги \vec{B}_0 катталиқ Био-Савар-Лаплас қонунидан фойдаланиб аниқланади. Бунинг учун ихтиёрий шаклдаги ℓ узунликдаги токли ўтказгични кўриб чиқайлик (3 а-расм). Ўтказгичдан \vec{r} масофада жойлашган M нуқтадаги магнит майдон индукциясини аниқлаш учун шу ўтказгични $d\ell$ бўлақларга бўламиз. $I d\ell$ катталиқ ток элементи деб аталади.

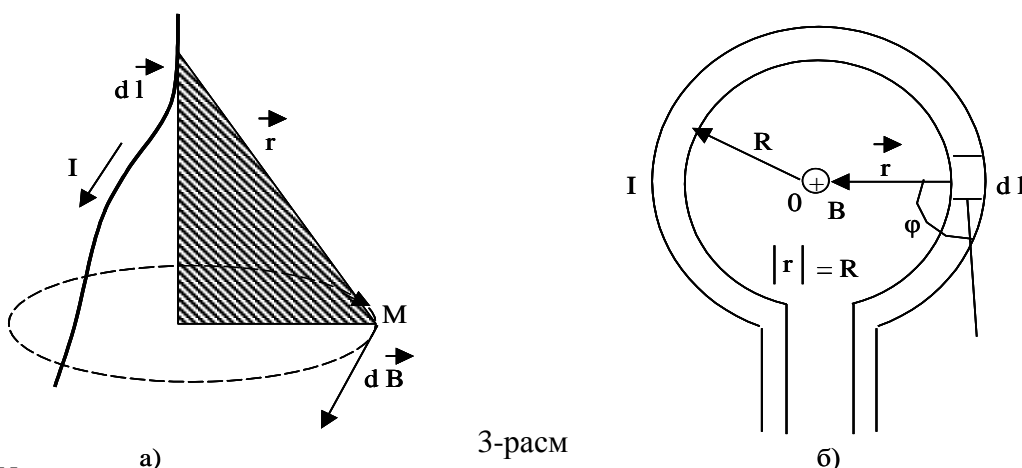
Ҳар бир ток элементнинг M нуқтада ҳосил қилган майдон индукцияси dB ни Био-Савар-Лаплас қонунига асосан қуйидаги формула орқали ифодалаш мумкин.

$$dB = \frac{\mu_0 I d\ell \sin \varphi}{4\pi r^2} \quad (3)$$

бу ерда φ - \vec{r} ва $d\vec{\ell}$ орасидаги бурчак, μ_0 -магнит доимийси $\left(\mu_0 = 12,56 \cdot 10^{-12} \frac{Гн}{м}\right)$. M нуктада ℓ узунликдаги токли ўтказгич ҳосил қилган натижавий магнит майдон индукциясини аниқлаш учун (3) ифодани бутун ℓ узунлик бўйича интеграллаш лозим бўлади.

$$B = \int_{\ell} dB = \int_{\ell} \frac{\mu_0 I d\ell}{4\pi r^2} \sin \varphi \quad (4)$$

Био-Савар-Лаплас қонунини айлана шаклдаги ўтказгичдан ўтаётган токнинг шу айлана марказида ҳосил қилган майдон индукциясини аниқлашга татбиқ этайлик (3 б-расм). Бу чизмадан кўринадикки $\varphi = 90^\circ$, $\sin \varphi = \sin 90^\circ = 1$ шунингдек $r = R$



3-расм

У ҳолда айлана шаклидаги токли ўтказгичнинг айлана марказида ҳосил қилган майдон индукцияси

$$B_0 = \int_0^{2\pi R} \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} d\ell \quad (5)$$

кўринишга келади. Интеграллаш амалини бажариб

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad (6)$$

ифодага эга бўламиз. Бу қиймат битта айлана токнинг марказида (бизнинг ҳол учун тангенс-буссол марказида ҳосил бўлаётган магнит майдон индукциясини ифодалайди. B_0 нинг СИ даги ўлчов бирлиги тесла Тл бўлади. Умумий ҳолда, яъни тангенс-буссолдаги сим ўрамлар сони n -га тенг бўлганда (6) ифода,

$$B_0 = \frac{nI\mu_0}{2R} \quad (7)$$

кўринишда ёзилади. Бу ифодани (2) га қўйиб, Ернинг магнит майдони индукциясининг горизонтал ташкил этувчисини аниқлаш формуласига эга бўламиз.

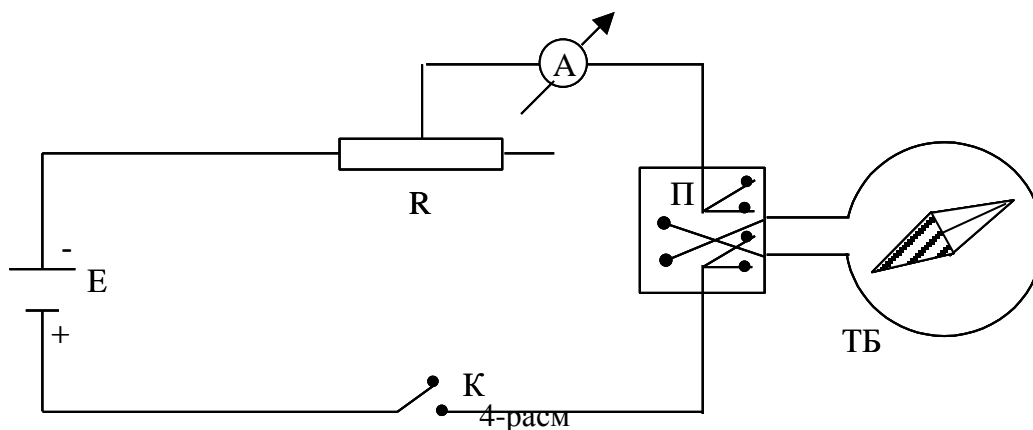
$$B_r = \frac{n\mu_0 I}{2R \tan \alpha} \quad (8)$$

Агар $\frac{2RB_r}{n\mu_0} = C$ белгилаш киритсак. (8) ифода

$$C = \frac{I}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (9)$$

кўринишга келади. С-тангенс-буссол доимийси дейилиб магнит майдони ўлчаниши лозим бўлган бирор географик кенгликда қўлланиладиган тангенс-буссол учун у ўзгармас катталиқдир.

Ернинг магнит майдон индукциясининг горизонтал ташкил этувчисини аниқлаш учун 4-расмда тасвирланган электр занжири йиғилади.



Бу расмда ТБ-тангенс-буссол, R -реостат, E -ток манбаи, K-калит П-қайта улагич (переключатель), A-амперметр. Бу ишда айланаси бўйлаб бир неча ўрам сим ўралган катта диаметрли айланасимон ёғоч каркас танген-буссол вазифасини ўтайди. Каркас марказида ғилоф ичида горизонтал текисликда эркин айлана оладиган стрелкани арретирдан қутичадаги махсус ричагини бураш йўли билан осонгина бўшатиш мумкин.

Ишни бажариш тартиби

1. 4-рамда кўрсатилган электр занжир йиғилади.
2. Магнит стрелка арретирдан бўшатилади ва тангенс-буссол шундай ўрнатиладики, ғалтак текислиги магнит меридиани йўналишда жойлашган бўлсин. Бунда стрелканинг бир учи 0^0 ни, иккинчи учи эса 180^0 ни кўрсатади.
3. Схема текширилгандан сўнг электр занжир ток манбаига уланади.
4. R-реостат ёрдамида 0,2 А га тенг ток кучи танланиб, бундай токда стрелканинг ҳар икки учининг магнит меридиани йўналишидан оғиш бурчаклари қийматлари α_1 ва α_2 ёзиб олинади.
5. Қайта улагич ёрдамида токнинг йўналиши ўзгартирилиб, токнинг 0,2 А қиймати учун стрелка учларининг қийматлари ёзиб олинади. Оғиш бурчакларининг тўрттала қийматларига кўра уларнинг ўртача қиймат миқдори аниқланади.

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$$

Шу тартибда ток кучининг 0,3 А, 0,4 А ва 0,6 А қийматлари учун ҳам 4 ва 5 бандларда кўрсатилган машқлар такрорланади.

6. (8) формуладан фойдаланиб ҳар бир ўлчаш учун Ернинг магнит майдон индукциясининг горизонтал ташкил этувчиси ҳисобланади. Сўнггра B_r нинг ўртача қиймати ва бу қийматдаги абсолют ҳамда нисбий хатоликлар аниқланади.

7. (9) формула ёрдамида тангенс-буссол доимийси C ҳисоблаб топилади. Ўлчаш ва ҳисоблаш натижадари қуйидаги жадвалга ёзилади.

1- жадавал

№	I (A)	Стрелканинг оғиши					$\operatorname{tg} \alpha$	B_r	ΔB_r	$\frac{\Delta B_r}{B_r}$	C	ΔC
		α_1	α_2	α_3	α_4	α_{yp}						

1	0,2											
2	0,3											
3	0,4											
4	0,5											

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Ернинг магнит майдони индукция вектори қандай йўналган. Магнит аномалияси қандай ҳодиса.
2. Ернинг магнит майдони индукциясининг горизонтал ташкил этувчиси деб нимага айтилади.
3. Ғалтак ўраи текислигини магнит меридиани йўналишида ўрнатишнинг қандай зарурияти бор.
4. Био-Савар-Лаплас қонунини тушунтиринг ва унинг умумий формуласини ёзинг.
5. Ернинг магнит майдон индукциясининг горизонтал ташкил этувчисини аниқлайдиган (8) формулани келтириб чиқаринг.
6. Тангенс-буссол доимийси қандай катталикларга боғлиқ.

ТОКЛИ ЎТКАЗГИЧ МАГНИТ МАЙДОНИДА.

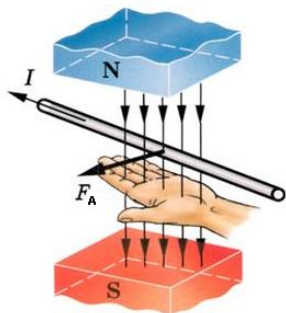
Режа

1. Токли ўтказгич магнит майдони.
2. Ампер ва Лоренц кучлари.
3. Бир жинсли электр ва магнит майдонида зарраларнинг ҳаракати.
4. Хол эффекти
5. Паралел тоқларнинг ўзаро таъсири
6. Магнит майдон оқими
7. Токли ўтказгичнинг магнит майдонида кўчиришда бажарилган иш

Электрдан амалда фойдаланишда магнит майдонининг токка таъсир кучларидан фойдаланиш катта рол ўйнайди. Магнит майдонида жойлашган токли ўтказгичга майдон томонидан таъсир этувчи куч шу майдоннинг магнит индукцияси B га, ўтказгичнинг узунлигига ва ундан ўтаётган ток кучи I га боғлиқлигини 3.1-расмдаги қурилма ёрдамида кузатиш мумкин.

Бир жинсли магнит майдондаги токли ўтказгичга таъсир қилувчи F_A куч ўтказгичдан ўтаётган ток кучи I га, ўтказгичнинг узунлиги l га, магнит майдон индукцияси B га ва B вектор билан ўтказгич орасидаги бурчак синусига тўғри пропорционалдир, яъни

$$F_A = IlB \sin \alpha$$



3.1-расм. Магнит майдонида жойлашган токли ўтказгичга магнит майдони томонидан таъсир қилувчи куч.

Бу Ампер қонунининг математик ифодаси. Умумий ҳолда, яъни ихтиёрий шаклдаги токли ўтказгич бир жинсли бўлмаган магнит майдонда ($B \neq \text{const}$) жойлашган бўлса,

Ўтказгични хаёлан кичик дл элементларга ажратамиз. Ҳар бир элемент жойлашган соҳадаги магнит майдон индукциясини ўзгармас деб ҳисоблаш мумкин. Бу ҳолда ўтказгичнинг дл элементиға таъсир этувчи кучни

$$dF = I[dl \cdot B] \quad (3.1)$$

ифода билан, унинг модулини эса

$$dF = IBdl\sin\alpha \quad (3.2)$$

ифода билан аниқланади. Бу ифодалар Ампер қонунини характерлайди.

Таъсир этувчи кучнинг (одатда бу кучни Ампер кучи деб ҳам аталади) йўналиши чап қўл қондаси бўйича топилади. Бунинг учун чапқўлимизни шундай жойлаштиришимиз керакки, бунда \vec{B} вектор кафтимизға тик кирсин, узатилган тўртта бармоғимиз токнинг йўналиши билан мос тушсин. У ҳолда очилган бош бармоғимиз Ампер кучини йўналишини кўрсатади¹.

Магнит майдонни ҳаракатдаги зарядланган зарраға таъсири. Лоренц кучи.

Биз кўрдикки симли ўтказгични магнит майдониға киритганимизда унга куч таъсир этади. Симли ўтказгичдаги ток ҳаракатланаётган электр зарядларидан ташкил топганидан, биз эркин ҳаракатланаётган зарядланган зарралар (симли ўтказгичдан ташқаридаги) ҳам магнит майдониға киритилганда куч таъсирида бўлишини айтишимиз мумкин. Эркин электр зарядларни лаборатория шароитида ҳосил қилиш, симли ўтказгичдаги каби осон эмас, лекин буни малға ошириш мумкин, ва тажрибалар шуни кўрсатадики ҳаракатланаётган электр зарядлари магнит майдониға кирганида уларға куч таъсир қилади.

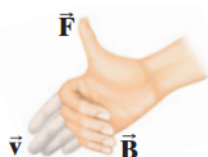
Хозиргина ўрганганларимиздан, **В** магнит майдонида ҳаракатланаётган ягона электр зарядиға таъсир этадиган кучни аниқлай оламиз. Агар q зарядидаги шундай N зарралар берилган нуқтани t вақтда босиб ўтса, улар $I = Nq / t$ электр токини ҳосил қилади. Айтайлик **В** магнит майдондаги q заряд l масофани t вақтда босиб ўтади; $l = vt$ бунда v заррачанинг тезлиги. N заррачалардаги куч (20–1), $F = lB\sin\alpha = (Nq t)(vt)B \sin\alpha = NqvB\sin\alpha$ формула билан ифодаланади. N заррачаларнинг битасидаги кучнинг қиймати:

$$F = qvB\sin\alpha. [\alpha \text{ ва } B \text{ орасидаги бурчак}] \quad (3;3)$$

Бу тегнглама қиймати B га танг бўлган магнит майдонидаги v тезлиг билан ҳаракат қилаётган q зарядли заррачаға магнит майдон томонидан таъсир қилаётган кучнинг қийматин беради. v ва **В** орасидаги бурчак α га тенг. Заррача **В** га нисбатан перпендикуляр ($\alpha = 90^\circ$) бўлганда максимал қийматиға эришади:

$$F_{\max} = qvB. [V \perp B] \quad (3;4)$$

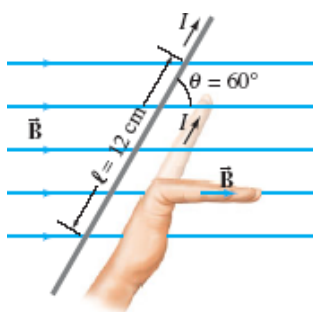
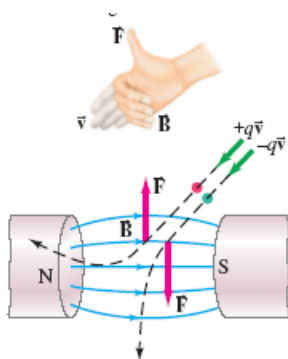
Ўнг қўл қондаси



Заррача майдон чизиқлариға нисбатан параллел ($\alpha = 0^\circ$)

ҳаракатланганда кучнинг қиймати 0 га тенг бўлади. Кучнинг йўналиши **В** магнит майдониға ва заррачанинг тезлиға нисбатан перпендикуляр бўлади. Мусбат заряд учун, куч йўналиши бошқа бир ўнг қўл қондаси билан аниқланади: ўнг қўлингизни шундай тутасизки, бунда ёйилган бармоқларингиз заррача тезлиги йўналишини кўрсатади

ва бармоқларингизни буканингизда улар магнит майдон куч чизиқлари йўналишини кўрсатади. Сизнинг бош бармоғингиз эса куч йўналишини кўрсатади. Бу фақат мусбат зарядланган зарралар учун тўғри келади, ва 3–2 расмда ўрсатилган мусбат зарра учун Тепаға бўлади. Манфий зарядланган зарралар учун эса, куч 3–2 расмдагидан айнан тескари йўналишда, яъни пастға қаратилган бўлади.



3.2. расм Ампер кучини аниқлаш.

Зарядли зарраларнинг магнит майдондаги ҳаракати.

Бир жинсли магнит майдонга у тезлик билан кирган зарядли зарранинг ҳаракати қандай бўлади? Мазкур саволга жавоб бериш учун, (3.3) муносабатга асосланиб, қуйдаги ҳолларни муҳокама этайлик.

Зарядли зарранинг ҳаракати магнит майдон индукцияси чизиклари бўйлаб содир бўлаётган ҳолда ϑ ва \vec{B} векторлар орасидаги бурчак 0 ёки π га тенг. Зеро, (3.3) формулага асосан, $F_L = 0$. Демак, мазкур ҳолда магнит майдон зарядли заррага тасир этмайди, зарра магнит майдонда тўғри чизикли текис ҳаракатини давом эттираверади.

Зарядли зарра B чизикларига перпендикуляр равишда магнит майдонга кирган ҳолда у ва B орасидаги бурчак $\pi/2$ ёки $3\pi/2$ га тенг. Шунинг ушун заррага тасир этадиган Лоренц кучининг йўналиши доимо тезликка перпендикуляр, модули ($F_L = qvB$) ўзгармайди. Бундай куч тасирида зарра айлана бўйлаб ҳаракатланади. Айлана радиуси R ни

$$qvB = m\vartheta^2/R \quad (3.5)$$

тенгликни эчиб топиш мумкин.

$$R = m\vartheta/qB$$

(3.14) Бундаги m -зарранинг массаси, q -зарранинг заряди.

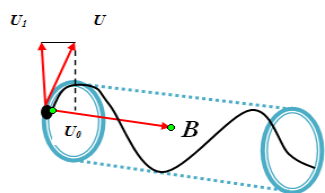
Зарранинг бир марта тўлиқ айланиши учун кетган вақт

$$T = \frac{2\pi R}{\vartheta} = \frac{2\pi}{\vartheta} \cdot \frac{m\vartheta}{qB} = \frac{2\pi}{(q/m)B} \quad (3.6)$$

Зарранинг айланиш даври деб аталади, у зарранинг солиштирма заряди (q/m) ва майдоннинг магнит индукциясига боғлиқ заряднинг тезлигига эса мутлақо боғлиқ эмас.

Зарра тезлиги магнит майдон йўналиши билан ихтиёрий α бурчак ташкил этсин. Бу ҳолда тезлик вектори уни икки ташкил этувчисига- B бўйлаб йўналган v_0 ва B га перпендикуляр равишда йўналган v_1 га ажратиш мумкин.

3.5. расм



Зеро, Зарядли зарра v_0 туфайли магнит индукция чизиклари бўйлаб тўғри чизикли текис ҳаракатда, v_1 туфайли эса майдонга **3.5-расм** перпендикуляр текисликда айлана бўйлаб текис ҳаракатда қатнашади. Бу икки ҳаракатнинг суперпозитсияси (қўшилиши) зарра ҳаракатини тасвирлайди: ўқи магнит майдонга параллел бўлган винтсимон спирал чизик бўйича зарра ҳаракатланади [11].

Ҳаракатланаётган зарраларга магнит майдон кўрсатадиган таъсирдан циклик тезлатгичлар (склотрон, синхротрон. синхрофазотрон), магнитогидродинамик генераторларда фойдаланилади.

Холл эффекти

1880 йилда э.Холл томонидан аниқланган бу эффектнинг моҳияти қуйидагидан иборат: металл ёки ярим ўтказгичдан ясалган пластинкани (12.8–расм) магнит майдонга

шундай жойлаштирайликки бунда магнит майдоннинг юналиши Oz укига, пластинкадан ўтаётган токнинг юналиши эса Oy укига мос бўлсин. У холда ток ҳосил қилаётган зарядларга Лоренттс кучи таъсир қилиб, уларни Ox юналишида огдиради. Агар ток ташувчилар манфий зарядли зарралар бўлса, улар $ж$ га тескари юналишда ҳаракат қилганликлари учун пластинканинг ўнг қирраси томонига қараб оғади. Натижада ўнг қиррада ортиқча манфий заряд ҳолл доимийси деб аталади. ҳолл доимийси пластинка материалига боғлиқ. У баъзи моддалар учун мусбат, баъзилари учун эса манфий қийматга эга бўлади

Бу эса ўз навбатида пластинканинг чап қиррасида манфий заряд етишмаслигига, яъни унда мусбат заряднинг вужудга келишига сабабчи бўлади. Агар ток ташувчилар мусбат зарядли зарралар бўлса, улар электр ток ташишда катнашиб $ж$ юналиши бўйлаб ҳаракат қилишлари керак. Бу ҳаракат магнит майдонда содир бўлаётганлиги учун Лоренттс кучи таъсирида зарралар пластинканинг ўнг қирраси томон оғади. Натижада пластинканинг ўнг қирраси мусбат, чап қирраси эса манфий зарядланиб қолади. Шу тариқа пластинканинг ўнг ва чап қирралари орасида электр майдон (бу майдон кучланганлиги $ε_x$ бўлсин) вужудга келади. Бу электр майдонда зарядга таъсир этувчи куч (qE_x). Лоренттс кучига тескари юналган. Шунинг учун бу кучлар миқдоран тенглашганда мувозанат вазияти вужудга келиб, зарядлар огмасдан ток ташиш вазифасини бажараверади. Мувозанат вазиятида пластинанинг ўнг ва чап қирралари орасида вужудга келган потенциаллар фарқи ($Δφ_x$) ни ҳолл потенциаллар фарқи деб аташ одат тусига кирган.

Ҳолл потенциаллар фарқини топиш учун индукцияси B бўлган магнит майдонда y тезлик билан ҳаракат қилаётган q зарядга таъсир этувчи Лоренттс кучи ва q зарядга кучланганлиги $ε_x$ бўлган ҳолл электр майдони томонидан таъсир этувчи кучлар модуллари тенглаштирамиз, яъни

$$quB=qE_x.$$

Бундан

$$E_x=yB$$

еканлигини топамиз.

Потенциаллар фарқи вужудга келган пластина қирралари орасидаги масофани $δ$ деб белгиласак,

$$Δφ_x=E_xδ=yBδ \quad (19)$$

бўлади. Бундаги y ўрнига ток зичлиги ифодаси ($i=qny$) дан топиладиган

$$y=\frac{j}{qn}$$

қийматни қуйиб

$$\Delta\varphi_x = \frac{1}{qn} \text{ жБд} \quad (20)$$

муносабатни ҳосил қиламиз. Бу ифодадаги

$$P = \frac{1}{qn} \quad (21)$$

Икки Параллел тоқларнинг ўзаро таъсири

Тоқ ўтаётган ўтказгич магнит майдон ҳосил қилишини кўрган эдик (3-1 тенглама билан узун тўғри ўтказгич учун магнит майдон қиймати аниқланади.). Шунингдек, магнит майдонга қўйилган тоқ ўтаётган ўтказгичга куч таъсир қилишини ҳам кўрган эдик. Шу туфайли, икки тоқ ўтаётган ўтказгичлар бир – бирига куч билан таъсирлашини тахмин қиламиз.

3-6а – расмда кўрсатилганидек, бир – биридан d масофа узоқликда жойлашган икки тоқ ўтаётган ўтказгичларни муҳокама қиламиз. Улардан мос равишда I_1 ва I_2 қийматли тоқлар ўтмоқда. Ҳар бир тоқ иккинчиси томонидан сезилувчи магнит майдон ҳосил қилади, демак, ҳар бир ўтказгич иккинчисига куч билан таъсир қилади. Масалан, 3-б – расмдаги китобга йўналган иккинчи ўтказгич жойлашган нуқтада I_1 томонидан ҳосил қилинган B_1 магнит майдон тенглама билан берилади ва қуйидаги қийматга эга

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}. \quad (3.7)$$

Фақат I_1 ҳосил қилган майдон кўрсатилган 3-6б – расмга қаранг. 3-7 тенгламага асосан, I_2 тоқ ўтаётган ℓ_2 узунликли иккинчи ўтказгичга B_1 томонидан F_2 куч таъсир қилади, унинг қиймати

$$F_2 = I_2 B_1 \ell_2$$

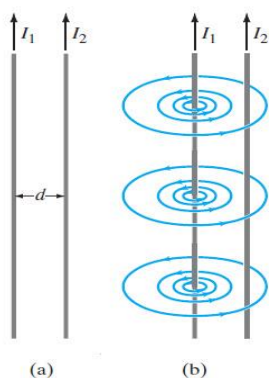
га тенг. I_2 га таъсир қилувчи куч фақат I_1 ҳосил қилган майдон туфайли эканлигига этибор беринг. Табиийки, I_2 ҳам майдон ҳосил қилади, аммо у ўзига – ўзи куч билан таъсир қилмайди. B_1 ни ўрнига қўйиб, ℓ_2 узунликли иккинчи ўтказгичга таъсир қилувчи F_2 кучни топамиз:

$$F_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} \ell_2 \quad \text{параллел ўтказгичлар (3-8)}$$

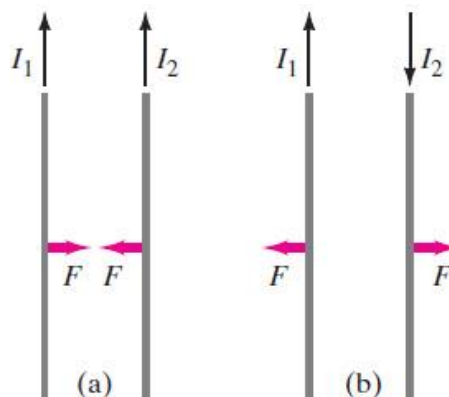
3.6–расмга ўнг қўл қоидани қўлласак, 3-6б – расмда кўрсатилганидек B_1 куч чизқиларини кўришимиз мумкин. Кейинчалик, расмга ўнг қўл қоидани қўлласак, 3-6б – расмдаги I_2 га таъсир қилувчи куч чапга йўналганини кўришимиз мумкин. Яъни, I_1 тортувчи куч билан I_2 га таъсир қилади (3-7а – расм). Бу ўтказгичлардаги тоқ бир йўналишда бўлгандагина тўғри. Агар I_2 йўналиши I_1 йўналишига тескари бўлса, ўнг қўл

қоидасидан куч тескари йўналишда бўлишини кўрсатади. Яъни I_1 итарувчи куч билан I_2 га таъсир қилади (3-7b – расм).

Юқорида кўрсатилганларга асосланиб I_2 ўтказгич I_1 га қарама – қарши йўналган тенг куч билан қилишини оламиз. Бу Ньютоннинг учинчи қонунидан келиб чиқиб ўринлидир. Шу сабабдан, 3-7 – расмда кўрсатилганидек бир хил йўналишдаги тоқлар бир –бирини тортади,хар хил йўналишли тоқлар эса итаришади.



3-6 – расм. (a) I_1 ва I_2 ток ўтаётган икки параллел ўтказгичлар. (b) I_1 ҳосил қилган \vec{B}_1 магнит майдон. (I_2 нинг майдони кўрсатилмаган.) I_2 турган жойда \vec{B}_1 китобга йўналган



3-7 – расм. (a) Бир хил йўналишда ток ўтаётган икки параллел ўтказгичлар бир – бирини куч билан тортади. (b) Антипараллел ток ўтаётган ўтказгичлар бир – бирини куч билан итаради.

Магнит майдон оқими. Магнит майдонни индукция чизиклари билан ифодалаш қулай. Бундай чизикларнинг хар бир нуқтасида магнит индукцияси вектори \vec{B} уринма бўйлаб йўналган бўлади. Майдонга перпендикуляр 1 м² юзани кесиб ўтаётган индукция чизиклари сони шу юзадаги магнит индукциясининг қийматига тенгдир (расм 3.8).

Маълум S юзадан ўтаётган магнит оқими Φ шу юзани кесиб ўтувчи индукция чизиклари сонига тенг. Агар юза индукция чизикларига перпендикуляр бўлса, у ҳолда:

$$\Phi = BS = \mu_0 \mu HS \quad (3.9)$$

Шу формулага асосан магнит оқими бирлиги қилиб 1 м² юзадан ўтаётган оқим қабул қилинади, бунда бу юзадаги магнит индукциясининг қиймати 1 тесла (Тл) бўлиши керак. Бу бирлик вебер (Вб) деб аталади. Оқим ўлчами

$$[\Phi] = [B][S] = \text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{сек}^{-2} \cdot \text{а}^{-1} \quad \text{тенг:}$$

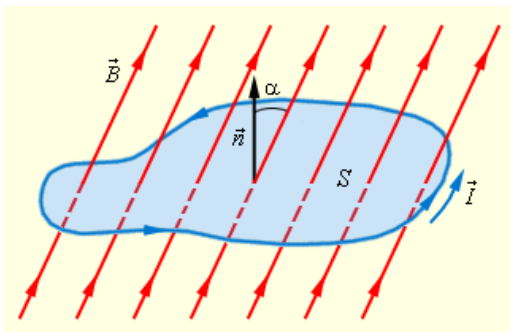
В векторнинг дС сирт оқими ёки магнит оқими деганда

$$d\Phi_B = B_n dS \quad (3.10)$$

Катталиқ тушунилади. Магнит индукция векторининг ихтиёрий С сирт оралик оқими эса

$$\Phi_B = \int \mathbf{B}_n dS \quad (3.11)$$

ифода ёрдамида аниқланади. Бир жинсли магнит майдонда ясси сирт \mathbf{B} векторга перпендикуляр тарзда жойлашган бўлса, (яъни $-\mathbf{B}_n = \mathbf{B} = \text{const}$ бўлган ҳолда), (3.7) қуйидаги кўринишга эга бўлади;



3.8-расм. S юзали берк сиртни кесиб ўтаётган магнит оқими.

$$\Phi_B = BS \quad (3.12)$$

Мазкур муносабатдан фойдаланиб магнит оқимининг СИ даги бирлиги-вебер (Вб) ни аниқлаш мумкин: 1 Вб -магнит индукцияси 1Тл бўлган бир жинсли магнит майдонда майдон йўналишига перпендикуляр равишда жойлашган 1 м² юзли ясси сиртни тешиб ўтадиган магнит оқимдир.

\vec{B} учун Гаусс теоремаси қуйидагича таърифланади: Магнит майдон индукцияси векторнинг ихтиёрий шаклдаги берк сирт оралиқ оқими нолга тенг:

$$\oint \mathbf{B} dS = 0 \quad (3.13)$$

Мазкур теорема магнит индукция чизикларининг берк эканлигини, яъни берк сирт ичига кираётган \mathbf{B} чизикларининг сони, сиртдан чиқаётган \mathbf{B} чизикларининг сонига айнан тенглигини ифодалайди.

$$\oint \mathbf{B} d\ell = \mu_0 \mathfrak{I}, \text{ агар циркуляция олинаятган контур токни ўраб олса;}$$

$$\oint \mathbf{B} d\ell = 0, \text{ агар циркуляция олинаятган контур токни ўраб олмаса:}$$

Токли ўтказгични магнит майдонда кўчиришда бажарилган иш.

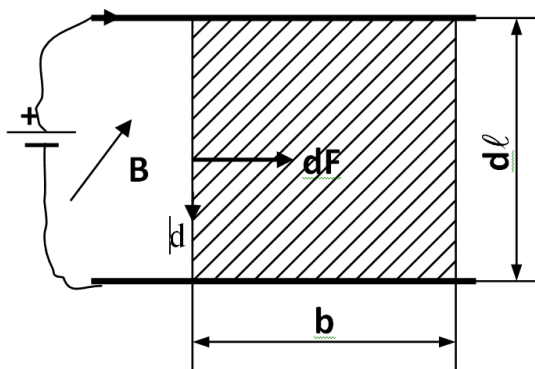
$d\mathbf{l}$ узунликдаги токли ўтказгич бир жинсли магнит майдонда эркин кўча олиш имконига эга бўлсин. Бундай тажрибани амалга ошириш учун икки металл стерженни (3.4-расм) ток манбаига улайлик. Стерженлар устига қўндаланг қилиб жойлаштирилган $d\mathbf{l}$ узунликдаги ўтказгичдан контурнинг қўзғалувчи қисми сифатида фойдаланиш мумкин. Бу токли ўтказгичга чизма текислигига перпендикуляр равишда йўналган магнит майдон томонидан таъсир этувчи Ампер кучининг қиймати

$$d\mathbf{F} = I \mathbf{B} d\mathbf{l} \quad (3.14) \text{ бўлади.}$$

Бу кучнинг йўналиши $d\mathbf{l}$ элементнинг кўчиш йўналиши билан мос тушганлиги учун бажарилган иш

$$dA = dF \cdot dx = IBdl \cdot dx \quad (3.15)$$

3.4 -расмдан кўринишича, dl элементнинг b масофага кўчиши туфайли контурнинг юзи



3.4-расм. Токли ўтказгични магнит майдонида кўчиришда бажарилган иш.

$dS = dl \cdot dx$ га ортади. Шунинг учун (3.15) ни қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$dA = IBdS = Id\Phi \quad (3.16)$$

Бу ифодадаги $d\Phi$ -контур юзининг dS ўзгариш туфайли контур юзини тешиб ўтаётган магнит оқимининг ўзгаришидир. Бошқача айтганда, контурнинг ўзгарувчи dl элемент кўчиш давомида кесиб ўтган магнит оқимдир.

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Токли ўтказгич, магнит, стрелка, майдон, индукция, ток, Ампер кучи, чап қўл қоидаси, заряд, Лоренц кучи, электр майдон, магнит майдон, марказга интилма куч.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Магнит майдонининг вужудга келиш сабабини тушинтиринг?
2. Ампер кучи қандай куч. У қандай шароитда юзага келади.
3. Лоренц кучи деб нимага айтилади. Унинг ифодасини ёзинг.
4. Бир жинсли электр ва магнит майдонларида зарядли зарра қандай ҳаракатланади.
1. Икки параллел токли ўтказгичлар орасида юзага келадиган таъсир кучи пайдо бўлиш сабабини тушунтиринг.
2. Бу куч қандай катталикларга боғлиқ. Кучнинг умумий ифодаси қандай кўринишга эга.
3. СИ системасида асосий бирликлардан бири-ток кучи бирлиги Ампер қандай шартларга асосан танлаб олинади.
4. Магнит доимийси қандай ифода воситасида аниқланади.
5. Магнит майдон оқими қандай аниқланади.

6. Токли ўтказгични магнит майдонида кўчиришда бажарилган иш қандай аниқланади.
7. Сиздан тўридан тўри қочиб ҳаракатланётган ток ташувчи тўри сим атрофини ўраган магнит майдон чизиклари йўналиши қаерга қараган? Тушунтиринг.
8. Тақасимон магнит шимол қутби чапга ва жануб қутби уннга қараган ҳолда вертикал турибди. Сим қутблар орасидан ўтмоқда, тенг масофада, сиздан тўғридан тўғри қочган ҳолатда. Симдаги куч қаяққа йўналган бўлади? Тушунтиринг.
9. Магнит алюмин ёки мисдан қилинган метал жисмни ўзига тортадими? Уриниб кўринг. Нима учун шундай?
10. Агар манфий зарядланган заррача доимий магнит майдонга кирса ва магнит майдон заррача тезлигига перпендикуляр бўлса, заррачанинг кинетик энергияси ошадими, камаядими ёки ўзгармас бўладими? Жавобингизни тушунтиринг.
11. Сиз тинч ётган электронни магнит майдони ёрдамида ҳаракатга келтира оласизми? Электр майдони ёрдамидачи? Тушунтиринг.
12. Иккита химояланган узун симлар бир хил I тоқларини бир бирига нисбатан тўғри бурчак остида тушаяпти. Бирини магнит кучини иккинчисига таъсирини тушунтиринг.

Маърузага доир амалий машгулот

Масала. токли ўтказгичлар орасидаги куч. Иккита 2.0 м узунликли ўтказгичлар 3.0 мм узоқликда жойлашган ва улардан 8.0 А ток ўтмоқда.

Услуб. Ток ўтаётганда ҳар бир ўтказгич иккинчисининг магнит майдонида туради, шунинг учун икки ўтказгич орасидаги таъсир этувчи куч формуласидан фойдаланамиз.

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} \ell_2 = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \text{ Т} \cdot \frac{\text{М}}{\text{А}}) (5.0 \text{ А})}{2\pi (3.0 \times 10^{-3} \text{ м})} = 8.5 \times 10^{-3} \text{ Н}$$

Ўтказгичлардаги ток қарама – қарши йўналгани учун куч итарувчи бўлиб, уларни узоқлаштиради.

1. Икки электр токи ўртасидаги магнит майдондан 10 см бўлган икки паралел тўғри ўтказгичда бир бирига қарама-қарши электр токи бор $I_1 = 5.0 \text{ А}$ ток саҳифанинг ташқарига ва $I_2 = 7.0 \text{ А}$ ток саҳифанинг ичкарига йўналган . Улар ўртасидаги масофанинг ярмидаги магнит майдони йўналишини аниқланг.

2.. Вертикал юқорига $5.0 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ тезлик билан ҳаракатланаётган протоннинг ғарб томонидан магнит майдони $8.0 \cdot 10^{-14} \text{ Н}$ куч билан таъсир қилмоқда.. Протон горизонтал шимолий йўналиш билан ҳаракатланаётганда ундаги куч 0 га тенг бўлади. Магнит майдонининг ҳудуддаги қиймати ва йўналишини аниқланг. (Протоннинг заряд миқдори $q = \pm e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ С}$ га тенг.)

3. Тўрт бурчакли ҳалқа ўтказгич вертикал осилган. **B** магнит майдони горизонтал йўналтирилади , ҳалқанинг юзига перпендикуляр ва **B** магнит майдони \odot белги орқали тасвирлангани каби саҳфанинг ташқарисини кўрсатади. **B** магнит майдони ab (узунлик $l = 10.0$) ўтказгичнинг горизонтал қисмига жуда яқин. Ҳалқа ўтказгичининг бир қанча

қисми майдондан ташқарида . Тўқ ўтказгич $I = 0.245$ заряд бўлганда магнетик куч пасга $F = 3.48 \times 10^{-2} \text{ Н}$ бўлса, B магнит майдонининг қиймати қандай?

4. Ўчиб қолган автомобильни юргизиш учун 65 А ток ўтувчи эгилувчи кабеллар қўлланади. Бир кабелдан $4,5 \text{ см}$ узоқликдаги магнит майдон нимага тенг? Ернинг магнит майдони билан солиштиринг ($5,0 \times 10^{-5} \text{ Тл}$).

5. Электр симидан 12 см масофада ҳосил қилинган магнит майдон Ернинг магнит майдони ($5,0 \times 10^{-5} \text{ Тл}$) дан ошмаслиги учун ундаги максимал ток кучи қанча бўлиши керак?

6. Бир хил йўналишда ҳар биридан 25 А ток ўтаётган иккита параллел 25 м узунликдаги ва бир биридан $4,0 \text{ см}$ узоқликда жойлашган симлар орасидаги кучнинг қиймати ва йўналишини топинг.

7. 28 А ток ўтаётган вертикал тўғри сим ундан $9,0 \text{ см}$ узоқликда жойлашган ва унга параллел бўлган иккинчи симни бирлик узунлигига мос келувчи $7,8 \times 10^{-4} \text{ Н/м}$ куч билан ўзига тортади. Иккинчи симдан ўтаётган токнинг қиймати ва йўналишини топинг.

8. Ернинг магнит майдонини ўлчаш бўйича тажриба электр кабелидан $1,00 \text{ м}$ масофада ўтказилмоқда. Агар экспериментнинг аниқлиги $\pm 3,0 \%$ бўлса, кабелдаги максимал ток кучини ҳисобланг.

9. Горизонтал компас 48 А ток пастга қараб ўтаётган вертикал тўғри чизиқли симдан 18 см жануброқда жойлашган. Бу ҳолатда компас игнаси қайси томонга йўналади? Ер магнит майдонининг бу нуқтадаги қиймати $0,45 \times 10^{-4} \text{ Тл}$ ва магнит оғиши 0° деб ҳисобланг.

10. Узун горизонтал сим шимол йўналишида $24,0 \text{ А}$ ток ўтказмоқда. Симдан $20,0 \text{ см}$ ғарбда жойлашган нуқтадаги магнит майдонни топинг. Ернинг магнит майдони пастга, горизонт билан 44° ташкил этиб, қиймати $5,0 \times 10^{-5} \text{ Тл}$.

11. Протонларнинг тўғри чизиқли оқими берилган нуқтадан $2,5 \times 10^9$ протон/с тезлик билан учиб ўтмоқда. Оқимдан $1,5 \text{ м}$ масофада улар қандай магнит майдон ҳосил қилади?

12. Иккита узун тўғри чизиқли симлар бир биридан $2,0 \text{ см}$ масофада жойлашган бўлиб, биридан I иккинчисидан 25 А ток ўтмоқда. Бу иккита сим ўртасидаги нуқтада магнит майдонни I га боғлиқ равишда топинг, бунда (а) тоқлар бир хил йўналишда, (б) тоқлар қарама қарши йўналишда.

13. Иккита тўғри чизиқли параллел симлар бир биридан $7,0 \text{ см}$ масофада жойлашган. Биринчи симдан $2,0 \text{ А}$ ток ўтмоқда. Агар биринчи симдан $2,2 \text{ см}$ масофада магнит майдон нольга тенг бўлса, иккинчи симдаги ток кучи ва йўналиши нимага тенг?

14. $8,5 \text{ м}$ баландликдаги симёғоч тепасидан ўтган симдан 95 А ток ғарбга қараб ўтмоқда. (а) Бу симни тагида ер юзасида магнит майдон қиймати ва йўналиши нимага тенг? Бу майдонни $\frac{1}{2} G$ бўлган Ернинг магнит майдони билан солиштиринг. (б) Қайси нуқтада симнинг магнит майдони Ернинг магнит майдонини сўндиради?

15. Компас нинаси ташқарида 17° шимоли-шарққа йўналган. Бироқ, агар у бино ичидаги вертикал симдан 12,0 см масофага қўйилганда у 32° шимоли-шарқни кўрсатди. Симдаги токнинг қиймати ва йўналиши қандай? Ернинг магнит майдони $0,50 \times 10^{-4} \text{Тл}$ ва горизонтал йўналган.

16. Икки электр токи ўртасидаги магнит майдондан 10 см бўлган икки параллел тўғри ўтказгичда бир бирига қарама-қарши электр токи бор $I_1 = 5.0 \text{ А}$ ток саҳифанинг ташқарига ва $I_2 = 7.0 \text{ А}$ ток саҳифанинг ичкарига йўналган. Улар ўртасидаги масофанинг ярмидаги магнит майдони йўналишини аниқланг.

17. Вертикал юқорига $5.0 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ тезлик билан ҳаракатланаётган протоннинг ғарб томонидан магнит майдони $8.0 \cdot 10^{-14} \text{ Н}$ куч билан таъсир қилмоқда.. Протон горизонтал шимолий йўналиш билан ҳаракатланаётганда ундаги куч 0 га тенг бўлади. Магнит майдонининг ҳудуддаги қиймати ва йўналишини аниқланг. (Протоннинг заряд миқдори $q = \pm e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ С}$ га тенг.)

18. Тўрт бурчакли ҳалқа ўтказгич вертикал осилган. \mathbf{B} магнит майдони горизонтал йўналтирилади, ҳалқанинг юзига перпендикуляр ва \mathbf{B} магнит майдони \odot белги орқали тасвирлангани каби саҳфанинг ташқарисини кўрсатади. \mathbf{B} магнит майдони ab (узунлик $l = 10.0$) ўтказгичнинг горизонтал қисмига жуда яқин. Ҳалқа ўтказгичининг бир қанча қисми майдондан ташқарида. Тўқ ўтказгич $I = 0.245$ заряд бўлганда магнетик куч пасга $F = 3.48 \times 10^{-2} \text{ Н}$ бўлса, \mathbf{B} магнит майдонининг қиймати қандай?

19. Ўчиб қолган автомобильни юргизиш учун 65 А ток ўтувчи эгилувчи кабеллар қўлланади. Бир кабельдан 4,5 см узокликдаги магнит майдон нимага тенг? Ернинг магнит майдони билан солиштиринг ($5,0 \times 10^{-5} \text{Тл}$).

20. Электр симидан 12 см масофада ҳосил қилинган магнит майдон Ернинг магнит майдони ($5,0 \times 10^{-5} \text{Тл}$) дан ошмаслиги учун ундаги максимал ток кучи қанча бўлиши керак?

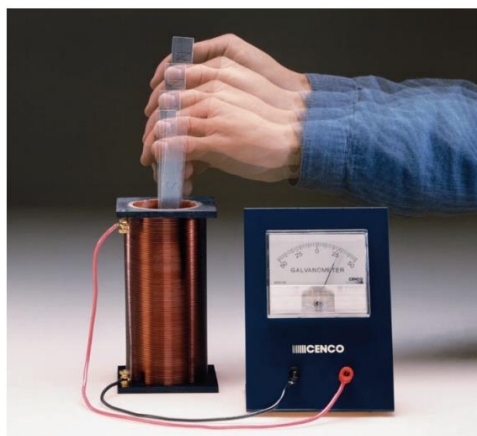
21. Бир хил йўналишда ҳар биридан 25 А ток ўтаётган иккита параллел 25 м узунликдаги ва бир биридан 4,0 см узокликда жойлашган симлар орасидаги кучнинг қиймати ва йўналишини топинг.

Электромагнит индукция ҳодисаси режаси:

1. Электромагнит индукция ҳодисаси
2. Фарадей тажрибаси
3. Ленц қонидаси
4. Ўзиндукция ҳодисаси
5. Индуктивлик.

Электромагнит индукция ҳодисаси. Фарадей тажрибаси. 1831 йилда Фарадей берк контур орқали ўтаётган магнит оқимини вақт бўйича ўзгартирганда унда электр токи ҳосил бўлишини топди. Бу тажриба ҳар хил вариантда бажарилди (7-1расм). Контур деформация қилинади, контур илгариларча ҳаракат қилади ёки магнит майдонига нисбатан бурилади. Магнит майдони вақт бўйича ўзгариб туради. Берк контурда магнит оқимининг ўзгариши натижасида ҳосил бўладиган ток индукцион ток деб аталади, ҳодисанинг ўзи эса электрмагнит индукция деб аталади. Индукцион токни юзага келтирадиган кучни индукцион электр юритувчи куч деб аталади.

Фарадейнинг асосий тажрибаларини кўриб чиқайлик.



Расм.7-1.

(е)Магнит тайоқчасини чулғамга киритсак, ток пайдо болганини сезамиз ва бир зумда ток йўқолади (галвонометр кўрсаткичи нолга кайтади), сўнгра магнит чиқариб олсак, йана болади, фақат тескари ёналишда ток юзага келади

Физикани буюк қонунларидан бири бўлган Фарадейнинг индукция қонуни ва унга кўра магнит оқимини ўзгариши ЭЮКни ҳосил қилади. Бу расмга кўра, чулғам ичида магнит тайоқчаси ҳаракатда бўлса, галвонометрда ток ҳосил бўлганини кўриш мумкин. Кўплаб турмушда асбоб-ускуналар, шу қаторда генераторлар, трансформаторлар, лентага ёки дискга (қаттиқ диск) ва компьютер хотирасига магнит орқали ёзиш электрмагнит индукция ҳодисаси асосида ишлайди.

Ўтган бобда келтирилган электр ҳамда магнетизмнинг боғлиқлигини икки кўринишини ҳам муҳокама этганмиз. (1) Электр токи магнит майдон ҳосил қилади; ва (2) магнит майдон электр токига ёки ҳаракатдаги зарядли заррага куч билан таъсир кўрсатади. Бу

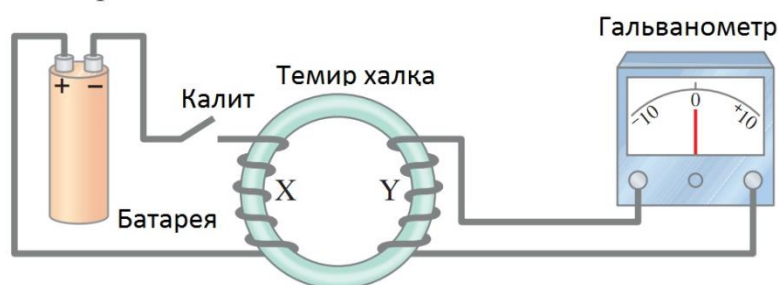
Юқоридаги тасвирда кўрсатилганидек магнит тайоқчаси чулғамга киритилди ва у ерда 1 дақиқага шу ҳолатда қолдирилди; сўнгра уни чулғамга киритиб чиқарилса, гальвонометрда нима кузатиш мумкин?

- (а) Ўзгармайди (кўрсаткич нолда қолади): Батареясиз у ерда ток бўлмайди.
- (б) Магнит тайоқчаси чулғам ичида турса, кичик ток оқими юзага келади.
- (с) Магнит тайоқчаси чулғам ичига киритилса, ток пайдо бўлади, сўнгра йўқолади
- (д) Ток пайдо бўлади ва ток кичик қийматда тўйинади

ҳодисалар 1820-1821 йилларда кашф қилинган. Шундан сўнг олимлар бир нарсадан ҳайратга тушишди: агар электр токи магнит майдон ҳосил қилса, магнит майдон ҳам электр токи ҳосил қила олармикан? Орадан 10 йил ўтиб, америкалик олим Жозеф Генри (Joseph Henry) (1797-1878) ва инглиз олими Майкл Фарадей (Michael Faraday) (1791-1867) мустақил равишда бунимкони бор эканлигини аниқлашган. Аслида Генри буним биринчи бўлиб кашф қилган лекин Фарадей ўзининг натижаларини эртароқ чоп қилган ва бу ҳодисани батафсил ўрганган. Ҳозир бу ҳодисани ва унинг дунёни ўзгартирган татбиқлари, ҳамда электр генераторини кўриб чиқамиз,

Индукция ЭЮК

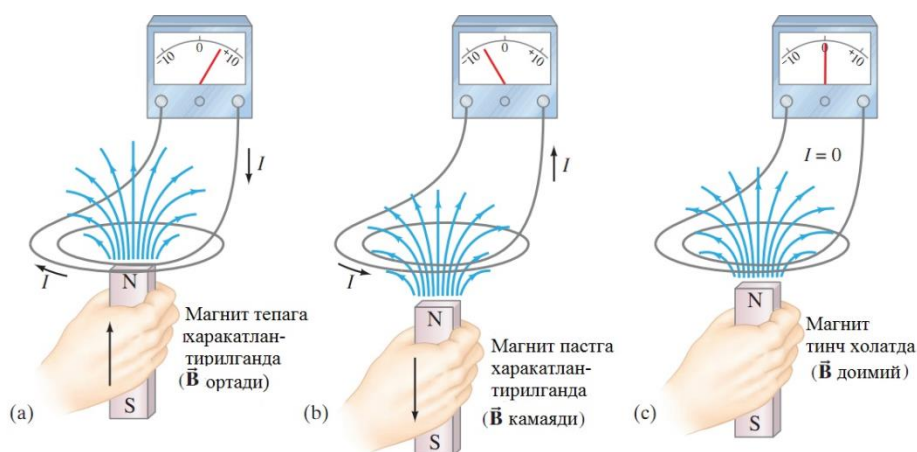
Фарадей магнит майдон орқали электр токи ҳосил қилишга уринишларида, 7-2 расмда кўрсатилган қурилмадан фойдаланади. У Х чулғамни манбага улади, натижада ушбу занжир орқали электр ток оқими юзага келди ва темир халқадаги Х чулғам орқали магнит майдон ҳосил бўлди. Фарадей Х чулғамда кучли тўйинган ток натижасида юзага келадиган етарли даражада кучли бўлган магнит майдон, айнан темир халқанинг Y чулғамида ток юзага келтиришига умид қилган.



Расм 7-2. Индукция ЭЮКи бўйича Фарадей тажрибаси

Иккинчи Y занжирда, ҳар қандай токни аниқлаш учун фақат гальванометр жойлаштирилган эди. Ушбу тажриба доимий ток билан мувафакятсизликка учради. Бироқ узок изланишлардан сўнг, Фарадей Х занжирда калитни улаганда, Y занжирдаги гальванометр кўрсаткичи кучли оғишган, калитни узганда эса тескари томонга кучли оғиш кузатилди. Х чулғамдаги доимий ток, доимий магнит майдон юзага келиши оқибатида Y чулғамда ток ҳосил бўлмади. Фақатгина Х чулғамда ток ўтишни бошлаши биланоқ ёки калит узилиш жараёнида, Y чулғамда ток юзага келган. Тажриба асосида Фарадей шундай хулоса қилди: доимий магнит майдон ўтказгичда ток ҳосил қила олмаса ҳам, ўзгарувчан магнит майдони электр токи вужудга келтиради. Бундай ток - индукцион ток дейилади. Y чулғамдаги магнит майдон ўзгарганда, Y чулғамда ток ҳосил бўлади, худди занжирда ЭЮК бордек. Демак, ўзгарувчан магнит майдони индукция ЭЮКини юзага келтирар экан.

Фарадей электромагнит индукция соҳасида кўплаб тажрибалар ўтказди, бу ходиса электромагнит индукция ходисаси деб аталди. Масалан, 7-3-расмда кўрсатилганидек, агар магнит чулғам ичида тез-тез ҳаракатга келтирилса, симда индукцион ток юзага келади. Агар магнит тезлик билан чиқариб олинса, ток йўналишини тескари томонга ўзгартиради (В чулғам бўйлаб камаяди). Бундан ташқари, агар доимий магнит маҳкамланган бўлса ва чулғам магнит бўйлаб чиқариб ва тушириб турилса, яна индукция ЭЮКи юзага келади ва индукцион ток оқа бошлайди. Индукция ЭЮКи юзага келиши учун ҳаракат ёки ўзгариш бўлиши керак. Бу ҳолда магнит ҳаракатланадими ёки чулғам ҳаракатланадими буним аҳамияти йўқ. Бу уларнинг ҳаракатини нисбийлиги ҳисобигадир.



7-3 расм

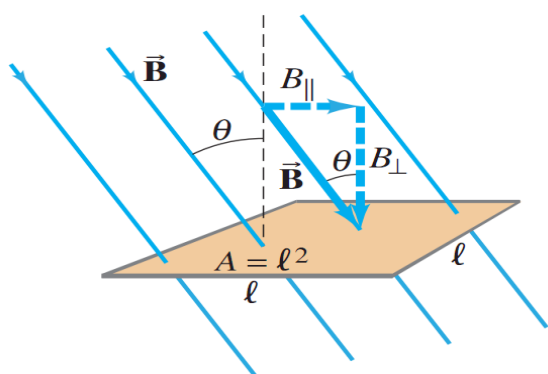
7-3-расм (а) Магнит таёқчаси чулғам бўйлаб ҳаракатланса, дарҳол чулғамдаги магнит майдон ортади ва индукцион ток юзага келади. (b) Агар магнит таёқчаси чулғамдан чиқариб олинса, ток йўналиши тескари томонга ўзгарилади (В камаяди). Гальванометрнинг нол қиймати шкала марказида жойлашган, ток оқимининг йўналишига қараб унинг стрелкаси ўнг ёки сўлга оғади. (с) Агар магнит таёқчаси чулғамга нисбатан ҳаракатга келмаса, индукцион ток пайдо бўлмайди. Бу ерда ҳаракатлар ўзаро боғлиқлиги ҳисобга олинади: магнит таёқчаси маҳкамланиб, чулғам ҳаракатга келтирилса ҳам индукция ЭЮКи юзага келади.

Фарадейнинг индукция қонуни: Ленц қонуни

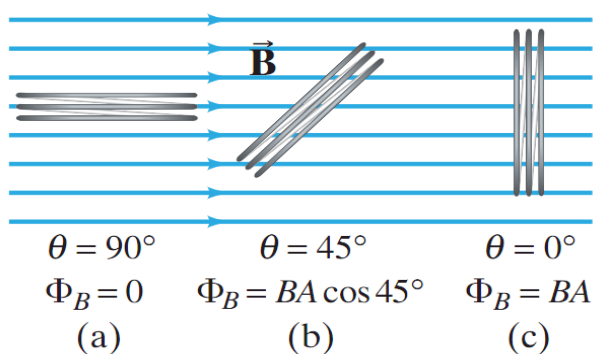
Фарадей индукция ЭЮКи миқдор жиҳатдан қандай катталикларга боғлиқ эканини ўрганиб чиқган. Унинг биринчи аниқлаган нарсаси шу бўлганки: Магнит майдон қанчалик тез ўзгарса, индукция ЭЮК шунчалар катта бўлади. Бундан ташқари индукция ЭЮК ҳалқа юзасига боғлиқ (ва В билан ҳалқа юзаси орасида ҳосил бўлган бурчакка ҳам боғлиқ). Ҳақиқатда эса, индукция ЭЮКи айлана ёки ҳалқа юзаси (А) орқали ўтувчи Φ_B магнит оқимининг ўзгаришига тўғри пропорционал. А юза орқали ўтувчи бир жинсли магнит майдон оқими қуйидагича ифодаланади:

$$\Phi_B = B_{\perp} A = BA \cos \theta \quad (7-1)$$

Бу ерда В бир жинсли майдон. Ҳалқа юзига перпендикуляр бўлган B_{\perp} бир жинсли магнит майдон В нинг ташкил этувчисидир, бурчак θ бу В вектор ва ҳалқа юзига перпендикуляр бўлган чизик орасидаги бурчак. Бу катталиклар, томони L, майдони $A=L^2$ га тенг бўлган тўртбурчак ҳалқа 7-4-расмда кўрсатилган. Ҳалқанинг юзи В векторга параллел бўлганда, $\theta=90^\circ$ ва $\Phi_B=0$. В вектор ҳалқанинг юзига перпендикуляр бўлганда, $\theta=0^\circ$ ва $\Phi_B=BA$ (бир жинсли).



7-4-расм Симдан ясалган текис соҳага мос келадиган оқимни аниқланг. Бу соҳа тўртбурчак шаклдан иборат бўлиб, томони L га тенг ва юзаси $A=L^2$ га тенг.



7-5-расм Φ_B магнит оқими чулғам ҳалқалари орқали оқиб ўтувчи B магнит чизиқлари сонига пропорционал (бу расмда ҳалқалар сони 3та).

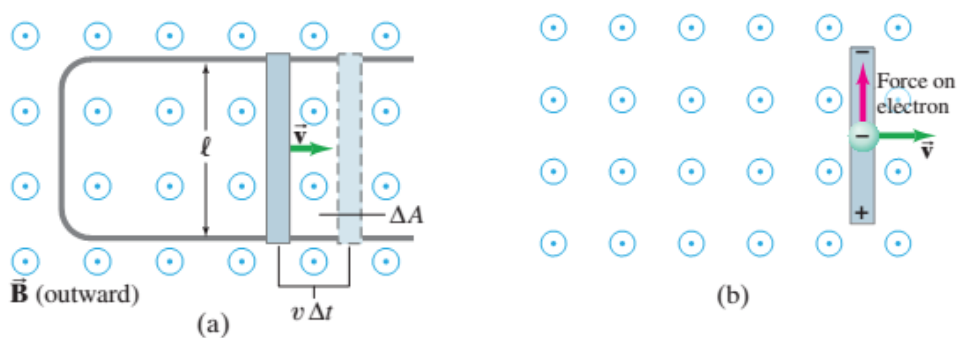
Биз ўтган бобда кўрганимиздек, B чизиқларини (E чизиқларига ўхшаш) шундай тарзда чизиш мумкинки, юзи бирлигидаги чизиқлар сони, майдон кучланганлигига пропорционал. Кейин Φ_B оқим ҳалқа билан қопланган майдондан ўтувчи чизиқлар сонига тўғри пропорционал деб қараш мумкин. 4-5 расмда келтирилгандек, $\theta=90^\circ$ учун ҳалқалардан магнит майдон чизиқлари кесиб ўтмайди, яъни $\Phi_B=0$, $\theta=0^\circ$ бўлганда, Φ_B максимум қийматга эришади. Магнит майдон оқими бирлиги тесла \cdot метр², ёки вебер деб номланади: $1\text{Wb}=1\text{T} \cdot \text{m}^2$,

7-1 тенгламадаги оқимни ифодасидан Фарадейнинг изланишларини ёзишимиз мумкин: Занжирдаги индукция ЭЮКи, занжирдаги магнит оқими ўзгариш муносабатига тенг.

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} \quad (7-2)$$

Бу фундаментал натижалар Фарадейнинг индукция қонуни дейилади ва бу қонун электромагнитизм асосларидан бири ҳисобланади.

Индукция ЭЮКи ҳамиша магнит оқимининг дастлабки йўналишини ўзгаришига тескари йўналган бўлади.



7-6 расм. (a) B доимий магнит майдонидаги U -формали ўтказувчининг ўнг томонига ҳаракатланувчи ўтказувчан таёкча. Ток соат стрелкаси бўйича йўналган. (b) B сабабли метал таёкчада электрондаги тепага йўналган куч; электронлар $+$ зарядларни пастда қолдирган ҳолатда таёкчанинг тепасига йиғилади

ЭЮК ни пайдо қилишни бошқа бир йули 7-ба расмда тасвирланган бўлиб бу ҳолат ЭЮК ни табиатини ёритиб беришга ёрдам беради. Фараз килинг, B доимий магнит майдони U -шакилли ўтказувчи билан чегараланган юзага перпендикуляр ва ҳаракатланувчи таёкча тинч ҳолатда турибди. Агар таёкча ўнг томонга v тезлик билан ҳаракатланадиган бўлса, у Δt вақтда

$\Delta x = v \Delta t$ масофа босади. Шунинг учун, ҳалканинг юзаси Δt вақтда $\Delta A = \ell \Delta x = \ell v \Delta t$ га ортади. Фарадей қонуни бўйича вужудга келган ЭЮК \mathcal{E}

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} = \frac{B \Delta A}{\Delta t} = \frac{B \ell v \Delta t}{\Delta t} = B \ell v. \quad (7-3)$$

Вужудга келган ток соат стрелкаси бўйича йўналган (ўсиб бораётган оқимга қаршилиқ қилиб)

7-3 тенглама B , ℓ ва v ўзаро перпендикуляр ҳолатидагина тўғри бўлади. (Агар шундай бўлмаса, биз факатгина бир бири билан ўзаро перпендикуляр бўлган компонентларини ишлатамиз.) Магнит майдонда ҳаракатланаётган ўтказувчида вужудга келган ЭЮК баъзида *ҳаракат ЭЮК* си дейилади.

7-3 тенгламани Фарадей қонунини ишлатмай ҳам ҳосил қилишимиз мумкин. B магнит майдонга перпендикуляр v тезликда ҳаракатланаётган зарядланган заррача $F = qvB$ кучи таъсир этади. 7—ба расмдаги таёкча ўнг томонга v тезлик билан ҳаракатланса, таёкчадаги электронлар ҳам шундай тезликда ҳаракатланади. Шунинг учун, $\vec{v} \perp \vec{B}$ булгани каби, ҳар бир электрон $F = qvB$ кучини ҳис этади, 4-6b расмдаги сингари кизил стрелка билан тепага йуналган бўлади. Агар таёкча U -шакилли ўтказувчи билан алоқада бўлмаса, электронлар таёкчанинг тепа қисмида йиғилиб олишади, пастки қисмини мусбат ҳолатда қолдирган ҳолда. (7-6b расмдаги ишораларга қаранг). Шунинг учун ҳам бу ерда ЭЮК бўлиши керак. Агар таёкча U -шакилли ўтказувчи билан алоқада бўлса (7-ба расм), электронлар U томон оқа бошлайди. Бу ерда халқа ичида соат стрелкаси бўйича йуналган ток бўлади. ЭЮК ни ҳисоблаш учун, биз q зарядни таёкчанинг бир учидан бошқа учи томон ҳаракатга келтириш учун керак бўладиган W ишни ҳисоблаймиз: $W =$ куч \times масофа $= (qvB)(\ell)$. ЭЮК ишнинг заряд бирлиги нисбатига тенг бўлади:

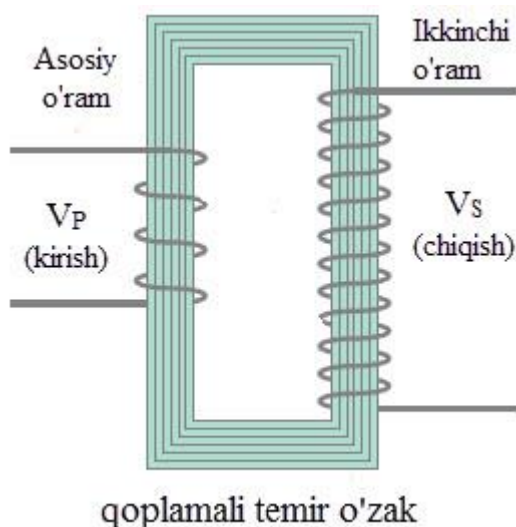
$$\mathcal{E} = W/q = qvB\ell/q = B\ell v, \quad 7-3 \text{ тенглама каби бир хил натижа (Фарадей)}$$

7-2 расмдан магнит таёкчаси ва чўлғам орасидаги ўзаро ҳаракатга боғлиқлигига Ленц қонуни татбиғида кўришимиз мумкин. Чўлғамдан ўтувчи оқим индукция ЭЮКини юзага келтиради ва ток вужудга келади. Ушбу индукцион ток ўз магнит майдонини ҳосил қилади. Келтирилган 7-2a расмда магнит таёкчаси ва чулғам орасидаги масофа камаяди. Чулғамдаги доимий магнит атрофидаги магнит майдон (майдон чизиклари) ортади, бунинг натижасида оқим ортади. Магнит майдон чизиклари пастдан тепага томон йўналган (ўқувчидан қоғозга томон). Қарама қарши томондан тепага ортиши учун, чўлғам ичидаги индукцион ток ҳосил қилган магнит майдон пастга йўналган бўлиши керак. Демак, Ленц қонунига кўра, ток 7-2a расмда келтирилгандек ҳаракат қилади (ўнг қўл қоидаси бўйича). 7-2b расмдаги ҳолат учун магнит майдон оқими камаяди, чунки магнит таёкчаси узоқлашади ва магнит майдони B камаяди, натижада ҳалқадаги индукцион ток ўз олдинги ҳолатини чаклашга интилиб халқа бўйлаб тепага йўналган магнит майдони ҳосил қилади. Шундай қилиб, 7-2b расмдаги ток йўналиши 7-2a расмдаги нисбатан тесқари йўналган бўлади.

Шуни тақдирлаш муҳимки, чўлғамдаги ўтувчи оқим ўзгариш юз берса индукция ЭЮКи юзага келади, ва қуйида баъзи қўшимча эҳтимолликлар кўриб чиқилади.



7-7 Расм. Сим ёғочдаги пасайтирувчи таъмирлаш



7-8 Расм. Кучайтирувчи трансформаторни

Трансформатор ўзгарувчан токни кучайтирувчи ёки пасайтирувчи қурилма. Трансформаторларни ҳоҳлаган жойда учратиш мумкин: сим ёғочдагиси (7-7 расм) электр компаниясидан келадиган юқори кучланишни уйларда фойдаланиш (120В ёки 240В) телефонлар, ноутбуклар ва электрик асбоблар учун камайтириб узатади, машинангиздаги свичаларга керакли кучланишни етказиб беришда ва бошқа ҳолатларда етказиб берилади. Трансформатор иккита ўрамдан ташкил топган, биринчи ва иккинчи ўрамдан. Иккаита ўрам ўзаро боғланган (изоляцияланган сим билан); ёки улар чеккасида энг кам электр йўқотадиган темир қатламли асос билан боғланади 7-8 расмда кўрсатилганидек. Трансформаторлар биринчи билан иккинчи ўрамдан оқиб ўтувчи электр токи орқали магнит оқимини ясаш учун ташкиллаштирилади. Биз шунингдек йўқотилган энергияни (қаршилиқда) ҳисобга олмаймиз - бу унумдорлиги 99 % дан юқори бўлган ҳақиқий трансформаторлар учун яхши. Кучланиш биринчи ўрамга етиб келганида, магнит майдонидаги ўзгариш иккинчи ўрамда бир хил тебранишга сабаб бўлади. Бироқ ўрамлар сони туфайли кучланиш ҳар ўрамда ҳар хил бўлади. Фарадейнинг қонунига асосан иккинчи ўрамдаги кучланиш:

$$V_s = N_s \times \Delta\Phi / \Delta t$$

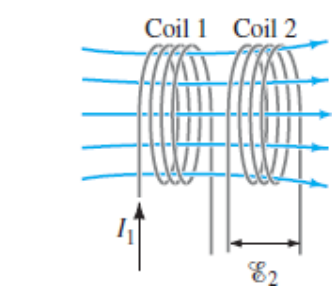
N_s иккинчи ўрамдаги ўрамлар сони, $\Delta\Phi / \Delta t$ магнит оқими ўзгаришининг тезлиги.

Биринчисидagi кучланиш V_p , у орқали ўтадиган оқимнинг ўзгариш тезлигига боғлиқ: $V_p = N_p \times \Delta\Phi / \Delta t$

N_p биринчи ўрамдаги ўрамлар сони. Бу шундай бўлади, чунки биринчи ўрамдаги оқим ўзгариши тескари кучланишни ишлаб чиқаради ва агарда қаршилиқдаги кучланиш ҳисобга олинмаса келган кучланиш балансида бўлади (Киркофф қонуни). Биз тенгламани икки бўлакка бўламиз, жуда кам ёки умуман оқим йўқолмаган деб ҳисоблаб $V_s/V_p = N_s/N_p$ (7-4) ни топамиз.

Трансформатор тенгламаси биринчи ўрамдаги кучланиш иккинчисига қандай боғланганини айтади, V_s ва V_p 7-4 тенгламадаги иккаласи ҳам расм ёки энг юқори қиймат бўлади. Ўзгармас кучланиш магнит оқим ўзгармаслиги туфайли иш бажармайди.

Агар иккинчи чўлғам биринчисидан кўпроқ чўлғам ташкил этса ($N_2 > N_1$), трансформаторимиз кучайтирувчидир. Бунда иккинчи чўлғамдаги кучланиш биринчисидан каттароқ бўлади. Масалан, иккинчи чўлғам биринчисига қараганда 2 марта кўпроқ ўрам бўлса, ундаги кучланиш ҳам 2 марта катта бўлади. Агар N_1 имиз N_2 дан кичик бўлса, трансформаторимиз пасайтирувчидир. Электр кучланишимиз трансформатор билан камайтирилиб ёки оширилишига қарамасдан биз ҳеч бир нарсага эга бўлмаймиз. Энергия сакланиши бизга чиқувчи қувват кирувчи қувватдан ҳеч қанақасига каттароқ бўлолмаслигини айтади. Яхши ишлаб чиқилган трансформатор 99% дан кўпроқ ФИК ли бўла олади. Бунда иссиқликка кам энергия йўқолади. Шу сабабли чиқувчи қувват кирувчи қувватга тенг бўлади. $I_s/I_p = N_p/N_s$



Расм 7-9. Бир ғалтакдаги токнинг ўзгариши, иккинчи ғалтакда ток ҳосил қилади.

Coil 1 Coil 2 .1 ва 2 ғалтакда ток вужудга келган)

7-9 расмда курсатилганидек икки ғалтак бир бирига яқин бўлса, бирида содир бўлган токнинг ўзгариши иккинчисига ЭЮК ни ҳосил қилади. Биз иккинчи ғалтакка Фарадей қонунини ишлатамиз: иккинчи ғалтакда ҳосил бўлган \mathcal{E}_2 ЭЮК, ғалтак орасидан оқиб ўтувчи магнетик оқимнинг ўзгариш даражасига тенг. Иккинчи ғалтакдаги оқимнинг ўзгаришини биринчи ғалтакдаги I_1 токнинг ўзгариши келтириб чиқаради. шунинг учун биринчи ғалтакдаги токни ўзгариш даражаси \mathcal{E}_2 га тенг.

$$\mathcal{E}_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}, \quad (7-5)$$

бу ерда Δt вақт оралиғи жуда ҳам кичик ва доимий тенг, M эса ўзаро индуктивлик деб номланади. (манфийлик ишораси Ленц қонидасига кўра, вужудга келган ЭЮК оқим ўзгаришига қарши бўлади). Ўзаро индуктивликни бирлиги $V \cdot s/A = \Omega \cdot s$ бўлиб генри (Н) деб, Жозеф Генри шарафига қўйилган: $1 H = 1 \Omega \cdot s$

M ўзаро индуктивлиги “ўзгармас” бўлиб I_1 га боғлиқ эмас. M геометрик омиллар: ҳажми, шакли, урамлар сони, икки ўрамнинг жойлашув ўрни ва темир (ёки бошқа ферромагнетик материал тури) га боғлиқ. Масалан 7-9 расмдаги каби икки ғалтак бир биридан қанча узоқда бўлса шунчалик кам оқим иккинчи ғалтакдан оқиб ўтади, шунинг учун M кичик бўлади. агар биз тесқари ҳолатни кўриб чиқсак: иккинчи ғалтакда токни ўзгариши биринчи ғалтакдаги ЭЮК ни ҳосил қилса, доимий ўзгармас M бир хил қиймат беради.

$$\mathcal{E}_1 = -M \frac{\Delta I_2}{\Delta t}. \quad (7-6)$$

Ўзаро индуктивликка мисол қилиб трансформаторни олишимиз мумкин, бунда ҳамма оқимлар иккала ғалтакдан ўтгани учун боғланиш максимум ҳолатда бўлади. Юқоридаги бўлимда айтиб ўтганимиздек, ўзаро индуктивликни, қайта заряд қилса бўладиган батареяли: уяли телефон, электр автомобили ва бошқа қурилмаларни индуктив зарядлаш каби бошқа ҳислатлари ҳам бор. Бази бир электрон юрак стимуляторлари касалларга юракка қонни доимий оқиб туришини таъминлайди, юрак яқинидаги юрак стимуляторида жойлашган иккинчи ғалтакка, ташки ғалтакдан ўзаро индуктивлик орқали қувватни етказиб беради. Бу турдагилар, бошқа батарея билан қувватланадиган юрак стимуляторидан афзаллиги бор, жаррохликда заряди тугаганда алмаштириш ҳожати йук.

Ўзиндуктивлик

Индуктивлик атамасини якка изоляция қилинган ғалтакларга ҳам нисбатан қўллаш мумкин.

Қачонки ғалтакдан ёки соленоиддан ўтаётган ток ўзгарса, ўзгарадиган магнит оқим ғалтак ичида пайдо бўлади, ва бу уз навбатида ЭЮК ни ҳосил қилади.


Бу ЭЮК нинг мавжуд бўлиши оқим ўзгаришига қарши бўлади (Ленц қонуни). бу худди мотор орқали ҳосилга келган орқа ЭЮК га ўхшайди. (масалан, ғалтак ичидаги ток ошади, магнетик оқимини ошиши ЭЮК ни ҳосил қилади, ўз навбатида у ҳақиқий токни ўсишига қарши чиқади). Ҳосил бўлган ЭЮК \mathcal{E} токнинг ўзгариш даражасига тенг бўлади.

(ўзгаришига қарама қарши йуналишда бўлади, шу сабабли манфий ишора бўлади)

$$\mathcal{E} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}. \quad (7-7)$$

Доимийликка тенг L ўз-индуктивлик ёки оддий қилиб айтганда ғалтак индуктиви деб аталади. Бу ҳам генрида ўлчанади. L нинг катталиги темир ўзаги бор ёки ёғлигига ва ғалтакни ҳажми ва шаклига боғлиқ бўлади.

ўзгарувчи ток занжирида ҳар доим баъзи бир индуктивлик мавжуд бўлади, агар занжир куп ҳалқа ва урамлардан ташкил топмаган бўлса, одатда бу жуда ҳам кичик бўлади.

Халқада мавжуд бўлган сезирарли ўз-индуктивлик L индуктор деб аталади. Занжир тасвирида қуйидагича белгиланади:  (индуктор белгиси)

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Электромагнит, индукция, майдон, магнит оқими, контур, ўзиндукция, ўзаро индукция, магнит майдон, индуктивлик, солениод.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Ўзиндукция ходисасини изоҳланг.
2. Ўзаро индукция қандай юзага келади.
3. Контурнинг индуктивлиги қандай физик катталиқ.
4. Индуктивлик ўлчов бирлиги қандай аниқланади.
5. Солениод индуктивлиги ифодаси қандай кўринишга эга.
6. Ўтказгич ҳалқа доимий магнит майдон орқали айланмасдан доимий тезлик билан ҳаракатланади. Ҳалқадаги юзага келувчи ток

7. Бир-биридан кичик масофага ажратилган иккита ҳалқа битта ўққа маҳкамланган. Биринчи ҳалқада ток оқими қувват манбаи билан бошқарилмоқда ва у магнит майдонини юзага келтирмоқда. Иккинчи ҳалқа фақатгина амперметрга уланган. Амперметр иккинчи ҳалқадаги ток оқимини кўрсатиши мумкинми
8. Қуйидаги қайси ҳолатда трансформатор функцияси бажарилади?
9. Ноутбук кучланиши 120 В бўлган ўзгарувчан кучланиш билан зарядланмоқда, бироқ у паст кучланишни талаб қилади. Бунда зарядловчи қурилма ичида диод ёки тўғрилагич ўзгарувчан токни қуйида келтирилган қурилмаларда доимий токка айлантиради
10. Кучланиши 10 В, ток кучи 1.0 А бўлган доимий ток бирламчи ғалтак ўрамлар сони 10 та ва иккиламчи ғалтак зрамлар сони 20 га тенг бўлган кучайтирувчи трансформатор орқали ўтмоқда. Чиқишдаги кучланиш ва ток кучини баҳоланг?
11. * Кредит картаси банкоматга киритилганда баъзида уни ўқимайди. Бунда Сиз нима қилган бўлардингиз?
12. * Барча ўзгарувчан занжир серияси ҳақидаги қуйидаги қайси фикрлар тўғри?

Амалий машғулоти. Электромагнит индукция ҳодисаси. Лнец қондаси,

НАМУНА. Магнит майдондаги сим ҳалқаси. Тўртбурчак шаклидаги сим ҳалқасининг ўлчами $L=5,0$ см ва бир жинсли магнит майдон $B=0.16$ Т бўлса. Ҳалқадаги (а) магнит оқими нимага тенг, агар В майдон ҳалқа юзига перпендикуляр бўлган ҳолда ва (б) В майдон ҳалқа майдонига 30° бурчак остида бўлганда? (с) Агар ҳалқа айланаётган бўлса ва унга 0.012 Ом қаршилик уланган бўлса, индукцион токнинг ўртача қиймати қандай бўлади, бунда (б) ҳолатдан (а) ҳолатга ўтиш учун 0.14 сек давоми қилган.

УСЛУБ Магнит оқимини ҳисоблаш учун, қуйидаги тегламадан $\Phi_B = B_\perp S = BA \cos \theta$ фойдаланамиз. Сўнгра биз чулғамдаги индукция ЭЮКни аниқлаш учун Фарадейнинг индукция қонунидан ва индукцион токидан фойдаланамиз ($I = \mathcal{E}/R$).

ЕЧИМ. Чулғам ҳалқаси юзаси $S = L^2 = (5.0 \times 10^{-2} \text{ м})^2 = 2.5 \times 10^{-3} \text{ м}^2$

(а) В майдон вектори ҳалқа юзасига перпендикуляр, яъни $\theta=0^\circ$ ва

$$\Phi_B = B S \cos 0^\circ = (0.16 \text{ Т})(2.5 \times 10^{-3} \text{ м}^2) = 4.0 \times 10^{-4} \text{ Т} \cdot \text{м}^2$$

ёки $4.0 \times 10^{-4} \text{ Втб}$

(б) θ бурчак 30° бўлса, $\cos 30^\circ = 0.866$ бўлади, натижада

$$\Phi_B = B A \cos \theta = (0.16 \text{ Т})(2.5 \times 10^{-3} \text{ м}^2) \cos 30^\circ = 3.5 \times 10^{-4} \text{ Т} \cdot \text{м}^2$$

ёки $3.5 \times 10^{-4} \text{ Втб}$, яъни бу қиймат олдинга (а) ҳолатга нисбатан кичкинароқ.

(с) $t=0.14$ сек вақт давомида юзага келган индукция ЭЮКи қиймати қуйидагича ҳисобланади:

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} = \frac{(4.0 \times 10^{-4} \text{ Т} \cdot \text{м}^2) - (3.5 \times 10^{-4} \text{ Т} \cdot \text{м}^2)}{0.14 \text{ сек}} = 3.6 \times 10^{-4} \text{ В}$$

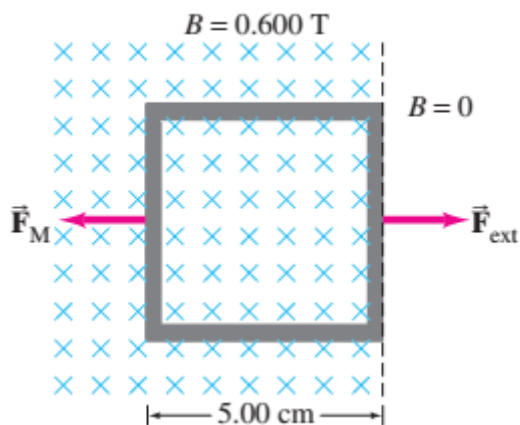
Ҳалқа тинч турган пайти, яъни у бурилишидан олдин ва кейин, индукция ЭЮКи нолга тенг. Ҳалқа бурилиб бошлаганда (Ом қонунига кўра) симда юзага келадиган ток қуйидагича ҳисобланади:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{3.6 \times 10^{-4} \text{ В}}{0.012 \Omega} = 0.030 \text{ А} = 30 \text{ мА}$$

Масала. Магнит майдондан халқани тортиб олиш.

Томони $\ell = 5.00$ см ва умумий қаршилиги $R = 100 \Omega$ булган 100 та айланалик квадратдан иборат ғалтакли сим $B = 0.600$ Т булган доимий магнит майдонга перпендикуляр равишда жойлашган, 1- расмда курсатилганидек. У магнит майдондан В

дархол нолга тушадиган зонага узгармас тезлик билан тортиб олинди (харакат B га перпендикуляр холатда). $t = 0$ холатда галтакнинг унг кийраси майдоннинг томонида булади. Тулик галтакнинг очик майдонга чиқиши учун 0.100 секунд вақт кетади. Топинг (а) галтакдаги битта халка орасидаги оқимнинг узгариш тезлигини ва (б) 100 халкали галтакда тугилган токни ва умумий ЭЮКни. (с) Галтакда канча энергия ажралиб чикди? (д) Уртача куч нимага тенг (F_{ext})?



1- расм.. $B=0.006 \text{ T}$ магнит майдондаги квадрат галтак $B=0$ томонга дархол тортиб олинди.

Ёндашув Биз магнит оқимни аниқлашдан бошлаймиз, $\Phi_B = BA \cos 0^\circ = BA$ вақт интервали $\Delta t = 0.100 \text{ s}$ давомида узгаради. Шунда Фарадей конуни орқали ЭЮК ни топамиз ва Ом конуни ила токни аниқлаймиз. А-бу ерда S -ифодалайди.

Ечим (а) Галтакнинг юзаси $A = \ell^2 = (5.00 \times 10^{-2} \text{ m})^2 = 2.50 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ га тенг. Битта халка орқали оқим бошида

$$\Phi_B = BA = (0.600 \text{ T})(2.50 \times 10^{-3} \text{ m}^2) = 1.50 \times 10^{-3} \text{ Wb} \text{ га тенг булади.}$$

0.100 секунддан сунг эса оқим нолга айланади. Оқимнинг узгариш тезлиги доимийдир (чунки халка квадрат шаклида), бир халка учун тенг булади

$$\frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} = \frac{0 - (1.50 \times 10^{-3} \text{ Wb})}{0.100 \text{ s}} = -1.50 \times 10^{-2} \text{ Wb/s.}$$

(б) 100 халкали галтакда вужудга келган ЭЮК (21-2 тенглама) 0.100 секунд мобайнида

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} = -(100)(-1.50 \times 10^{-2} \text{ Wb/s}) = 1.50 \text{ V.}$$

Ом конунини $R = 100 \Omega$ лик галтакга ишлатган холда токни аниқлаймиз:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{1.50 \text{ V}}{100 \Omega} = 1.50 \times 10^{-2} \text{ A} = 15.0 \text{ mA.}$$

Ленц конуни буйича, саҳифани ичи томон купрок B хосил қилиш учун ток соат стрелкаси буйлаб оқиши керак ва шу орқали оқимни камайтишига йул қуймайди.

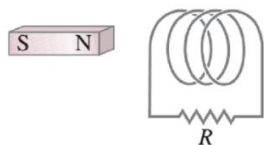
(с) Галтакда ажралган умумий энергия қувват ($=I^2 R$) ва вақтни купайтмасига тенг булади:

$$E = Pt = I^2 R t = (1.50 \times 10^{-2} \text{ A})^2 (100 \Omega) (0.100 \text{ s}) = 2.25 \times 10^{-3} \text{ J.}$$

(д) Биз (с) қисмдаги натижани иш-энергия принципини қуллаш учун ишлатимиз мумкин: ажралиб чиккан энергия E майдондан галтакни тортиб олишга кетган ишга W тенг булади. Чунки $W = \vec{F}_{\text{ext}} d$ ва $d = 5.00 \text{ cm}$ га тенг:

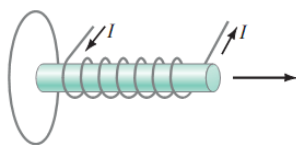
$$\vec{F}_{\text{ext}} = \frac{W}{d} = \frac{2.25 \times 10^{-3} \text{ J}}{5.00 \times 10^{-2} \text{ m}} = 0.0450 \text{ N.}$$

1. иккита ўрамдан иборат ўтказгич ғалтак орқали ўтувчи магнит оқими доимий тартибли -58 Вб дан $+38 \text{ Вб}$ гача 0.34 с ичида ўзгарди. Ҳалқада юзага келувчи ЭЮК нимага тенг?
2. 7-10 расмда келтирилган магнит шимолий кутби билан ҳалқага киритилмоқда. R резисторда юзага келувчи ток оқимининг йўналиши қандай? Тушунтиринг.



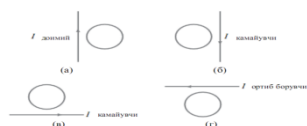
7-10 РАСМ

3. 7-10 расмда келтирилган тўртбурчакли ҳалқа магнит майдон томонга яқинлаштирилмоқда. Ҳалқада юзага келувчи токнинг йўналиши қандай? Фикрингизни тушунтиринг.
4. 7-11 расмда кўрсатилган соленоид ҳалқадан узоқлаштирилганда, ҳалқад юзага келувчи ток кучи йўналиши қандай? Тушунтиринг.



7-11 РАСМ

5. Узунлиги 18.5 см бўлган ўтказгич ҳалқа 1.5 Т магнит майдонига перпендикуляр жойлаштирилган. Майдон йўналишига параллел текисликда 0.20 с айлантирилди. Ҳалқанинг ўртача ЭЮК си нимага тенг?
6. Диаметри 10.8 см бўлган ҳалқа ўтказгич 0.48 Т магнит майдонига перпендикуляр маҳкамланган. 0.16 с ичида магнит майдон 0.25 Т га камайган. Ҳалқанинг ўртача ЭЮК нимага тенг?
7. Диаметри 16 см бўлган ўтказгич айлана ҳалқа 0.50 Т магнит майдонига жойлаштирилган. (а) ҳалқа магнит майдонига перпендикуляр жойлашганда ҳалқадан ўтувчи магнит майдони нимага тенг? (б) ҳалқа магнит майдонига 42° бурчак остида айланганда, ушбу вазият учун 7-1 тенгламадаги бурчак θ нимага тенг? (с) ушбу бурчакдаги ҳалқа орқали ўтувчи магнит оқими нимага тенг?
8. 7-6 расмда кўрсатилган узунлиги 12.0 см бўлган ҳаракатланувчи стержень 18.0 м/с тезлик билан ҳаракатланмоқда. Агар магнит майдон 0.800 Т бўлса, у ҳолда (а) ЭЮК ортади, (б) стерженьда электронларда электр майдони юзага келади.
9. Айлана ҳалқа қоғоз устида унга кирувчи 0.65 Т магнит майдонда ётибди. Ҳалқанинг диаметри 0.50 с ичида 20 см дан 6.0 см гача ўзгартирилди. (а) ҳалқада юзага келувчи ток кучининг йўналиши қандай, (б) юзага келувчи ЭЮК нинг ўртача қиймати нимага тенг, (в) ҳалқанинг қаршилиги 2.5 Ом бўлса, юзага келувчи ўртача ток кучи нимага тенг.
10. 7-12 расмдаги ҳар бир қисмда кўрсатилган токнинг ҳалқада ҳосил қилувчи ток кучи қандай йўналишга эга?



7-12 РАСМ

11. 600 та ўрамли, узунлиги 20 см ва диаметри 2.5 см бўлган соленоид бор. 14 ўрамли ҳалқа соленоид марказида зич жойлаштирилган. Соленоид ток кучи 0.60 с ичида 0 дан 5.0 А гача кўтарилганда, ушбу вақт оралиғида қисқа ҳалқада юзага келувчи ЭЮК нимага тенг?

12. Машина Ернинг магнит майдонида ҳаракатланганда унинг узунлиги 55 см бўлган вертикал антеннасида ЭЮК юзага келади. Агар Ернинг магнит майдони (5.0×10^{-5} Т) ва унинг йўналиши шимолий нуқта билан 38° ни ташкил этса, антеннанинг максимал ЭЮКси нимага тенг ва ушбу максимал қиймат машина ҳаракатланиш йўналишига нисбатан қандай йўналишга эга? Машинанинг горизонтал йўналишдаги тезлиги 30.0 м/с га тенг.
13. 7-6 а расмда кўрсатилган стерженни ўнгга итезлик билан силжитиш учун стерженга ўнг томонга йўналган ташқи куч қўйиш керак. (а) Кучнинг талаб қилинишини тушунтиринг ва унинг катталигини аниқланг? (б) стерженни силжитишда қанча ташқи қувват сарфланади? (бу кучни 7-6б расмда электронни юқорига кўтарувчи куч билан адаштирманг).
14. 7-6 расмдаги ҳаракатланувчи стрежень 0.25 Ом қаршиликка эга ва рельсда 20 см силжитилган. U симон доимий ўтказгич қаршилигини эътиборга олмаса ҳам бўлади. Стерженга 0.350 Н куч таъсир қилганда, u доимий 1.50 м/с тезлик билан ўнг томонга ҳаракатланади. Магнит майдонни аниқланг?
15. 7-6 расмдаги ҳаракатланувчи стрежень 1.6 м/с тезлик билан рельсда 20 см силжитилган. Бунда магнит майдон 0.35 Т, U симон доимий ўтказгич қаршилиги 21.0 Ом га тенг. (а) ЭЮК ни (б) U симон доимий ўтказгичда юзага келувчи ток кучини (в) стерженни тезлигини доимий ушлаб туриш учун керакли ташқи кучни ҳисобланг?
16. Диаметри 22.0 см бўлган ғалтак диаметри 2.6 мм бўлган 30 та ўрамли мис ўтказгичдан ташкил топган. Ғалтакнинг тексилигига нисбатан перпендикуляр бир жинсли магнит майдон 8.65 Т/с тартибда ўзгаради. (а) ғалтакнинг ток кучини ва (б) ғалқа ажравувчи иссиқлик энергиясини аниқланг?

МОДДАЛАРНИНГ МАГНИТ ХОССАЛАРИ.

Режа:

1. Магнит майдон энергияси.
2. Магнетиклар.
3. Диамагнетиклар, парамагнетиклар ва ферромагнетиклар.
4. Гистерезиси доменлар назарияси.
5. Магнит сингдирувчанлик

Магнит майдоннинг энергияси. Биламиз-ки магнит майдони электр токи билан узвий боғланган: ток пайдо бўлса, магнит майдони ҳам пайдо бўлади, ток йўқолса, магнит майдони ҳам йўқолади. Демак, ток энергиясининг бир қисми магнит майдонини ҳосил қилишга кетар экан. Бошқача айтилганда, магнит майдони уни ҳосил қилишга кетган электр энергиясига тенг энергияга эга бўлиши керак. Бундан шундай хулоса чиқариш мумкин-ки, агар магнит майдони йўқолса, унинг энергияси йўқолмайди, бу энергия ўзиндукция токининг энергиясига айланади.

Демак, электромагнит индукция ҳодисаси электр ва магнит энергияларининг бир-бирига айланиш жараёнига асосланган. Фараз қилайлик, бир контурда (индуктивлиги L) ток оқа

бошласин. Ток, нолдан максимал I қийматига кўтарилгунча, Φ магнит оқимини ҳосил қилади:

$$\Phi = LI \quad (8.1)$$

Ток кичик dI қийматга ўзгарса оқим ҳам кичик $d\Phi$ қийматга ўзгаради.

$$d\Phi = LdI$$

Лекин биламиз-ки магнит оқими $d\Phi$ га ўзгариши учун ток dA ишини бажариш керак.

$$dA = Id\Phi = LIdI$$

У ҳолда, ток 0 дан I гача ўзгарганда A ишини бажаради

$$A = \int_0^I LIdI = \frac{LI^2}{2} \quad (8.2)$$

Демак, контур билан боғлиқ магнит энергия баробар

$$a. \quad W = \frac{LI^2}{2} \quad (8.3)$$

1. Магнит майдон энергияси. Токнинг пайдо бўлиши, ўзгариши ва йўқолиши билан боғлиқ равишда магнит майдони пайдо бўлади, ўзгаради ва йўқолади.

Шундай қилиб, магнит майдони токнинг шу майдонни ҳосил қилган ишига тенг, яъни қандайдир энергия миқдорига эга деган ҳулосага келамиз.

Электромагнит индукция ҳодисаси электр токи энергияси ва магнит майдони энергиясининг ўзаро алмашиб туришига асосланган.

Индуктивлиги L бўлган бирор контурга ток улансин. Бу токнинг қиймати 0 дан I гача ўсиб, $\Phi = LI$ магнит оқими ҳосил қилсин. Токнинг кичик dI қийматга ўзгаришидан магнит оқим ҳам кичик $d\Phi$ қийматга ўзгаради, яъни:

$$d\Phi = LdI \quad (1)$$

Маълумки, магнит оқими $d\Phi$ га ўзгарса токни ўтказгич $dA = Id\Phi$ иш бажарар эди. Агар (1) ни ҳисобга олсак ток кучининг магнит оқимини $d\Phi$ га ўзгартириш учун бажарган иши қуйидагича бўлади:

$$dA = LIdI \quad (2)$$

У ҳолда магнит оқими Φ ни ҳосил қилиш учун сарфланган иш қуйидагича бўлади:

$$A = H_M = \int LIdI = \frac{LI^2}{2} \quad (14.3)$$

Бу ерда L -контурдаги индуктивлик, I -ток кучи.

2. Магнит майдони энергияси зичлиги. (3) ифодадан фойдаланиб, исталган шаклдаги ғалтакларнинг магнит майдон энергиясини ҳисоблаш мумкин.

Кўпчилик ҳолда электротехникада магнит майдони энергиясининг зичлиги деган миқдорий катталиқ билан иш кўрилади. У қуйидагича бўлади:

$$\omega_M = \frac{BH}{2} \quad (4) \quad \text{ёки} \quad \omega_M = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} \quad (4)$$

Демак магнит майдони энергия зичлиги муҳитнинг хоссасига ҳам боғлиқ экан. Маълумки, электр майдони энергия зичлиги қуйидагича эди:

$$\omega_E = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} \quad (5)$$

Агар фазода ҳам электр майдони, ҳам магнит майдони мавжуд бўлса, у ҳолда электромагнит майдон энергиясининг зичлиги қуйидагича ифодаланади:

$$\omega_{EM} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} \quad (6)$$

Электромагнит майдон назариясини Максвелл ишлаб чиқди. Бу назарияга биноан ўзгарувчан магнит майдони ўзгарувчан электр майдонини ҳосил қилади ва аксинча ўзгарувчан электр майдони ўзгарувчан магнит майдонини ҳосил қилади. Уларнинг куч чизикларини ўзаро перпендикуляр бўлган концентрик айланалар сифатида тасвирлаш мумкин (14.1-расм). Шундай қилиб ўзгармас электр ва ўзгармас магнит майдонлар электромагнит майдоннинг хусусий ҳоллари экан.

Биз конденсаторларни кўриб чиққанимизда кўрган эдик-ки, электр энергиясининг зичлиги

$\omega_e = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2}$; Аналогия сифатида айтиш мумкин-ки, магнит майдонининг зичлиги

$\omega_m = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2}$; Демак, фазода электр ва магнит майдонлари бир пайтда бўлса, у ҳолда

электромагнит энергиясининг зичлиги $\omega_{эм} = \frac{1}{2}(\varepsilon_0 \varepsilon E^2 + \mu_0 \mu H^2)$ бўлади.

Электромагнит энергия фазода тўлқин кўринишда тарқлади, тарқалиш тезлиги тенг:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon \mu_0 \mu}} \quad (8.4)$$

Бу формулага ε_0 ва μ_0 ларнинг қийматини қўйсак: $v = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{\varepsilon \mu}} \text{ м/с}$

Вакуум учун $\varepsilon = \mu = 1$ бўлгани учун электромагнит тўлқининг вакуумдаги тезлиги

$v = c = 300000 \text{ км/сек}$ га тенг бўлади.

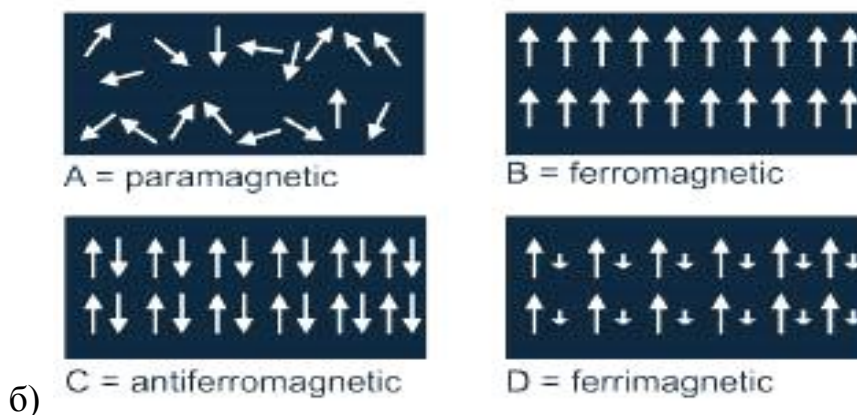
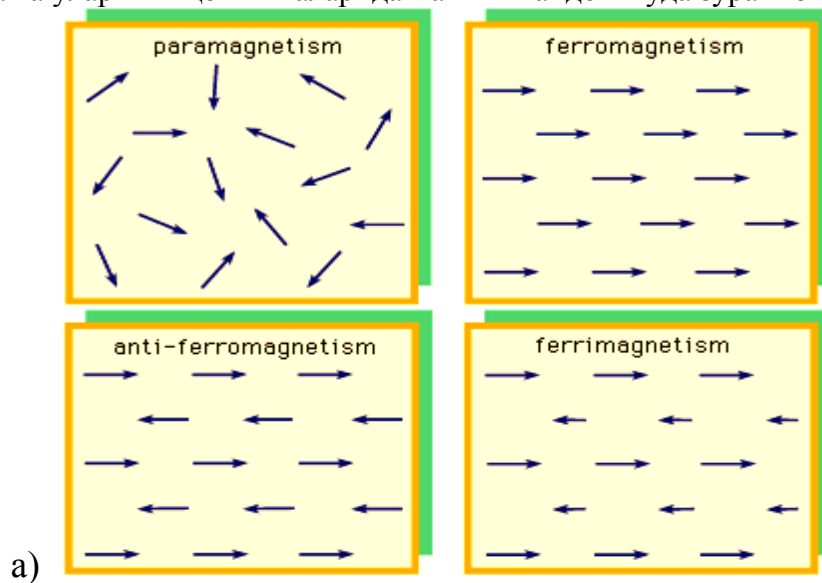
Магнетиклар. Тажриба ва назария шуни кўрсатади-ки агар жисмни ташқи магнит майдонига жойлаштирилса бу жисм магнит хоссаларига эга бўлиб қолар экан. Бунда баъзи жисмлар ташқи майдонни сусайтирар эканлар, бошқалари кучайтирар эканлар. Сусайтирдиганлари диамагнит, кучайтирадиганлари парамагнитлар деб аталади. Агар кучайтириши жуда катта бўлса, бундай жисмлар ферромагнетиклар деб аталади. Диа-пара ва ферромагнетизм сабаблари қандай.

Ҳар қандай атом ва молекулаларда ўз орбиталарида айланаётган электронларни айлана ёки орбитал ток деб қараш мумкин. Ҳар бир орбитал токнинг орбитал магнит моменти бўлади: $P_m = IS$, бу ерда $I = \frac{e}{T}$, e -электрон заряди, T -айланиш даври. Магнит момент вектор қийматига эга бўлиб, айланиш текислигига перпендикулярдир. Бундан ташқари электрон ўз ўқи атрофида айланиши билан боғлиқ бўлган спин магнит моментига эга. Спин моментига яна ядро ҳам эга бўлади. Электроннинг орбитал ва спин моментларининг ва ядронинг спин моментларининг геометрик йигиндиси атомнинг (молекуланинг) магнит моментини ҳосил қилади.

Диамагнетикларда $\chi < 0$ бўлади. Бу синфга оид бўлган моддалар (фосфор, олтингугурт, сурьма, углерод, симоб, олтин, кумуш, мис каби элементлар сув ва кўпчилик органик бирикмалар)да магнит майдон бир оз сусаяди ($\mu = 1 + \chi < 1$).

Парамагнетикларда $\chi > 0$ бўлади. Бу синфга кирувчи кислород, азот, алюминий, платина, вольфрам каби элементларда магнит майдон бир оз кучаяди. ($\mu = 1 + \chi > 1$)

Ферромагнетикларда $\chi \gg 0$ бўлади. Бу синфга кирувчи темир, никел, кобалът каби металлларда ва уларнинг қотишмаларида магнит майдон жуда зўрайиб кетади.



8.1-расм. Модданинг турли магнит хоссаларида диполар ҳосил қилган ички магнит майдонлари.

1. Диамагнетизм ва парамагнетизм.

Табиатда мавжуд ҳамма элементлар магнит хоссаларига эга. Юқорида моддаларнинг магнит хоссаларига кўра уч гуруҳи кўрсатилган. Шулардан $\mu < 0$ yoki $\chi < 0$ бўлган моддалар –диамагнетиклар деб юритилади.

Диамагнетиклар ва парамагнетиклар бир- биридан фарқини молесулар сатҳларида модда молекуласи диполе магнит момент бор ёки йўқлиги билан фарқ қилади. Парамагнетларнинг молекула (ёки ионлари) дипол магнит моментига эга экан⁴⁷. Ташқи магнит майдони молекулалар ихтиёрий жойлашади ва магнит таъсирлар мавжуд эмас. Агар модда ташқи магнит майдонига жойлаштирилса (масалан, соленоидда), бу майдон магнит диполларида айлантирувчи момент ҳосил қилади ва уларни майдон бўйича жойлаштиради. Тўла магнит майдон индуксияси (Ташқи магнит майдон индуксияси ва тартибли жойлашган магнит диполларининг йиғиндиси), B_0 ни биров кўчайтиради. Аммо молекулаларнинг иссиқлик ҳаракати магнит диполлари тартибини бузиб туради. Модданинг магнитланганлик вектори (модданинг магнит қабул қилувчанлиги) χ ни қулай кўринишдаги характеристикаси бирлик ҳажмдаги магнит диполи моменти билан аниқланади:

χ =Модданинг магнитланганлик вектори (модданинг магнит қабул қилувчанлиги)
 χ ни қулай кўринишдаги характеристикаси бирлик ҳажмдаги магнит диполи моменти билан аниқланади:

$$\chi = \frac{M}{V}, (8.5)$$

Бу ерда M - намунанинг магнит диполи момент, V -модда ҳажми. $\frac{M}{V}$, (2)

Бу ерда M - намунанинг магнит диполи момент, V -модда ҳажми.

Тажрибаларнинг тасдиқлашича модданинг магнитланганлик вектори χ ташқи магнит майдонига тўғри пропорционал (диполларни тартибга солувчи майдон индукцияси) ва абсолют ҳарорат T га тесқари пропорционал (диполар жойлашувини ихтиёрий бўлишини характерловчи катталиқ). Бу боғланишни биринчи бўлиб аниқлаган Пьер Кюри (1859-1906) шарафига Кюри қонуни дейилади:

$$\chi = C \frac{B}{T}, (8.6)$$

Бу ерда C -Кюри доимийси. B/T нинг катта қийматларида Кюри қонуни бажарилмайди (яъни B нинг жуда катта қийматларида ёки T нинг жуда кичик қийматларида. B нинг қиймати ошиб борса (ёки T нинг қиймати камайиб борса, бирор нуқтада магнитланганлик қиймати χ ўқининг максимал қийматига эришади ва бу қиймат ўзгармайди.

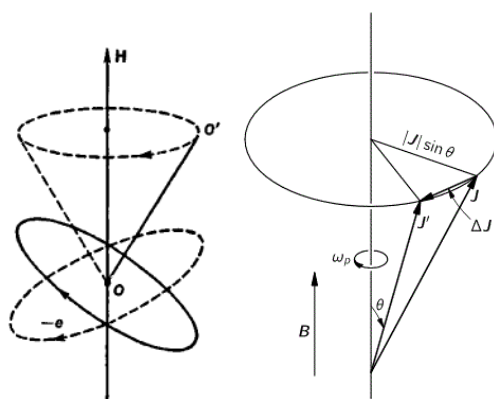
⁴⁷ Ba'zan tabiatda boshqa turdagi paramagnetlar, ya'ni ko'p miqdorda elektronlari mavjud bo'lganlari ham uchrab turadi.

Диамagnetиклар доимий магнит диполи моментларига эга бўлмаган моддалардир. Ташқи магнит майдон таъсирида ҳосил бўлган магнит диполи момент ташқи майдонга қарама-қарши таъсир кўрсатади. Шунинг учун модда ичида магнит майдони ташқи магнит майдонига қараганда анча кучсизроқ. Диамagnetизмнинг ҳамма моддаларга хос, аммо парамагнетиклар ва ферромагнетикларда парамагнет ва ферромагнит таъсирлар (эффeктлар) билан кучли ниқобланган. Ҳар қандай модданинг температурасини пасайтириб диамagnetикка айлантириш мумкин [2].

Ташқи магнит майдон таъсири остида атомнинг электрон орбиталари айланма токка эквивалент бўлувчи претсессин ҳаракат содир қилади. Чунки индуксия вектори орбита текислигига нисбатан пастга ёки юқорига йўналишидан қатъий назар, электроннинг орбитал ҳаракатида $F = m_e \omega_0^2 r$ билан аниқланадиган частота ўзгариши содир бўлади. Агар электроннинг орбитал магнит момент вектори \vec{P}_m ташқи магнит майдон индуксия вектори \vec{B} билан α бурчак ҳосил қилса, орбита бўйлаб ҳаракат қилаётган электронга қиймати $M = P_m B \sin \alpha$ бўлган айлантирувчи момент таъсир этади. Натижада \vec{P}_m векторнинг \vec{B} атрофида протсессиион ҳаракати вужудга келади. Бу ҳаракатнинг бурчак тезлиги Лармор частотаси дейилади.

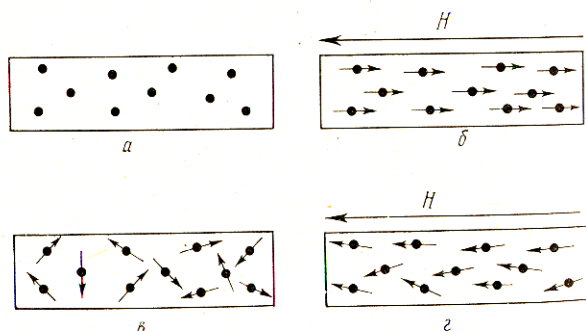
$$\omega_L = \frac{eB}{2m_e} = \frac{e\mu_0 H}{2m_e} \quad (8.7)$$

Демак, электроннинг магнит моменти фазода қандай жойлашишидан қатъий назар, ташқи магнит майдон таъсирида электроннинг орбитал магнит моменти ядро марказидан ўтган ўққа нисбатан ω_L -доиравий частота билан протсессиион ҳаракат қилади. Бу хулоса Лармор теоремаси деб аталади.



8.2-расм. Ташқи магнит майдон таъсирида электроннинг орбитал магнит моменти ядро марказидан ўтган ўққа нисбатан ҳаракати.

Электроннинг ҳаракати туфайли ҳосил бўлувчи микро ток ташқи магнит майдонининг таъсирида индуксиялангани сабабли, Лентс қондасига биноан амалда ташқи майдонга қарама-қарши йўналадиган майдон пайдо бўлади. Шу тариқа орбита бўйлаб ҳаракат қилаётган электрон ташқи магнит майдон таъсирида \vec{B} векторга тескари йўналган қўшимча магнит моментини вужудга келтиради (8.3-расм).



8.3-расм. Моддалардаги диамагнетик эффест, яъни элестрон ташқи магнит майдон таъсирида \vec{B} векторга тескари йўналган қўшимча магнит моменти вужудга келтириши.

Бу ходиса диамагнит эффект деб аталади. Диамагнит эффект атомларининг магнит моментлари 0 га тенг бўлган моддаларда намоён бўлади. Ташқи магнит майдони бўлмаган тақдирда бундай моддалар атомлари таркибидаги электронларнинг магнит моментлари ўзаро бир-бирини компенсациялайди. Бундай моддаларнинг қабул қилувчанлиги манфий бўлади. Уларни диамагнетиклар деб айтилади. Энг кучли диамагнетик ҳисобланган висмут учун $\chi = 1,4 \cdot 10^{-6}$ га тенг.

Ташқи майдон бўлмаган тақдирда модда атомларининг магнит моменти 0 дан фарқли бўлса, магнит майдон бундай модда атомларининг магнит моментларини майдон бўйлаб йўналтиришга ҳаракат қилади. Натижада ташқи магнит майдони кучаяди. Бу ҳодисани парамагнит эффект унга мос келувчи моддаларни эса парамагнетиклар деб аталади.

- Диамагнетизм барча жисмларга бирдай тааллуқли хусусият ҳисобланади, чунки у ташқи магнит майдонининг модда атом ва молекулалардаги электрон орбиталашга таъсирини намоён қилади.

- Орбиталардаги электрон ҳаракат тезлигининг ўзгариши оқибатида ташқи майдонга тескари йўналиб, уни сусайтирадиган қўшимча магнит майдони ҳосил бўлади (Лентс қонуни). Шундай қилиб, ҳар қандай модда унинг ичига магнит майдони кириб келишига тўсқинлик қилади.

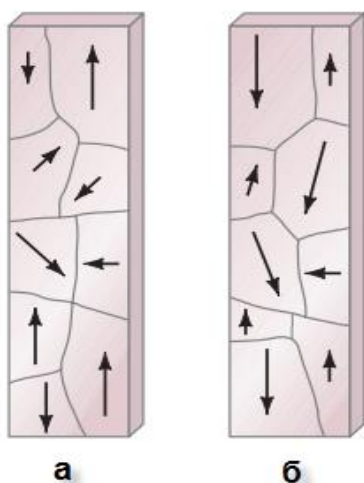
- Диамагнит эффект орбиталар жойлашувининг тартибланиши билан боғлиқ эмас. Шунинг учун даимагнит қабул қилувчанлик χ температурага фарқсиз.

- Модданинг атом ва молекулалари хусусий магнит моментига эга бўлмаган тақдирдагина у диамагнит бўла олади. Бу ҳолда модданинг унга таъсир қилувчи ташқи магнит майдонига кўрсатадиган бирдан-бир реактсияси фақат диамагнит эффектдан иборат бўлади.

Ферромагнетизм: Доменлар ва Гистерезиз

Биз темирдан (ва бирнеча бошқа материаллар) кучли магнитлар тайёрлана олинишини ўтган дарсларда да кўрдик. Бу материаллар ферромагнетикдеб айтилади.

Ферромагнетизмнинг манбалари

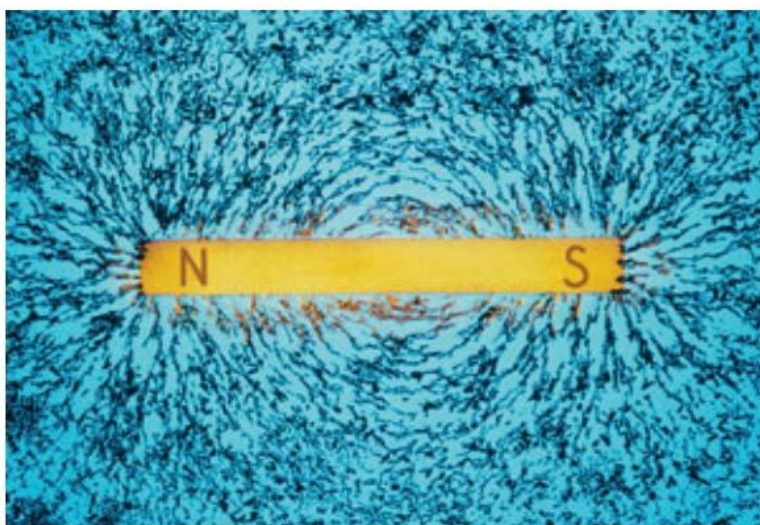


8-4 расм (а) темирнинг магнитланмаган парчаси тасодифий жойлашган доменлардан ташкил топган. Ҳар бир домен кичик магнит ҳисобланади; векторлар магнитланиш йўналишини кўрсатади, яни вектор учи N кутб бўлади. (б) магнитда доменлар бир йўналишда тартибланган (бу ҳолатда пастга йўналган) ва магнитланиш жараёни бўйича ўлчамда ўзгара олади.

Микроскопик кузатувлар шуни кўрсатадики, темир парчаси узунлиги ёки кенглиги 1 ммдан кам бўлган доменлар кичик муҳитда тайёрланади. Ҳар бир домен шимолий ва жанубий кутби билан кичик магнит ҳаракатига эга. Магнитланмаган темир парчасида, доменлари тасодифий жойлашган бўлади, 8-4а расм.

Доменларнинг магнит эффектлари ҳар бири тартибсиз жойлашади, шунинг учун бу темир парчаси магнит эмас. Магнитда доменлар 5-4б расмда кўрсатилгандек (пастга йўналган бу ҳолатда) бир йўналишда йўналган бўлади. Магнит магнитланмаган темир парчасидан кучли магнит майдонда жойлаштириш орқали тайёрланади. (Сиз игна магнетик тайёрлай оласиз, масалан, кучли магнитнинг бир кутби теккизиш орқали). Доменларнинг магнитланиш йўналиши ташқи майдонга деярли параллел бўлиб секин бурилади ва доменларнинг чегаралари кўча олади, шунинг учун ташқи майдонга параллел йўналган магнетик билан доменлар каттароқ ўсади (5-4а ва б ларни солиштиринг).

Биз нозир қандай қилиб магнит магнитланмаган темир парчаларини ҳудди қоғоз қисқичдек йиға олишини тушинтира оламиз. Магнитнинг майдони магнитланмаган объектдаги доменларнинг кам бошқа ҳолатда қўйилишига сабаб бўлади, шунинг учун у доимий магнит жанубий кутби унинг шимолий кутби юзлаштириш билан вақтинчалик магнит бўлади; бинобарин, таъсир натижалари. Шунга ўхшаш, магнит майдонда чўзилган темир парчалари магнит майдон шаклига мос тартибли доменлар ва ўзлари тартибланишга эришади, 8-5 расм.



8-5 расм. Доимий майдон атрофида магнит майдон чизиқлари

Темир магнит узоқ вақт магнитланган ҳолатда сақланади ва “доимий магнит” деб айтилади. Лекин, агар сиз магнитни полга ташлаб юборсангиз ёки уни болға билан урсангиз, сиз доменларни тартиблантирасиз ва магнит магнетизмнинг ҳаммасини ёки бир қисмини йўқотади. Доимий магнитни қиздириш магнетизмнинг йўқолишига сабаб бўлади, температура ошгани учун тартибсизланишга интилган домен атомларнинг тасодифий иссиқлик ҳаракати ошади. Юқорида такидланган температура Кюуре температураси (темир учун 1046 K) дейилади, бу ҳолатда магнит тайёрлана олинмайди.

Магнит бўлаги ва электр ток ҳалқаси орқали ҳосил бўлган майдонлар орасидаги ўхшашлик шундай ҳулосага олиб келадики, эҳтимол эллектр токи орқали ҳосил бўлган магнит майдонлар ферромагнетизм билан қилинилади. Замонавий атом назариясига кўра, атомлар марказий нуклионлар атрофидаги электронлар деярли визуал бўлади. Электронлар зарядланган, шунинг учун электр ток вужудга келади ва магнит майдон ҳосил бўлади. Лекин, майдонлар орбитал электронлар охирига ҳеч нарса қўшилмаслигига сабаб бўлади. Электронларнинг ўзлари қўшимча магнит майдон ҳосил қилади, агар улар ва уларнинг электр заряди уларнинг хусусий йўналишларида айланаса. Бу магнит майдон электрон спини туфайлидир, яни у асосий ферромагнетик материалларда ферромагнетизм ҳосил қилиш саналади.

Бугунги кунда, барча магнит майдонлар электр токи орқали ҳосил қилинади. Бу магнит майдон чизиқлари ҳамма вақт электр майдонга ўхшамаган ва ҳалқага яқин бўлади, яни мусбат заряддан бошланиб, манфий зарядда тугайди.

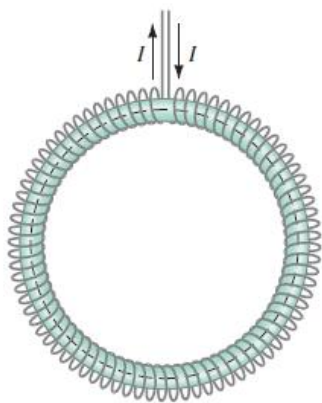
Магнит сингдирувчанлик

Агар темирга ўхшаш ферромагнетик материал парчаси электромагнитланган соленоид ичига жойлаштирилса, магнит майдон соленоид ичидаги ток орқали 100 ёки 1000 марта ошади. Бунинг сабаби, темир ичидаги доменлар соленоид ғалтак ток туфайли ҳосил бўлган ташқи майдон орқали тартибланган бўлади.

Умумий \vec{B} магнит майдони, икки атамани йигиндисига тенг,

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_M.$$

B_0 бу соленоид ғалтакдаги ток майдони, B_M эса темир сабабли қўшимча майдон. Одатда $B_M \gg B_0$ тенглик булади. Умумий майдонни, 20-8 тенгламадаги (соленоидлар учун $B = \mu_0 NI/\ell$) константа μ_0 ни бошқа, ғалтакни ичидаги материални хусусияти бўлмиш, магнит ўтказувчанлиги номли константа μ билан алмаштириб ҳам ёзишимиз мумкин.

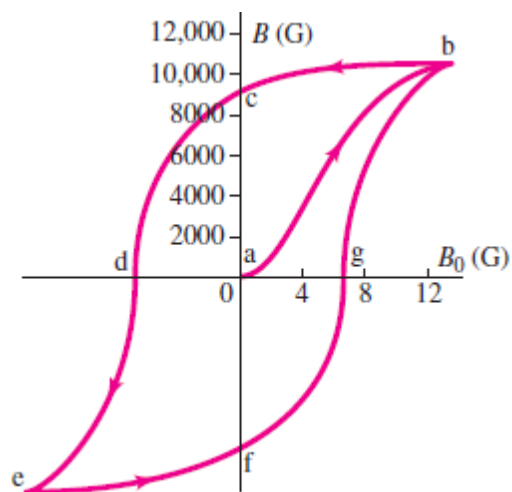
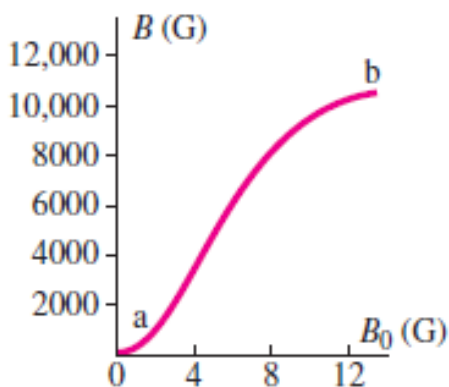


Расм 5-6. Темир ўзакли тароид

Шундан сунг $B = \mu NI / \ell$ тенглик чиқади. Ферромагнетик материаллар учун μ анча катта бўлади μ_0 га қараганда. Бошқа ҳамма материаллар учун, μ қиймати μ_0 қийматига жуда яқин бўлади. Аммо ферромагнетик материаллар учун μ қиймати доимий эмас, куйидаги тажрибада берилганидек μ ташқи майдон кучига боғлиқ.

Гистерезис

Магнит материаллар ўлчовида кўпинча торус еки тороиддан фойдаланилади, қайсики худди узун тешик кулча кўринишга келган соленоид шаклида бўлади, (5-6 расм), шунинг учун деярли \vec{B} нинг барча чизиклари тороид ичида бўлади. Бошланишида магнитланмаган, темир ўзакка эга бўлган ва сим ҳалқасида ток бўлмаган тороидни тасаввур қилинг. Кейин I токи секин ўсишни бошлайди, ва B_0 (факатгина I га боғлиқ) I билан чизикли ўсиб боради. Умумий B майдон ҳам ўсади, лекин B ва B_0 умумий графиги 8-7 расмда тасвирлаган эгри чизикқа эргашади. Дастлаб, а нуктасида, майдон тасодикий йуналган бўлади. B_0 ўсиб боргани сари, b нуктага етиб боргунча майдон яна ва яна текисланиб бораверади, деярли ҳаммаси текисланади. Темир туйинишга қараб борилади деб ҳам айтилади.



Расм 8-7. Темир ўзакли тароидга умумий $B_{\text{ташки}}$ B_0 майдон функциясидек бўлади (B_0 ғалтадаги I токига сабаб бўлади). Биз гауссни ($1\text{G}=10^{-4}$ Тл) оламиз.

Расм 8-8. Гистрезис эгри чизиги

Кейинги холатда ғалтакдаги токни камайди деб тасаввур қилайлик, B_0 майдон ҳам камаяди.

Агар ток (ва B_0) нолгача тушса, 5-8 расмдаги с нукта, майдонлар бутунлай тасодифий бўлмайди. Бунинг ўрнига баъзи доимий магнитланиш темир ўзагида қолади. Агар ток тескари йуналишга ўсса, етарлича майдонлар оркага қайрилиб, d нуктада, умумий B нолга тенг бўлиб қолади. Тескари ток ўсиб боргани сари, қарама қарши йуналишда, e нуктада, темир туйиниб боради.

Охир оқибат ток яна нол нуктага тушса (f нуктада), ва кейин асл йуналишида ошса, умумий майдон efgb нукталари йулини босиб ўтади, ва яна b нуктада туйинишга яқинлашади.

Ушбу циклда майдон бошланғич (a нукта) нуктадан ўтмаганлигига аҳамият беринг. Эгри чизикни босган йулини яна кайтиб босмаслиги гистерезис деб аталади. bcdefgb эгри чизиги гистерезис халкаси дейилади. Шундай даврда, майдонларнинг кайта текисланишига кетган энергия иссиқлик (ишқаланиш) энергиясига айланади. с ва f нукталарда темир ўзаги магнитланган бўлади гарчи ғалтакларда ҳеч қандай ток бўлмасада. Бундай нукталар доимий магнит нуктасига тегишли бўлади.

1. Ҳар бир ферромагнетик Кюури нуктаси T_k деб аталувчи аниқ бир температурада ўзининг ферромагнетиклик хусусиятларини йўқотади. Бунда у оддий парамагнитга айланади. Магнит қабул қилувчанлик μ нинг абсолют температурага боғлиқлигини Кюури-Вейс қонуни ифодалайди:

$$\chi = \frac{C}{T - T_k}$$

бунда C -доимий миқдор (айни шу берилган модда учун).

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Магнит оқими, магнит майдон энергияси, энергия зичлиги, токли ўтказгич, модда, муҳит, диамагнит, майдон, парамагнит, ферромагнит, микроток, конвекцион тоқлар, магнитланиш, магнитланиш вектори, магнит қабул қилувчанлик, магнит индукцияси, магнит доимийси.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Магнит майдон энергияси қандай аниқланади.
2. Магнит майдон индукцияси ва кучлаганлик ўзаро қандай боғланган.
3. Микротоклар қандай ток.
4. Магнитланувчи вектор қандай аниқланади.
5. Магнит қабул қилувчанликнинг мазмунини тушунтиринг.
6. Магнит сингдирувчанликнинг физик маъносини тушунтиринг.
7. Магнит майдонига қўйилган модданинг электрони магнит майдонида қандай таъсирланади.
8. Диамагнит эффект қандай эффект.
9. Парамагнит эффект қандай ҳодиса.
10. Диамагнит жисмларнинг парамагнит жисмлардан асосий фарқи нимада.

- 11.Компас стрелкаси Ер сатхи буйлаб хар доим хам баланс холда параллел эмас, бир учи пастга огиб туриши мумкин. Тушунтиринг.
- 12.Такасмон магнит шимол кутби чапга ва жануб кутби уннга караган холда вертикал турибти. Сим кутблар орасидан утмокда, тенг масофада, сиздан тугридан тугри кочган холатда. Симдаги куч каекка йуналган булади? Тушунтиринг.
- 13.Магнит алюмин ёки мисдан қилинган метал жисмни ўзига тортадими? Уриниб куринг. Нима учун шундай?
- 14.Икки темир устун учлари қандай бир бирига якин жойлашганидан катъий назар тортишяпти. Иккалари хам магнитми? Тушунтиринг.
- 15.Уйингиздаги симлардаги ток сабаб магнит майдон компасга таъсир этиши мумкин. Таъсирни тоқлар орқали тушунтиринг, агар улар ўзгарувчан ёки ўзгармас ток бўлса.
- 16.Агар манфий зарядланган заррача доимий магнит майдонига кирса ва магнит майдон заррача тезлигига перпендикуляр бўлса, заррачанинг кинетик энергияси ошадими, камаядими еки ўзгармас бўладими? Жавобингизни тушунтиринг.
- 17 Фараз қилинг сизда учта темир таёкчалари мавжуд, иккитаси магнитлашган ва биттаси магнитлашмаган. Сиз қандай қилиб бошқа қушимча асбобларни ишлатмасдан иккитаси магнитлигини аниқлайсиз?

МАЗЗУГА ОИД АМАЛИЙ ТОПШИРИҚЛАР

Намунавий масала (а) Узунлиги ℓ , кесишган юзаси A ва N та микдорда булган сим (еки халка) га эга булган узун, махкам уралган уз-индуктивлиги L булган соленоид халканинг формуласини тузинг.

(б) Агар $N = 100$, $\ell = 5.0 \text{ cm}$, $A = 0.30 \text{ cm}^2$ ва соленоид хава билан тулган булса L ни кийматини хисобланг.

Ендашув:

Галтакда хосил булган ЭЮК, Фарадей конуни ($\mathcal{E} = -N \Delta\Phi_B / \Delta t$) еки уз индуктивлик ($\mathcal{E} = -L \Delta I / \Delta t$) дан хисоблаб топишимиз мумкин. Агар биз бу икки тенгламани тенлаштирсак, L индуктивликни топишимиз мумкин, чунки 20-8 тенгламани ишлатиб биз соленоид учун Φ_B окимни хисоблаб топишни биламиз ($B = \mu_0 IN / \ell$).

Ечим:

(а) биз индуктивлик учун Фарадей конунини (21-2б тенглама) ва 21-9 тенгламани индуктивлик учун тенглаштирамиз:

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

ва L учун:

$$L = N \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta I}$$

21-1 тенгламадан биз $\Phi_B = BA$ тенглигини биламиз ва 20-8 тенглама бизга соленоид учун магнетик майдонни B ни беради, $B = \mu_0 NI / \ell$, шунинг учун соленоид ичидаги магнетик оким :

$$\Phi_B = \frac{\mu_0 N I A}{\ell}.$$

га тенг.

Ток ΔI даги хар кандай узгариш, окимдаги узгаришга хам сабаб булади

$$\Delta \Phi_B = \frac{\mu_0 N \Delta I A}{\ell}.$$

Биз буни юкорида келтирилган L тенгламаси учун куямиз:

$$L = N \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta I} = \frac{\mu_0 N^2 A}{\ell}.$$

(b) $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$, шу тенгламани ишлатиб, кийматларни куйсак

$$L = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A})(100)^2(3.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2)}{(5.0 \times 10^{-2} \text{ m})} = 7.5 \mu\text{H}.$$

натижага эга буламиз.

1. 0.90-Т доимий магнит майдонга перпендикуляр бўлган 6.40-А ток ташувчи симга таъсир қиладиган куч/метр нимага тенг? (b) Агар майдон ва симнинг орасидаги бурчак 35° булсачи?
2. 80м узунликдаги симдан қанча ток оқиб ўтади, агар 0.0800-Т доимий майдонга 0.625N максимум куч таъсир қилса?
3. 240м узунликдаги сим икки минора бўйлаб тортибқўйилди ва 120А ток ўтказилди. Кучнинг симга бўлган қийматини аниқланг, агар Ернинг магнит майдони $5.0 \times 10^{-5} \text{ T}$ бўлса ва сим билан 68° бурчак ҳосил қилса.
4. Узунлиги 2.6м бўлган горизонтал сим 4.5-А токни жанубга ташийди. Ернинг магнит майдони ва сим орасидаги оғиш бурчаги 41° тенг. Симга таъсир қиладиган магнит кучининг қийматини аниқланг, агар Ер магнит майдони $5.5 \times 10^{-5} \text{ T}$ бўлса.
5. Магнит кучининг сим метрига нисбатан қиймати максимум мумкин бўлган қийматининг 45% ташкил қиладиган. Сим ва магнит майдон орасининг бурчаги нимага тенг?
6. 45 А ток ташиётган симга таъсир қиладиган 1.28 N куч ўз қийматига магнитнинг қутблари орасида эришиди. Агар қутблар диаметри 55.5 см бўлса, тахминий магнит майдон кучи нимага тенг?
7. Симга таъсир қиладиган $8.50 \times 10^{-2} \text{ N}$ куч ўз қийматига магнитнинг қутблари орасида эришиди. Ток ўнг томонга горизонтал оқади ва магнит майдони вертикал. Ток бекилган пайтда, томошабин йуналиши бўйлаб сим худди сакрагандек бўлди.
8. (a) Юқори қутб қандай магнит қутб турига киради? (b) Агар қутблар диаметри 10см бўлса, симдаги токнинг қийматини аниқланг, майдон 0.220Т га тенг. (c) Агар сим горизонт билан 10° ташкил қилса, қандай кучни хис қиладиган? (Ёрдам: энди майдонда сим узунлиги қанча бўлди?)
9. Тасаввур қилинг, 1мм диаметрлик мис сими Ернинг магнит майдон B (горизонтал, симга перпендикуляр, $5.0 \times 10^{-5} \text{ T}$) ёрдамидаги кучи таъсирида хавода горизонтал йуналишда сузиб юрибди. Сим қанчака ўлчамда ток ташийди? Жавоб реал кўринишга эгами? Тўлиқ тушунтиринг.

11. Массаси $6,6 \times 10^{-27}$ кг бўлган гелий иони ($Q = +2e$) 3700 В кучланишда тезлатилган. (а) Унинг тезлиги нимага тенг? (б) 0,340 Т бўлган магнит майдонда ҳаракатланиш радиусини топинг. (в) Унинг айланишлар даври нимага тенг?

12. В магнит майдонида айлана бўйлаб ҳаракатланаётган массаси m ва заряди q бўлган заррача учун, (а) кинетик энергияси айлана радиусининг квадрати r^2 га пропорционал эканлигини кўрсатинг. (б) айлана марказига нисбатан айланма моменти $L = qBr^2$ эканлигини кўрсатинг.

13. Кинетик энергияси 1,5 МэВ бўлган протон 0,30 Тл майдонга перпендикуляр равишда киради. Унинг траекториясининг радиуси нимага тенг?

14. Магнит майдон ичида шимолга томон $2,8 \times 10^6$ м/с тезлик билан ҳаракатланаётганда электронга максимал куч таъсир қилади. Куч вертикал юқорига йўналган бўлиб, қиймати $6,2 \times 10^{-13}$ Н га тенг. Магнит майдоннинг йўналиши ва қиймати нимага тенг?

Мустақил ечиш учун масалалар:

1. 500 та ўрами бўлган соленоидда магнит оқими 5 мс да 7 дан 9 мВб гача текис камайди. Соленоиддаги индукция эЮК ни топинг. (400 В).
2. Индуктивлиги 0,4 Гн ва кўндаланг кесими юзи 10 см^2 бўлиб, 0,5 А ток ўтиб турган соленоидда 100 та ўрам бўлса, соленоид ичидаги магнит майдон индукцияси қанча? Майдонни бир жинсли деб ҳисобланг. (2 мТл).
3. Индуктивлиги 0,6 Гн бўлган ғалтакда ток кучи 20 А га тенг. Бу ғалтак магнит майдонининг энергияси қандай? Агар ток кучи 2 марта камайса, майдоннинг энергияси қандай ўзгаради? (120 Ж, 4).
4. Майдоннинг энергияси 1 Ж га тенг бўлиши учун индуктивлиги 0,5 Гн бўлган дроссел чулғамидаги ток кучи қанча бўлиши лозим? (2 А).
5. 2000 ўрамли соленоидда 120 В индукция эЮК уйғотадиган магнит оқимининг ўзгариш тезлигини топинг. (60 мВб).

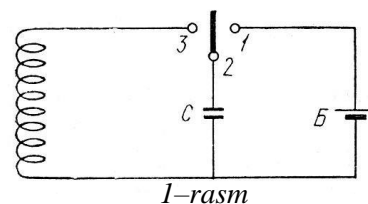
ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЕБРАНИШЛАР

Режа:

1. Тебраниш контури. Томсон формуласи.
2. Мажбурий электр тебраниш тенгламаси.
3. КУчланиш резонанс. Ток резонанси
4. Ўзгарувчан ток.
5. Ўзгарувчан ток занжирида актив, сиғим ва индуктив қаршиликлар.
6. Ўзгарувчан ток қуввати. Қувват коэффициенти

Электромагнит тебранишларни кўзатиш учун шундай қурилмадан фойдаланиш лозимки, бунда электр майдон энергияси магнит майдон энергиясига ва аксинча, магнит майдон энергияси электр майдон энергиясига айланиш имконига эга бўлсин. Электр майдонни конденсатор қопламалари орасида, магнит майдонни эса соленоид ёрдамида вужудга келтириш қўлай. Шунинг учун қурилмани электр сиғими C бўлган конденсатор ва индуктивлиги L бўлган соленоиддан иборат занжир сифатида тўзиш мақсадга мувофиқдир. Бундай занжирни *тебраниш контури* деб аталади.

Электромагнит тебранишлар содир бўлишини актив қаршилиги R нолга тенг бўлган идеал тебраниш контурида текширайлик. 1-расмда тасвирланган занжирдаги 1 ва 2 клеммаларни улаб конденсаторни батарея B дан зарядлаймиз. Конденсатор қопламаларида q_m заряд туплангач (бунда конденсатордаги кучланишнинг қиймати U_m га етади), калит ричагини чап томонга буриш юли билан 1 ва 2 клеммалар орасидаги контактни ўзиб (бунда конденсатор батареядан ажратилади) 2 ва 3 клеммалар орасида электр контакт хосил қиламиз. Натижада конденсатор соленоид галтаги орқали разрядлана бошлайди 2а-расмда конденсаторнинг разрядланиши бошланаётган момент тасвирланган. Бу моментда конденсатор қопламалари орасида электр майдон мавжуд ва унинг энергияси ўзининг максимал қийматига эга, яъни



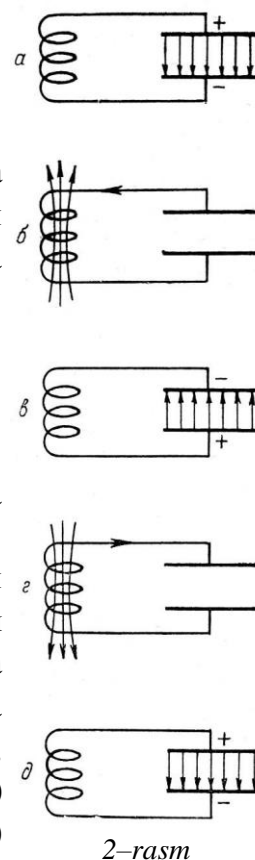
$$W_e = \frac{q_m^2}{2C}. \quad (1)$$

Соленоид галтаги ичида эса айни моментда магнит майдон вужудга келганича йўқ, чунки 2 ва 3 клеммалар эндиgina уланди. Шунинг учун бу моментда контурдаги энергия запаси электр майдон энергиясидан иборат бўлади. Конденсатор разрядланиши туфайли галтадан электр ток ута бошлайди. Натижада галтак ичида ва унинг атрофида ушиб боровчи магнит майдон вужудга кела бошлайди. Магнит майдоннинг ўсиши конденсатор тўлиқ разрядлангўнга қадар давом этиб, галтакда ўзиндуксия электр юритувчи кучини вужудга келишига сабабчи бўлади. Ўзиндуксия электр юритувчи кучи галтак орқали оқаётган токнинг ўсишига қаршилик кўрсатади, лекин уни тухтата олмайди. Конденсатор тўлиқ разрядланган моментда (яъни конденсатор қопламалари орасидаги электр майдон

бутунлай йўқолганда) ток кучи ўзининг максимал қиймати ($I_m = \partial q_m / \partial t$) га эришади. Бу моментда (2б–расмга қаранг) контурдаги энергия запаси фақат галтакнинг магнит майдон энергияси сифатида намоён бўлади ва унинг қиймати

$$W_m = \frac{LI_m^2}{2} \quad (2)$$

га тенг бўлади. Шундан сўнг магнит майдон сусая бошлайди. Бу эса галтакда ўзиндуксия электр юритувчи кучини вужудга келтиради. Индуксион ток, Лентс қондасига асосан, магнит майдон камаювини тулдиришга ҳаракат қилади, яъни ўзиндуксия ЭЮК нинг юналиши галтакдаги токнинг аввалги юналиши билан бир хил бўлади. Натижада конденсаторнинг қайта зарядланиши содир бўлади. Демак, бу моментда магнит майдон энергияси электр майдон энергиясига айланиб бўлади, лекин бу ҳолда электр майдоннинг юналиши (2в–расмга қаранг) бошланғич ҳолатдаги электр майдон (2а–расмда тасвирланган) юналишига тескари бўлади.



Кейин яна конденсаторнинг разрядланиши ва контурда тескари юналишда электр токнинг оқиши кузатилади. Бу ток галтакдан утиб унинг ичида магнит майдон ҳосил қилади. Магнит майдоннинг юналиши бу ҳолда (2г–расмга қаранг) олдинги ҳолдагига қарама-қаршидир.

Шундан кейин магнит майдон энергияси ҳисобига ўзиндуксия токи вужудга келади ва конденсатор копланлари орасида бошланғич юналишдаги электр майдон (2д–расмга қаранг) ҳосил бўлади.

Шу тариқа контурда битта тўлиқ тебраниш тугалланди. Кейинги протсесслар ҳам шу тахлитда яна такрорланаверади.

Гармоник тебранишлар тенгламаси

Тебранишлар вақтида идеал контурда (яъни актив қаршилиги $R=0$ бўлган, Кўпинча, Томсон контури деб аталадиган контурда) электр ёки магнит майдон энергияларини бошқа тур энергияларига айланиши содир бўлмайди. Тебранишлар содир бўлаётган вақтда контурга ташқи кучланиш берилмаганлиги учун конденсатордаги кучланиш тушиши $U_c = q/C$ ва галтакдаги кучланиш тушиши $U_L = L \frac{d^2q}{dt^2}$ нинг йиғиндиси нолга тенг бўлиши лозим, яъни:

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{q}{C} = 0. \quad (3)$$

Бу ифодани L га бўлсак ва

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (4)$$

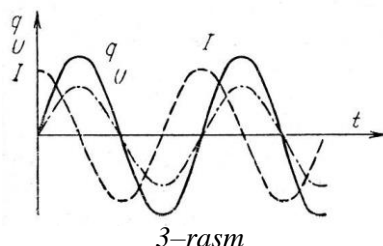
белгилаш киритсак, (3) муносабат куйидаги кўринишга келади:

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \omega_0^2 q = 0. \quad (5)$$

Бу тенгламанинг ечими

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (6)$$

кўринишдаги функция бўлади. Бу тенгламадан кўринишича, *конденсатор қопламаларидаги заряд миқдори гармоник қонун бўйича ўзгаради* (.3–расмда тугаш эгри



ЧИЗИҚ билан тасвирланган). Конденсатордаги кучланиш эса

$$U = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi). \quad (7)$$

ифода билан аниқланиб, у қопламалардаги заряд миқдorigа монанд равишда ўзгаради.

Занжирдаги ток кучи ҳам гармоник қонун бўйича ўзгаради:

$$I = I_m \cos(\omega_0 t + \varphi + \pi/2). \quad (8)$$

Демак, ток кучи заряд ва кучланишдан фаза бўйича $\pi/2$ га фарқ қилади.

Юқоридаги ифодалардан кўриниб турибдики, контурда заряд, кучланиш ва ток кучининг ўзгариши ω_0 частота билан содир бўлади. Бу частотани *контурнинг хусусий частотаси* деб аталади, унинг қиймати (.4) ифода билан аниқланади. *Тебраниш даври* учун куйидаги формула уринлидир:

$$T = 2\pi/\omega_0 = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (9)$$

Бу тенглама *Томсон формуласи* деб юритилади.

Сўнувчи электромагнит тебранишлар

Хар қандай реал тебраниш контури актив қаршиликка эга бўлади. Шунинг учун реал контурда конденсаторнинг разрядланиш протсессиди электр майдон энергиясининг фақат бир қисми магнит майдон энергиясига айланади, колган қисми эса актив қаршиликда жоуль иссиқлиги сифатида ажралиб чиқади. худди шунингдек, конденсаторнинг кайта зарядланишида магнит майдон энергиясининг бир қисми электр майдон энергиясига айланади, колган қисми актив қаршиликда иссиқлик энергиясига

айланади. Демак, реал контурдаги эркин тебранишлар Сўнувчи бўлади. Сўнувчи тебранишлар тенгламасини ҳосил қилиш учун сиғимдаги кучланиш тушиши $U_c=q/C$ галтакдаги кучланиш тушиши $U_L=L\frac{d^2q}{dt^2}$ ва актив қаршиликдаги кучланиш тушиши $U_R=R\partial q/\partial t$ нинг йиғиндисини нолга тенглаштириш керак, яъни:

$$L\frac{d^2q}{dt^2}+R\frac{dq}{dt}+\frac{q}{C}=0. \quad (10)$$

Бу тенгликни L га бўламиз ва қуйидаги белгилашдан фойдаланамиз:

$$\beta=R/2L. \quad (11)$$

Натижада (10) тенглик қуйидаги кўринишга келади:

$$\frac{d^2q}{dt^2}+2\beta\frac{dq}{dt}+\omega_0^2q=0. \quad (12)$$

Бу тенгламанинг ечими

$$q=q_{mo}e^{-\beta t}\cos(\omega_c t+\varphi). \quad (13)$$

кўринишда бўлади. Бу ерда ω_c – Сўнувчи электромагнит тебранишлар частотаси бўлиб, унинг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$\omega_c=\sqrt{\omega_0^2-\beta^2}=\sqrt{\frac{1}{LC}-\frac{R^2}{4L^2}}. \quad (14)$$

Зеро, Сўнувчи тебранишлар частотасининг қиймати контурнинг актив қаршилиги R камайган сари хусусий тебранишлар частотаси ω_0 га яқинлашиб боради. $R=0$ бўлганда эса $\omega_c=\omega_0$ бўлиб қолади. Конденсаторда ги кучланиш

$$U=U_{mo}e^{-\beta t}\cos(\omega_c t+\varphi) \quad (15)$$

ва контурдаги ток кучи

$$I=I_{mo}e^{-\beta t}\cos(\omega_c t+\varphi+\psi). \quad (16)$$

ифодалар орқали топилади. Охирги ифодада

$$\pi/2<\psi<\pi$$

бўлади, яъни реал контурда ($R\neq 0$) ток ва конденсатордаги кучланиш фаза бўйича $\pi/2$ дан каттароқ қийматга фарқ қилади.

Одатда, Сўнувчи электромагнит тебранишларнинг сўниш даражаси *сўнишнинг логарифмик декременти*

$$\delta = \left| \ln \frac{q(t)}{q(t+T_c)} \right| = \beta T_c = \frac{R}{2L} T_c \quad (17)$$

билан характерланади.

Мажбурий электромагнит тебранишлар

Тебраниш контурига электр юритувчи кучи даврий равишда ўзгарувчи манба улайлик. Бу манба контурнинг актив қаршилигида иссиқлик энергияси сифатида ажралиб чиқаётган энергия камаювини компенсациялаб туриши туфайли тебраниш контурининг энергияси доимий сакланади. Бу эса, ўз навбатида, тебранишларнинг сунмаслигига сабабчи бўлади. Бундай тебранишларни *мажбурий электромагнит тебранишлар* дейилади.

Бу ҳолда контур элементларидаги кучланиш тушишларининг йиғиндиси нолга эмас, балки ташқи ўзгарувчан электр юритувчи куч $\varepsilon_m \cos \omega t$ га тенг бўлиши керак, яъни

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = \varepsilon_m \cos \omega t. \quad (18)$$

Бу тенгламанинг ечими мажбурий тебранишларни ифодалайди. У қуйидаги кўринишга эга:

$$q = q_m \cos(\omega t - \psi), \quad (19)$$

бунда

$$q = \frac{\varepsilon_m}{\omega \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}}, \quad (20)$$

$$\tan \psi = \frac{R}{\frac{1}{\omega C} - \omega L}. \quad (21)$$

(19) дан вақт бўйича биринчи тартибли ҳосила олсак, контурдаги ток кучини топган бўламиз:

$$I = I_m \cos(\omega t - \psi + \pi/2), \quad (22)$$

Бунда

$$I_m = \frac{\varepsilon_m}{\omega \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}}. \quad (23)$$

Конденсатордаги кучланишни топиш учун (19) ни C га бўламиз:

$$U=U_m \cos(\omega t - \psi), \quad (24)$$

Бунда

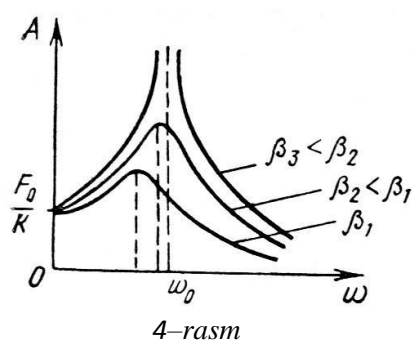
$$U_m = \frac{\varepsilon_m}{\omega C \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \quad (25)$$

Резонанс ходисаси

Мажбурий тебранишлар амплитудасини аниқловчи ифодага асосан, A нинг қиймати системанинг хусусий тебранишлар частотаси ($\omega_0 > 0$) ва мажбур этувчи куч частотаси (ω) орасидаги муносабатга, мажбур этувчи кучнинг амплитудавий қиймати (F_0) га ҳамда сўниш кўрсаткичи (β) га боғлиқ. 4-расмда F_0 ва m ўзгармас бўлган ҳолда β нинг турли қийматлари учун A нинг ω га боғлиқлик графиклари тасвирланган. $\omega=0$ бўлганда, яъни мажбур этувчи кучнинг қиймати ўзгармаганда (13) ифодадан

$$A = F_0 / (m\omega_0^2) = F_0 / q$$

келиб чиқади. Шунинг учун 4-расмда β нинг турли қийматлари учун чизилган графикларнинг барчаси ордината укини F_0/q да кесаяпти, $\omega \rightarrow \infty$ да, (13) га асосан, амплитуда асимптотик равишда нолга интилади. Расмдан кўринишича, ω нинг бирор оралик қийматида амплитуда максимал қийматга эришади. Бу ходиса, яъни мажбур этувчи куч частотасининг бирор аниқ қийматида мажбурий тебранишлар амплитудасининг кескин ортиб кетиши *резонанс ходисаси* деб аталади. Резонанс ходисаси амалга ошган ҳолдаги мажбур этувчи кучнинг частотасини *резонанс частота*



деб, амплитуданинг максимал қийматини эса *резонанс амплитуда* деб аталади. Резонанс частота қийматини топиш учун қуйидагича фикр юритамиз. Резонанс ходисаси руй берганда (13) ифода максимал қийматга эришиши, яъни мазкур ифоданинг махражи минимал қийматга эришиши лозим. Шунинг учун (13) нинг махражидан ω бўйича ҳосила олиб уни нолга тенглаштирамиз:

$$-2(\omega_0^2 - \omega^2)2\omega + 8\beta^2\omega = 0$$

ёки

$$-(\omega_0^2 - \omega^2) + 2\beta^2 = 0,$$

бундан

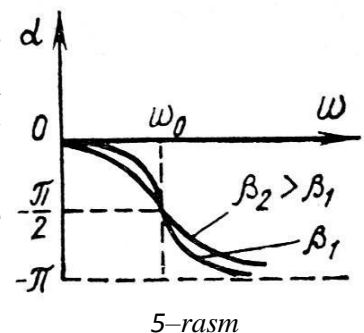
$$\omega = \omega_p = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}. \quad (26)$$

Резонанс частотанинг бу қийматини (13) га қуйсак, резонанс амплитуда қийматини топамиз:

$$A_p = \frac{F_0}{2m\beta\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}. \quad (27)$$

Демак, резонанс частота ва резонанс амплитуда β га боғлиқ. β камайган сари ω_p ортиб боради ва ҳиссий тебранишлар частотаси (ω_0) га яқинлашиб боради. ҳақиқатан, 4-расмдан кўринишича, β нинг кичикроқ қийматларига мос келувчи графикларда максимумлар кескинроқ ва улар ω_0 га яқинроқ частоталарга мос келади. $\beta=0$ бўлган ҳолда эса резонанс амплитуданинг қиймати чексиз катта бўлиши керак. Лекин, амалда, резонанс амплитуда чекли қийматга эга, чунки реал шароитларда тебранувчи системага (оз бўлса-да!) қаршилик кучи таъсир этади. Шунинг учун β нинг нисбатан кичик қийматлари учун мажбур этувчи кучнинг частотаси хусусий тебранишлар частотасига тенг бўлганда резонанс ҳодисаси амалга ошади, деб ҳисобланади.

Моддий нуқтанинг силжиши ва мажбур этувчи куч фазаларининг фарқи (α) нинг ω га боғлиқлиги [(17.12) муносабат асосида ҳисобланган] 5-расмда тасвирланган. $\omega < \omega_0$ қийматларда силжиш мажбур этувчи кучдан фаза бўйича орқада қолади. Бу фарқ, аввал, анча кичик бўлади. Лекин $\omega > \omega_0$ да катталашади. Резонанс ҳодисаси содир бўлганда α нинг қиймати $-\pi/2$ га тенг бўлади. $\omega \gg \omega_0$ да эса силжиш ва мажбур этувчи куч қарма-қарши фазада бўлади, яъни $\alpha\pi$.



5-rasm

Силжиш ва мажбур этувчи куч фазаларининг фарқи 0 эмас, балки $-\pi/2$ га тенг бўлганда резонанс ҳодисасининг амалга ошиши ғалати туюлади. Лекин силжиш ва мажбур этувчи куч орасидаги фазалар фарқи $-\pi/2$ га тенг бўлганда тебранаётган моддий нуқта тезлиги ва мажбур этувчи куч фазаларининг фарқи 0 га тенг бўлади. Шунинг учун мажбур этувчи кучнинг иши моддий нуқта тезлигини (яъни энергиясини) оширади. Натижада тебраниш амплитудаси кескин ортади.

Мажбурий тебранишлар ва резонанс Кўпчилик физик жараёнларда ва техникада катта роль уйнайди. Масалан, турли частотали тебранишлар йиғиндисидан маълум частотали тебранишни ажратишда резонанс ҳодисасидан фойдаланилади. Баъзи ҳолларда эса резонанс жуда зарарли бўлади, чунки у катта деформатсияларнинг вужудга келишига ва иншоотларнинг бузилишига сабабчи бўлади. Бинобарин, турли машиналар ва иншоотларни лойиҳалаш жараёнида резонанс эътиборга олинади.

Ўзгармас ток

Биз шу вақтгача йўналиши ўзгармайдиган токни, яъни ўзгармас электр токини ўргандик. Техникада ва турмушда эса ўзгарувчан ток кенг қўлланилади. Шунинг учун ўзгарувчан электр токига доир маълумотларни ўрганишга киришамиз. Дастлаб электромагнит индукция ҳодисасини эслайлик: берк контур чегаралаган юза орқали ўтувчи магнит оқими ўзгарган барча ҳолларда берк контурда ток индукцияланади; индукция ЭЮК нинг катталиги \mathcal{E}_i магнит индукция оқимининг ўзгариш тезлиги $\frac{d\Phi}{dt}$ га мутаносиб:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$$

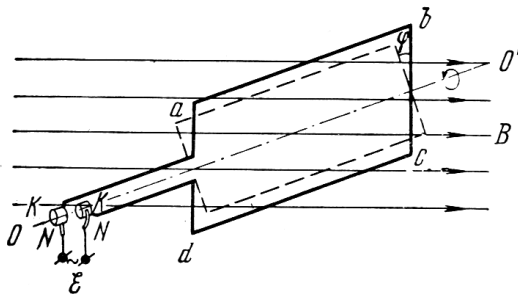
бу ерда Φ – магнит индукция оқими, t – вақт.

Магнит майдоннинг ўзгариши туфайли берк контурда ҳосил бўлган ток *индукцион ток*, ҳодисанинг ўзи эса *электромагнит индукция* ҳодисаси деб аталади. Индукцион токни ҳосил қилувчи электр юритувчи куч *индукция ЭЮК* деб юритилади.

Шундай қилиб, индукцион токни ҳосил қилиш учун берк контурни ўзгармас магнит майдонда айлантириш ёки берк контурни тинч қолдириб унинг атрофидаги магнит майдонни ўзгартириш керак.

Магнит майдонида айланаётган контурда индукция электр юритувчи кучи вужудга келишидан техникада электр токи олишда фойдаланилади.

Магнит майдонига перпендикуляр OO^1 ўқ атрофида айлана оладиган тўғри бурчакли ясси авсд контурнинг ҳаракатини текширайлик (6-расм).



6 - расм

Магнит майдони бир жинсли ва контур ўзгармас бурчак тезлик билан текис айлансин. У ҳолда контур билан боғланган Φ магнит оқими вақтнинг ихтиёрий пайтида қуйидагига тенг бўлади:

$$\Phi = B \cdot S \cos \varphi = B S \cos \omega t ,$$

бу ерда S - контур билан чегараланган юза, $\varphi = \omega t$ эса контурнинг $S \perp B$ бошланғич вазиятидан ҳисобланган бурилиш бурчаги. Контур айланганда Φ магнит оқим даврий равишда ўзгариб туради. Шунинг учун контурда *даврий ўзгарувчи индукция ЭЮК* ҳосил бўлади. Бу ЭЮК (1) ифодага мувофиқ қуйидагига тенг :

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = BS\omega \sin \omega t$$

Бу ЭЮК нинг ($\sin \omega t = 1$ қийматда эришадиган) максимал қиймати

$$\varepsilon_m = B S \omega \quad \text{га тенг бўлгани учун}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$$

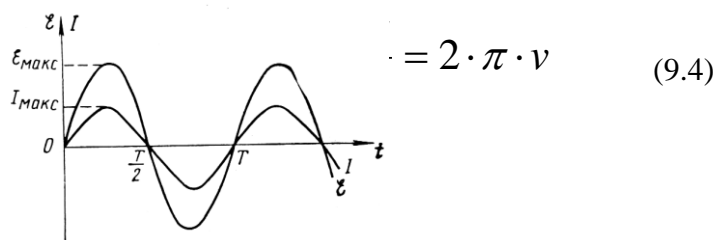
Демак, агар бир жинсли магнит майдонда ўтказувчан контур текис айланса, унда синус қонуни бўйича ўзгарувчан электр юритувчи куч вужудга келади. Бу ЭЮК контурда синусоидал ўзгарувчан ток ҳосил қилади:

$$I = \frac{\varepsilon}{R_0} = \frac{\varepsilon}{R_0} \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

Бу ерда $I_m = \frac{\varepsilon_m}{R_0}$ токнинг максимал қиймати, R_0 - ток бериладиган электр занжири ва контур қаршилиги.

Катталиги ва йўналиши жиҳатидан синусоида қонунига мувофиқ равишда даврий ўзгарадиган ток синусоидал *ўзгарувчан ток* дейилади.

Ўзгарувчан ток тебранма жараён (гармоник тебраниш)дир. Шунинг учун тебранма жараён характеристикаларининг номлари ўзгарувчан ток учун ҳам ўзгаришсиз сақланади (9.2. расм). Масалан, ε_m - электр юритувчи кучнинг амплитудаси, I_m - ток амплитудаси, ω - токнинг айланма частотаси, $\varphi = \omega t$ - ток фазаси деб юритилади. Ўзгарувчан ток шунингдек, ток даври T ва ток частотаси ν билан характерланади, бунда



9.2 – расм

Ўзгарувчан ток кучининг бир марта тўла тебраниши учун кетган вақт оралиғи ўзгарувчан ток даври дейилади. Бир секундда ўзгарувчан ток кучининг тўла тебранишлар сони (ν) га ўзгарувчан ток частотаси деб аталади. (2) ва (3) формулалардан кўринадики, ЭЮК нинг энг катта қийматига токнинг ҳам энг катта қиймати тўғри келади, ЭЮК нолга тенг бўлганда ток ҳам нолга тенг бўлади. Бу ҳолда ЭЮК нинг ўзгаришлари билан токнинг ўзгаришлари бир хил фазада бўлади, дейилади (9.2 - расм).

Ўзгарувчан токни юқоридаги каби ҳосил қилиш усули ўзгарувчан ток электромашина генераторининг тузилишида фойдаланилади. Саноатда ишлатиладиган генераторларда магнит майдони қувватли электромагнит ёрдамида вужудга келтирилади. Айланувчан контур ферромагнит ўзакка (генератор роторига) ўралган кетма-кет уланган n ўрам симдан иборат бўлади. Шунинг учун бундай генераторда ҳосил бўладиган ЭЮК куйидагига тенг бўлади:

$$\varepsilon = B S \omega n \cdot \sin \omega t \quad (9.5)$$

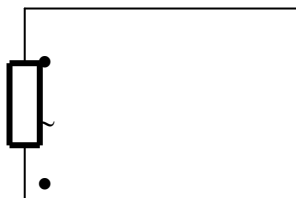
Ҳозирга замон ўзгарувчан ток генераторлари бир неча ўн минг вольт кучланиш ҳосил қила олади; уларнинг қуввати 300 МВт ва ундан ортиқ бўлади.

2. Ўзгарувчан токнинг тўлиқ занжирида актив, сиғим ва индуктив қаршиликлар

иштирок қилади. Шунинг учун, уларнинг ҳар бирига тўхталамиз.

А) Ўзгарувчан ток занжиридаги актив қаршилик.

Электр занжири ўтказгичлардан ва индуктивлиги унча катта бўлмаган, лекин қаршилиги R_0 анча катта бўлган нагрузкадан иборат бўлсин (9.3-расм). Шу вақтгача R_0 ни электр қаршилик ёки қаршилик деб атаб келдик, бундан буён биз уни *актив қаршилик* деб атаймиз.



9.3 - расм

Сабаби шуки, ўзгарувчан ток занжирида бошқа характердаги қаршиликлар ҳам бўлиши мумкин. R_0 қаршилик мавжуд бўлган занжирда генератордан келаётган энергия ютилади, шунинг учун уни актив қаршилик деб аталади. Бу энергия ўтказгичларнинг ички энергиясига айланади – ўтказгич қизийди.

Демак, шундай қаршиликка актив қаршилик деб айтиладики, унда электр энергияси қайтмас равишда ўтказгичнинг ички энергиясига айланади. Қаршиликдаги ток кучи ва кучланиш тебранишини график равишда ифодаласак 9.2 - расмдагидек кўринишга эга бўлади ($R > 1$ бўлганда). Бу графикдан кўринадик, кучланиш қай вақтда максимал қийматга эга бўлса, ток кучи ҳам шу вақтда максимал қийматига эга, ва аксинча, кучланиш нолга тенг бўлганда ток кучи ҳам нолга тенг бўлади. Бошқача айтганда, актив қаршиликли ўтказгичда ток кучининг тебраниши фаза бўйича кучланиш фазаси билан бир хил бўлади. Ток кучининг амплитудаси қуйидаги тенгликдан аниқланади:

$$I_m = \frac{U_m}{R} \quad (9.6)$$

Б). Ўзгарувчан ток занжиридаги сизим.

Маълумки, таркибида конденсатор бўлган занжирдан ўзгармас ток ўта олмайди. Чунки, конденсаторнинг қопламалари бир-биридан диэлектрик билан ажратилганлиги учун бундай занжир узук бўлади.

Ўзгармас ток занжирида конденсатор чексиз катта қаршилик бўлади. Ўзгарувчан ток эса конденсатордан ўта олади (ўзгарувчан ток занжирини конденсатор узмайди). Кондесатор дамба-дам зарядланиб ва разрядланиб, ташқи занжирда ўзгарувчан токни саклаб туради. Конденсатор ичида ўзгарувчан ўтказувчанлик токи, силжиш токи билан туташади. Шундай қилиб, конденсатор ўзгарувчан ток учун сизим қаршилик деб аталувчи чекли қаршиликдан иборат бўлиб қолади.

С сиғимли конденсаторга ўзгарувчан синусоидал кучланиш (ЭЮК) берилган бўлсин:

$$\varepsilon = \varepsilon_m \cdot \sin \omega t. \quad (9.7)$$

Ток келтирувчи симлардаги омик қаршилик жуда кам бўлганидан, улардаги кучланиш тушишини эътиборга олмай, конденсатор қопламаларидаги кучланиш U_c берилган кучланишга тенг деб фараз қиламиз:

$$U_c = \varepsilon = \varepsilon_m \cdot \sin \omega t$$

Вақтнинг ихтиёрий пайтида

$$q = C U_c = C \varepsilon_m \cdot \sin \omega t$$

Агар кичик dt вақт оралиғида конденсаторнинг заряди dq катталиқка ўзгарса, у ҳолда ўтказувчи симларда

$$I = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU_c}{dt} = C \varepsilon_m \cos \omega t = \varepsilon_m C \omega \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

га тенг бўлган I ток ўтади. Бу токнинг амплитудаси

$$I_m = \varepsilon_m \cdot C \omega \quad (9.8)$$

га тенг бўлгани учун қуйидагини ёза оламиз:

$$I = I_m \cdot \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (9.9)$$

Энди (6) ни қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$I_m = \frac{\varepsilon_m}{\frac{1}{C \cdot \omega}}$$

Бу муносабат Ом конунини ифодалайди; $\frac{1}{\omega \cdot C}$ катталик ўзгарувчан ток учун конденсатор қаршилиги, яъни сиғим қаршилик бўлади:

$$R_c = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (9.10)$$

Шундай қилиб, *сиғим қаршилик токнинг циклик частотаси ва конденсатор сиғимининг кўпайтмасига тесқари мутаносиб бўлади*. Конденсатор сиғими ва циклик частота қанчалик катта бўлса, ўтказгич (ток келтирувчи симлар) даги ток ҳам шунчалик катта бўлади, яъни $I \sim C \cdot \omega$. Бироқ ток кучи ва қаршилик бир-бирига тесқари мутаносиб.

$$\text{Демак, қаршилик } R_c \approx \frac{1}{\omega \cdot C}.$$

$\nu = 50$ Гц частотали ўзгарувчан ток занжирига уланган $C = 1$ мкФ $= 10^{-6}$ Ф сиғимли конденсаторнинг сиғим қаршилигини ҳисоблаймиз:

$$R_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C} = \frac{1}{100\pi C} = \frac{1}{100 \cdot 10^{-6} \cdot 3,14} \text{ Ом} = 3200 \text{ Ом}$$

10 мкФ сиғимли конденсаторнинг сиғим қаршилиги 320 Ом, частота

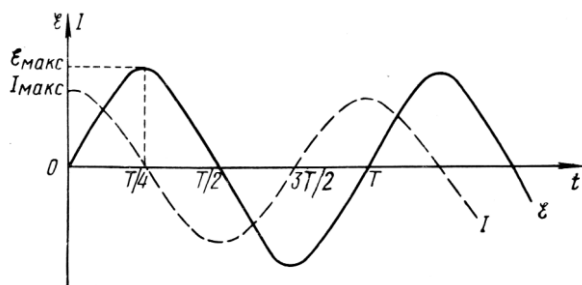
$\nu = 5000$ Гц бўлганда $C = 10$ мкФ сиғимли конденсаторнинг сиғим қаршилиги $R_C = 3$ Ом га тенг бўлади.

Ёки частота $\nu = 50$ Гц бўлганда сиғими $C = 1$ мкФ бўлган конденсаторнинг сиғим қаршилиги $R_C = 3200$ Ом бўлса, $\nu = 500$ Гц бўлганда конденсаторнинг сиғим қаршилиги $R_C = 320$ Ом га, $\nu = 10^4$ Гц да $R_C = 16$ Ом, $\nu = 100$ кГц да $R_C = 1,6$ Ом, $\nu = 1000$ кГц да $R_C = 0,16$ Ом га тенг бўлиб қолади.

Бу мисоллардан ω ва C катталиклар қанчалик ортса, конденсаторнинг сиғим қаршилиги шунчалик камайиши кўриниб турибди.

(16) ва (18) формулаларни таққослашдан шу нарса кўриниб турибдики, I токнинг ўзгаришлари ва ε кучланиш ўзгаришлари турлича фазаларда бўлади; токнинг фазаси кучланиш фазасидан $\frac{\pi}{2}$ га катта бўлади. Бу токнинг I_m максимуми кучланишнинг ε_m максимумидан чорак ($\frac{T}{4}$) даврга олдин келади демакдир (9.4-расм)

Ниҳоят, ушбуни ҳам таъкидлаб ўтамиз: ўзгарувчан ток занжиридаги конденсатор электр энергияни ютмайди. Даврнинг конденсатор энг катта кучланиш олгунча зарядланадиган биринчи чорагида занжирга энергия келиб туради ва конденсаторда электр майдон энергияси тарзида тўпланади. Ундан кейинги чорак даврда конденсатор зарядсизланиб энергия тармоққа қайтарилади.



9.4 - расм

В) Ўзгарувчан ток занжирида индуктивлик.

11 - синф физика дарсларидан маълумки, ўзгарувчан ток занжирига уланган ғалтакда (айниқса ферромагнит ўзакли) омик қаршиликдан ташқари қўшимча қаршилик мавжуд бўлади. Бу қўшимча қаршилик ўтказгичнинг индуктивлигига боғлиқ бўлади ва шунинг учун, *индуктив қаршилик* деб юритилади. Индуктив қаршиликнинг пайдо бўлишини ўзиндукция ходисаси асосида қуйидагича тушунтирилади:

Индуктивлиги бўлган ўтказгичда токнинг ўзгаришлари натижасида бу ўзгаришларга тўсқинлик қилувчи, яъни токнинг I_m амплитудасини камайтирувчи ва демак, $I_{\text{эфф}}$ эффектив токни камайтирувчи ўзиндукция ЭЮК вужудга келади. Ўтказгичдаги эффектив токнинг камайиши ўтказгич қаршилигининг ортишига тенг кучли, яъни қўшимча (индуктив)

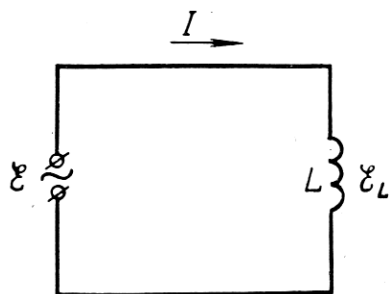
қаршиликнинг пайдо бўлишига тенг кучлидир.

L ўзиндукция ғалтаги орқали ғалтакга берилган ε ўзгарувчан кучланиш (ЭЮК) да ҳосил бўлган синусоидал ўзгарувчан ток ўтаяпти (9.5-расм) деб олайлик:

$$I = I_m \cdot \sin \omega t \quad (9.11)$$

бунда ғалтакда

$$\varepsilon_L = -L \frac{dI}{dt} \quad (9.12)$$



9.5 – расм.

ўзиндукция ЭЮК пайдо бўлади. Ток келувчи симлардаги кичик омик қаршиликда кучланиш тушишини ҳисобга олмасак, берилган кучланиш ўзиндукция ЭЮК билан (катталиги унга тенг, йўналиши қарама-қарши 9.5 - расм бўлган) мувозанатлашади деб ҳисоблашимиз мумкин:

$$\varepsilon = -\varepsilon_L$$

У ҳолда (9.11) ва (9.12) формулаларни ҳисобга олиб, ушбуни ёза оламиз:

$$\varepsilon = L \frac{dI}{dt} = L I_m \cdot \omega \cos \omega t = I_m \cdot L \omega \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

Берилган кучланишнинг амплитудаси

$$\varepsilon_m = L I_m \cdot \omega = I_m \cdot L \cdot \omega \quad (9.13)$$

га тенг бўлгани учун

$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (9.14)$$

(22) ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$I_m = \frac{\varepsilon_m}{L \cdot \omega}$$

Бу муносабат Ом қонунини ифодалайди; ωL катталик ўзиндукция ғалтагининг индуктив қаршилиги бўлади:

$$R_L = \omega \cdot L \quad (9.15)$$

Циклик частотанинг индуктивликка кўпайтмасига тенг бўлган R_L катталик индуктив қаршилик деб аталади.

$\nu = 50$ Гц частотали ўзгарувчан ток занжирига уланган индуктивлиги

$L = 1$ Гн бўлган ғалтакнинг индуктив қаршилигини ҳисоблаймиз:

$$R_L = \omega \cdot L = 2 \pi \cdot \nu \cdot L = 314 \text{ Ом.}$$

$\nu = 5000$ Гц частотада шу ғалтакнинг индуктив қаршилиги 31400 Ом гача ортади.

(11) ва (14) формулаларни таққослашдан I токнинг ва ε кучланишнинг турли фазаларда ўзгариши, бунда ток фазаси кучланиш фазасидан $\frac{\pi}{2}$ га кичик бўлиши келиб чиқади. Бу эса, токнинг максимуми кучланиш максимумидан чорак давр ($\frac{T}{4}$) орқада қолишини билдиради.

Шундай қилиб, *индуктив қаршиликда ток кучланишдан чорак давр (вақт бўйича) ёки 90° га (фаза бўйича) орқада қолади.*

Сигим ва индуктив қаршилик *реактив қаршилик* деган умумий ном билан юритилади.

Реактив қаршиликда электр энергия сарфи бўлмайди.

Ўзгарувчан ток техникасида кўпинча дросселлар (индуктив қаршиликлар) ишлатилади. Дроссел темир ўзакли ўзиндукция ғалтагидир. Дроссел ўзгарувчан токка катта қаршилик кўрсатгани ҳолда амалда ҳеч қизимайди ва электр энергияни кўп исроф қилмайди.

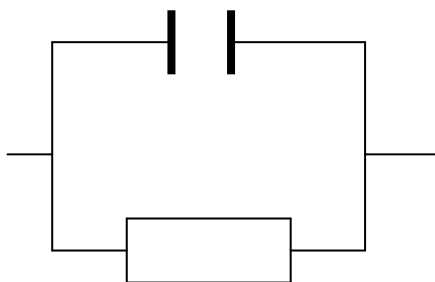
3. Тирик тўқима ва органларнинг электр қаршилиги ўзгармас ток ўтиш давомида ўзгариб боради. Ўзгармас ток уланган дастлабки пайтда қаршилик катта бўлмайди. Жуда қисқа вақтдан кейин эса қаршилик ортиб кетади ва ток кучи $10 \div 100$ марта камайиб кетади. Тўқима кутбланиб қолади.

Биологик тўқиманинг маълум бир частотадаги ўзгарувчан токка қуйидагидек, R_1 - актив қаршилиги ва R_c – реактив қаршилиги бўлади.

$R_1 = \frac{1}{K}$ қаршилик (бу ердаги коэффициент K – тўқиманинг ўтказувчанлиги) кўприк ёрдамида аниқланади.

$$R_c = \frac{1}{\omega C}$$

Тўқимани электр хоссаларини параллел уланган омик қаршилик R ва сигим C деб тасаввур қилса бўлади. (9.6 - расм)



9.6 - расм

Бундаги (биологик) қаршилик Z - тўқима импеданси қуйидагича аниқланади: $Z = \frac{R}{1 + i\omega RC}$

$K = \frac{1}{Z}$ - тўқима электр R ўтказувчанлиги.

Электр майдони частотаси ўзгарганда тўқима электр 9.6-расм хоссалари ҳам ўзгаради.

Тирик организмда индуктив қаршилик бўлмайди, ўлик организмда эса индуктив қаршилик бўлади.

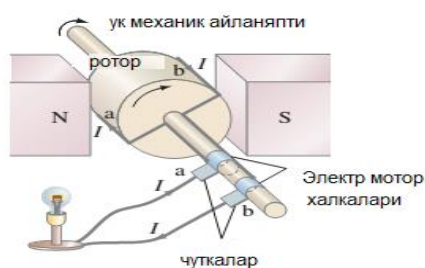
Тирик организмда актив ва сиғим қаршилик бўлади, буларни аниқлаш эса уларни яшовчанлиги тўғрисида хулосага олиб келади.

4. Электр токи генераторлар

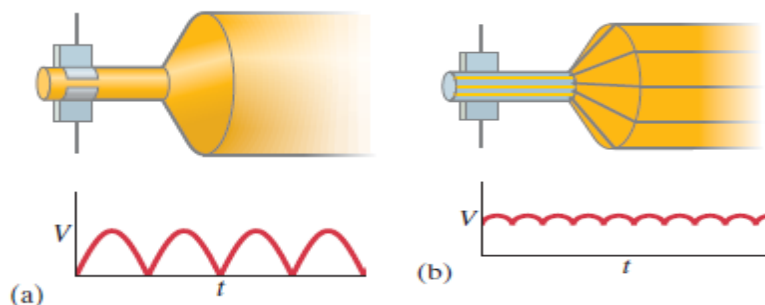
Биз ўзгарувчан тоқлар билан юқорида батафсил танишиб чикдик. Энди биз ўзгарувчан ток қанақа қилиб олинишини текшириб чиқамиз: электр генератор орқали ёки динамо (электр токи ишлаб чиқарадиган мошина) орқали. Генератор механик энергияни электр энергияга айлантириб беради, моторнинг қиладиган ишини тескараси. Ўзгарувчан ток генераторини соддалашган диаграммаси 9.7 расмда кўрсатилган. Генератор магнит майдон ёрдамида айланадиган роторда ўралган кўп сим ҳалқалардан ташкил топган. Ўқ баъзи механик ускуналар (тушаётган сув, буг турбинаси, мошина мотор тасмаси) орқали айланади, ва айланаётган ҳалқада ЭЮК вужудга келади. Шунинг учун ҳам электр токи генераторнинг маҳсулоти дейилади. 9.7 расмда фараз қилинг, ротор соат стрелкаси бўйича айланапти, сўнгра симдаги зарядланган заррачаларга (Ленц конуни) қўлланиладиган ўнг кўл қондаси шундай дейди: роторда b деб белгиланган симдаги ток биздан ташқарига йўналган; шунинг учун ток b чўтка бўйича ташқарига йўналган. Яримта айланишдан сунг, b сим ҳозирги a симни ўрнида бўлади 9.7 расм) ва b чўткадаги ток ичкарига йўналган бўлади. Шунинг учун ҳам ишлаб чиқарилган ток ўзгарувчандир.

АҚШ ва Канада учун асосий ишлатиладиган частота f 60 Hz га тенг, бошқа давлатларда эса 50 Hz ишлатилади. АҚШда асосий электр энергияси пар генераторларидан олинади, ёнувчи қазилма ёнилғилар (кумир, нефт, табиий газ) сувни юқори босимлик пар ишлаб чиқариш учун қайнатади, қайсики ўз навбатида генератор ўқиға уланган турбинани айлантиради (9.8 расм). Турбиналар дамбалардаги (гидроэлектрика) сувнинг босими орқали ҳам айланади. Атом электростанцияларида атом энергияси турбиналарни айлантириш мақсадида буг чиқариш учун ишлатилади. Ҳақиқатан ҳам, иссиқлик моторининг генераторга уланиши бу электр энергиясини олишнинг асосий усулидир. 60 Hz ёки 50 Hz частота электр энергияси корхоналари томонидан жуда қўллаб-қувватланиб келинади.

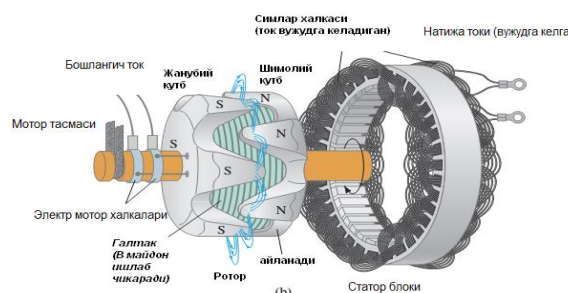
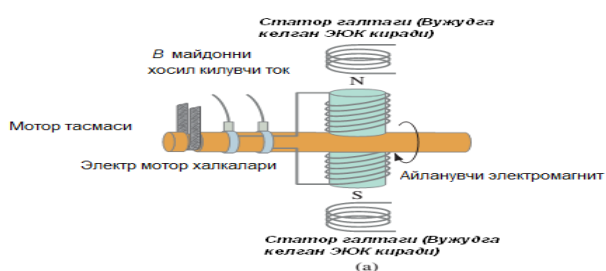
Ўзгармас ток генератори ўзгарувчан ток генераторига ўхшаш, факатгина электр мотор ҳалқалари переключатель ҳалқалари билан алмашади, (9.8 расм), ўзгармас ток мотордаги каби. Шундай генераторнинг маҳсулоти унга параллел равишда конденсаторга уланса равонлашиши мумкин. Асосийси кўпроқ ротор чўлғамларини ишлатишдир, (9.8b расм), қайсики ўз навбатида равон маҳсулот ишлаб чиқаради.



9.7 расм. Ўзгарувчан ток генератори



9.8 расм. (a) Ўзгармас ток генератори коммутаторлар билан биргаликда, ва (b) ўзгармас ток генератори коммутатор ва чўлғамлар билан биргаликда



9.9 расм

9.9 расм. (a) Ўзгарувчан ток генераторининг содда схематик тасвири. Роторга батареядан бошланғич кирувчи ток давомий электр мотор халкалари бўйлаб уланган. Баъзида ротор электромагнити доимий магнит билан алмашади (хеч қандай бошланғич токсиз). (b) Ўзгарувчан ток генераторининг асл кўриниши. Ротор мотор тасмаси орқали айланади. Роторнинг сим ғалтагидаги ток унинг ичидаги ўқларида магнит майдон ишлаб чиқаради, қайсики ўз навбатида чапдан ўнгга горизонтал йўналишда қарайди (кўрсатилмаган расмда), шунинг учун ҳам тарелканинг шимолий ва жанубий кутблари хоҳлаган учига қотирилган. Бундай тарелка учлари учбурчак кўрсаткичлардан қилинган бўлиб, ҳалка бўйлаб букилган --- алмашувчи N ва S кутблар бир бирига жуда ҳам яқин, бир бирлари орасидаги магнит майдон чизиқлари кўк ранг билан курсатилган. Ротор айланиши билан бундай майдон чизиқлари қотирилган статор ҳалкаси бўйлаб ўтади, у ерда токни вужудга келтиради ва бу натижа токи дейилади.

Ўзгарувчан ток генератори

Автомобиллар ўзгармас ток генераторларини ишлатишган. Ҳозирги кунда асосан улар ўзгарувчан ток генераторини ишлатишади, қайсики ўз навбатида ейилишни ва ўзгармас ток генераторлари коммутаторлари ҳалкалари орасида электр муаммоларини олдини олади. Ўзгарувчан ток генераторлари (динамо) генераторлардан электромагнити орқали фарқ қилади, ротор деб ҳам аталади, батареядан чиқадиган ток орқали тўйинади ва мотор тасмаси орқали айланади. Айланадиган роторнинг магнит майдони статор деб номланадиган ҳаракатсиз ҳалқа орқали ўтади (9.9 расм), статор ҳалкаларида ўзгарувчан токни вужудга келтиради ва бу натижавий ток дейилади. Бу ўзгарувчан ток натижаси яримўтказгич диодлари ёрдамида батареяларни зарядлаш учун ўзгармас токка ўзгаради, қайсики ўз навбатида токка бир йўналиш бўйлаб оқишга рухсат беради.

Генератор тенгламасини чиқариш

Ротор генераторидаги сим ҳалқа 9.10 расмда кўрсатилган. Ҳалқа B доимий магнит майдонда соат стрелкаси бўйлаб айланади. Шу ондаги ab ва cd узунликларининг тезлиги кўрсатилган. Гарчи симнинг bc ва da қисмлари ҳаракатланаётган бўлсада, шу қисмларда электронларга таъсир этаётган куч сим томон бўйлаб йўналган, сим узунлиги бўйича эмас. Шунинг учун ҳам вужудга келган ЭЮК айнан ab ва cd қисмлардаги зарядларга таъсир этаётган куч туфайлидир. Ўнг қўл қоидадан бизга маълумки ab да пайдо бўлган токнинг йўналиши a ва b томонга йўналган. Ва пастки қисмда бу c дан d га йўналган; шунинг учун ҳам оқим ҳалқада узлуксиз бўлади. ab да мавжуд бўлган ЭЮК қиймати тезликнинг B га компонентини олган ҳолда

$$\mathcal{E} = Blv_{\perp},$$

ℓ_{ab} нинг узунлигига тенг. 9.10 расмдан кўришиб турганидек $v_{\perp} = v \sin \theta$, θ бу вертикал билан ҳалқа юзи орасидаги бурчакка тенг. cd да вужудга келган ЭЮК бир хил қийматга ва йуналишга тенг. Шунинг учун ҳам ЭЮК ларни қўшсак, умумий ЭЮК:

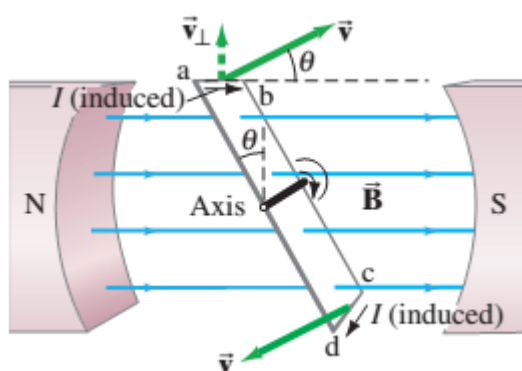
$$\mathcal{E} = 2NB\ell v \sin \theta,$$

Ҳалтақдаги умумий ҳалқалар сони N га купайтирилади.

Агар ҳалқа доимий бурчак тезлик билан ω билан ҳаракатланса, бурчак $\theta = \omega t$ га тенг бўлади. Тенгламадан бизга маълум (8-4 тенглама), $v = \omega r = \omega(h/2)$, r айланиш ўқи ва bc ёки ad узунлиги h га тенг. Шунинг учун $\mathcal{E} = 2NB\omega\ell(h/2) \sin \omega t$, ёки

$$\mathcal{E} = NB\omega A \sin \omega t$$

$A = \ell h$ ҳалқа юзасига тенг. Бу тенглама исталган шаклдаги ҳалқага тўғри келади, фақат туртбурчакликка эмас.



9.10 расм. ЭЮК ab ва cd да вужудга келди, тезлик компонентлари B га перпендикуляр

Шундай қилиб, генераторнинг чиқувчи ЭЮК и синусоидал қонуният бўйича ўзгаради (9.11 Расм).

Радиян секундига ўзгарувчи ω ни қуйидаги кўринишда ёзамиз $\omega = 2\pi f$, бу ерда f частота (да). Эффе́ктив чиқиш қуйидагича:

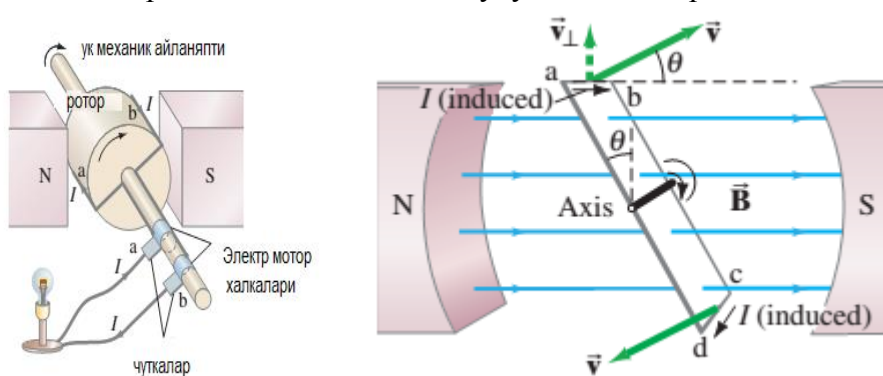
$$V_{\text{rms}} = \frac{NB\omega A}{\sqrt{2}}$$

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

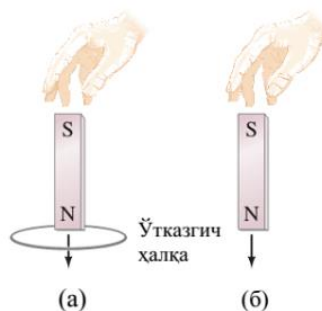
Ўзгарувчан ток, Ўзгарувчан ток занжирида актив, сиғим ва индуктив қаршиликлар. Импеданс. Ток генераторлари.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

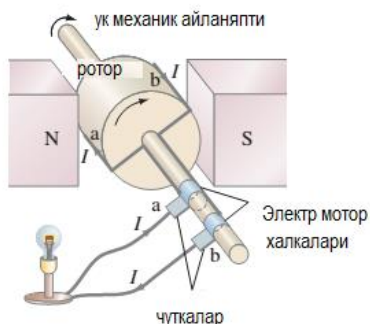
1. Кичик сигнални катта масофаларга узатишда сигнал узатиш ўтказгичи изоляция қопламаси билан қопланган ҳимояланган кабелдан фойдаланилади ва бунда ёпик цилиндрик ўтказгич қайтувчи токни узатади. Нима учун ушбу ҳимояловчи қатлам нима учун ишлатилган?
2. Ўзгарувчан токкни ўтказувчи иккита изоляцияланган электр ўтказгични бир-бири билан ёпиш ёки бири-бирига ўрашнинг усутунлиги нимада?
3. Нима учун музлатгич мотори ишлашни бошлаганда электр чироқ ёруғлиги қисқа вақт хиралашади? Электр печкаси ёқилганда унинг бутун ишлаш вақти мобайнида чироқлар хира ёниб туради. Бу фарқни тушунтиринг.
4. 1 ва 2 расмлардан ва ўнг қўл қоидаасидан фойдаланиб, генератор айланувчи моменти унинг ҳаракатига нима учун тескари эканлигини кўрсатинг.



5. Магнит стержен вертикал металл най ичида пастга тушмоқда ва ҳатто найча ичида вакуум ҳосил қилинганда ва ҳавонинг қаршилиги таъсир қилмаса ҳам чекли тезликка эришиб, тезлиги ўзгармай қолади. Бунини тушунтиринг.
6. Юпқа алюминий бўлаги катта магнит бўлаги кутблари орасида ушлаб турилса, у ферромагнит бўлмаса ҳам уни магнит кутблари орасидан магнит юзасига текизмасдан тортиб олиш учун куч талаб қилинади. Тушунтиринг.
7. Магнит бўлаги полдан юқорида ушлаб турилди ва у қўйиб юборилди (расмга қаранг). (а) ҳолатда у ўтказгич ҳалқа ичидан ўтиб полга тушди. (б) ҳолатда у бўшлиқдан ўтиб полга тушди. Магнит бўлагининг тезликларини солиштириш мумкинми? Тушунтиринг.



8. Ёпиқ трасформатор тўртта чикувчи ўтказгичга эга. Трансформацияни ишлатмасдан иккита ҳалқалардаги ўрамлар муносабатларини қандай аниқлаймиз? Ҳалқалар бири-бирига боғланганини қандай биласиз?
9. Майший электр линияларида 600 -1200 В ли катта қувватлардан фойдланганда энергия камаяди дейишади. Нимага улардан фойдаланилмайди?
10. Ўзгарувчан 120 В кучланишга мўлжалланган трасформатор доимий 120 В манбаига уланса ёниб кетади. Тушунтиринг. (Бунда бирламчи ўрам қаршилиги одатда жуда кичик бўлади).
11. Расмдаги батареянинг ЭЮК LR занжирда (а) максимал токнинг берилган қисмигача эришиш вақтига, (б) ток кучининг берилган қийматига эришиш вақтига



таъсир қиладими? Тушунтиринг.

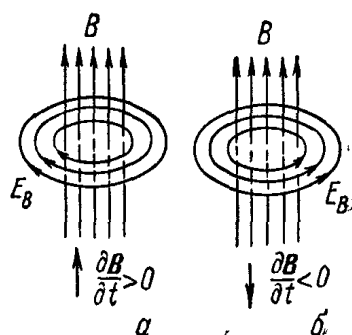
12. * LRC занжирда (а) ғалтак ва (б) конденсатор орқали ўтувчи эффектив кучланиш манба эффектив кучланишиндан катта бўлиши мумкинми? Тушунтиринг.
13. * ЭЮК манбаи частотаси соф (а) резисторнинг, (б) конденсаторнинг (в) индуктивнинг умумий қаршиликка (г) LRC занжир резонансга яқин бўлганда (кичик R учун), (д) LRC занжир резонансдан узоқ бўлганда (кичик R учун) таъсири қандай эканлигини қисқача тавсифланг?
14. * LRC занжирда умумий қаршиликни минимал қилишни амалга оширишни тавсифланг.
15. * LRC резонанс занжирни кўп ҳолларда тебранувчи (осциллятор) занжир деб номланади. Бу қандай осциллятор?
16. * Ғалтакда ўзгарувчан ток ҳар доим LRC занжирнинг резистордаги каби бўладими? Тушунтиринг.

ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТҮЛҚИНЛАР

Режа

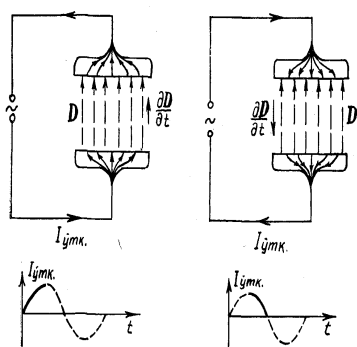
1. Максвелл тенгламалари.
2. Силжиш токи.
3. Максвелл тенгламаларининг интеграл ва дифференциал кўриниши.
4. Электромагнит тўлқинларнинг тарқалиш тезлиги.
5. Электромагнит тўлқин тенгламаси.
6. Энергия зичлиги.
7. Умов – Пойтинг вектори.

1863 йилда Максвелл ягона электромагнит майдон назариясини ишлаб чиқди, бу назарияга мувофиқ, ўзгарувчан электр майдони, ўзгарувчан магнит майдонини, ўзгарувчан магнит майдони эса, ўзгарувчан электр майдонини вужудга келтиради. Бу иккала ўзгарувчан майдонлар уюрмали характерига эга, яъни вужудга келтираётган майдоннинг куч чизиклари, вужудга келаётган майдоннинг куч чизиклари билан концентрик ўраб олинган. Натижада ўзаро ўралган электр ва магнит майдонлар системаси ҳосил бўлади. Магнит майдон индукцияси чизикларининг йўналиши шу майдоннинг вужудга келишига сабабчи бўлаётган электр майдон индукция векторининг вақт давомида ўзгаришини характерловчи $\frac{\partial D}{\partial t}$ векторнинг йўналиши билан ўнг винт қоидаси асосида боғланган (11.1-расм).



11.1 – расм.

яқинроқ танишиш мақсадида ясси конденсаторли занжирдан ўзгарувчан ток оққандаги жараёнларни текширайлик. У ҳолда конденсатор пластинкаларини бирлаштирувчи ўтказгичлар орқали ўтказувчанлик токи ўтади, лекин пластинкалар оралиғидаги



11.2-РАСМ

Максвелл ташқи занжирда оқувчи ўтказувчанлик токи конденсатор ичида алоҳида ток - **силжиш токи билан туташадиган** ўз ғоясини илгари сурди, силжиш токи

электр майдон индукция векторининг ўзгариш тезлиги $\left(\frac{\partial D}{\partial t}\right)$ пропорционал ва ташқи занжирдаги ўтказувчанлик токига тенг бўлади.

Занжирдан ўтаётган токнинг оний қиймати I бўлсин, конденсатор қопламаларидаги заряднинг сирт зичлигини $\sigma = \frac{q}{S}$ деб олайлик. У ҳолда конденсатор пластинкаси ичидаги ўтказувчанлик токи зичлигининг қиймати

$$j_{\text{умк}} = \frac{I}{S} = \frac{dq}{S} \frac{1}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{q}{S} \right) = \frac{d\sigma}{dt} \quad \text{ёки} \quad j_{\text{умк}} = \frac{d\sigma}{dt} \quad (11.1)$$

бўлади.

Иккинчи томонидан шу моментдаги пластинкалар оралиғидаги электр майдон кучланганлигининг қиймати

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} \quad \text{тенг эди.}$$

Майдоннинг электр индукцияси эса

$$D = \varepsilon_0 \varepsilon E = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} = \sigma \quad (11.2)$$

га тенг. Вақт ўтиши билан пластинкалардаги заряднинг сирт зичлиги ўзгаради. Бу эса пластинкалар оралиғидаги электр майдон индукцияси қийматининг ўзгаришига сабабчи бўлади, яъни:

$$\frac{\partial D}{\partial t} = \frac{d\sigma}{dt} \quad (11.3)$$

Ҳамма вақт $\frac{\partial D}{\partial t}$ нинг йўналиш ўтказувчанлик токининг йўналиши билан бир хил бўлади.

$\frac{\partial D}{\partial t}$ нинг бирлиги

$$\frac{\partial D}{\partial t} = \frac{K_{\text{л.}}}{M^2} \cdot \frac{1}{c} = \frac{A}{M^2} \quad \text{бўлади.}$$

$\frac{\partial D}{\partial t}$ катталиқ Максвелл гипотезасига асосан, силжиш токининг зичлигидир, яъни:

$$j_{\text{силж}} = \frac{\partial D}{\partial t} \quad (11.4)$$

Шундай қилиб, ўзгарувчан ток занжирида ўтказгичлардаги ўтказувчанлик токининг чизиқлари конденсатор пластинкалари оралиғидаги силжиш токининг чизиқларига уланиб кетади.

Максвелл назариясининг асосини унинг номи билан аталадиган тўртта тенглама ташкил этади.

1. Кўзгалмас заряд q атрофидаги фазода электр майдон ҳосил қилади. Бу майдон потенциал майдондир. Бу майдон кучланганлик вектори E_q нинг ихтиёрий берк контур бўйича циркуляцияси нолга тенг:

$$\oint_l E_q dl = 0 \quad (11.5)$$

Уюрмавий электр майдон кучланганлиги E_B нинг чизиклари доимо берк. Шунинг учун, E_B - векторининг ихтиёрий берк контур бўйича циркуляцияси нолдан фарқли

$$\oint_l E_B dl = - \int_S \left(\frac{\partial B}{\partial t} \right)_n dS \quad (11.6)$$

Натижавий майдон кучланганлиги E_q ва E_B майдон кучланганликларнинг йиғиндисидан иборат бўлиши керак, яъни

$$E = E_q + E_B$$

(13.45) ва (13.46) тенгламаларни қўшсак

$$\oint_l E dl = - \int_S \left(\frac{\partial B}{\partial t} \right)_n dS \quad (11.7)$$

Бу ифоданинг чап томонидаги интеграл ихтиёрий берк контур бўйича, ўнг томонидаги интеграл эса шу контурга тиралган ихтиёрий сирт бўйича олинади. **Бу Максвеллнинг биринчи тенгламасидир.**

2. Магнит майдон ҳаракатдаги зарядлар атрофидагина эмас, балки фазонинг вақт давомида ўзгариб турувчи электр майдон мавжуд бўлган барча соҳаларида ҳам вужудга келади. Ўзгарувчан электр майдон индукцияси векторининг ўзгариш тезлигини характерловчи $\frac{\partial D}{\partial t}$ катталикини силжиш токининг зичлиги $j_{\text{силж}}$ деб юритилиши билан юқорида танишдик (12.4) қаранг). Агар занжирдаги тўлиқ ток зичлигини j_T деб белгиласак

$$j_T = j_{\text{умк}} + j_{\text{силж}} = j_{\text{умк}} + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (11.8)$$

ҳосил бўлади. (13.48) дан фойлансак, магнит майдон кучланганлик векторининг ихтиёрий берк контур бўйича циркуляцияси учун қуйидагини ёзамиз:

$$\oint_l H dl = - \int_S \left(j_{\text{умк}} + \frac{\partial D}{\partial t} \right)_n dS \quad (11.9)$$

Бу ифода **Максвеллнинг иккинчи тенгламаси** деб аталади. У магнит майдон кучланганлик вектори H нинг ихтиёрий берк контур бўйича циркуляцияси, шу контурга тиралган ихтиёрий S - сиртни тешиб ўтувчи макроскопик ва силжиш тоқларининг алгебраик йиғиндисига тенглигини кўрсатади.

3. Электр индукция вектори D нинг ихтиёрий берк сирт орқали оқими шу сирт ичидаги барча эркин зарядларнинг алгебраик йиғиндисига тенг:

$$\oint D_n dS = \int_V q dV \quad (11.10)$$

бундаги ρ - берк сирт ичида жойлашган зарядларнинг ҳажмий зичлиги.

Бу Максвеллнинг учинчи тенгламасидир.

4. Магнит майдон қандай усул билан ҳосил қилинмасин магнит индукция чизиклари доимо берк бўлади. Шунинг учун умумий ҳолда:

$$\oint B_n dS = 0 \quad (11.11)$$

Бу Максвеллнинг тўртинчи тенгламасидир. Юқоридаги тўртта тенглама **интеграл** **куринишдаги Максвелл тенгламаларидир.**

Энди Максвелл тенгламаларини дифференциал кўринишини ёзайлик:

$$\text{rot} E = - \frac{\partial B}{\partial t} \quad (11.12)$$

$$\text{rot} H = j_{\text{ymk}} + \frac{\partial B}{\partial t} \quad (11.13)$$

$$\text{div} D = \rho \quad (11.14)$$

$$\text{div} B = 0 \quad (11.15)$$

Максвеллнинг бу тенгламалари табиат қонунларининг ифодасидир.

Биз соддалик учун ясси электромагнит тўлқинларни қараймиз.

Ясси тўлқин учун X ва Y бўйича ҳосилалар O га тенг бўлади :

$$- \mu \frac{dH_z}{dt} = 0, \quad \frac{dH_z}{dt} = 0 \quad (11.16)$$

Шундай қилиб, H_z катталик фазо ва вақтда доимийдир. $H_z = 0$ (15.11) ва (15.13) тенгламалардан $E_z = 0$ келиб чиқади. H_z ва E_z қийматларнинг доимийлиги шуни билдирадики, H ва E нинг ўзгариши ёки тебраниши Z ўқиға перпендикуляр йўналишда рўй беради. Бу ердан шундай хулоса келиб чиқадики, электромагнит тўлқинлар кўндаланг тўлқиндир.

Соддалик учун ясси қутбланган тўлқинларни қараймиз. Биз фақат электр майдоннинг тебраниш йўналиши X ва Y ўқи бўйича танлаб оламиз. E_x майдонни қараймиз $E_y = 0$. Бу ҳолда (12.16) дан:

$$- \mu \frac{dH_y}{dt} = \frac{dE_x}{dz}, \quad (11.17)$$

$$\varepsilon \frac{dE_x}{dt} = - \frac{dH_y}{dz}, \quad (11.18)$$

$$\frac{d^2}{dzdt} = \frac{d^2}{dtdz}, \text{ ни хисобга олсак,}$$

ва t бўйича ҳосила ва Z бўйича ёзамиз.

H_y учун тенгламани топамиз:

$$\frac{d^2 H_y}{dz^2} = \mu\epsilon \frac{d^2 H_x}{dt^2}, \quad (11.19)$$

Шундай қилиб, иккала майдон E_x ва H_y бир хил тенгламага бўйсинади, ва Z ўқи бўйича $V^2 = 1/\mu\epsilon$ тезлик билан тарқалади. Эркин фазода бу тезлик ёруғлик тезлигига тенг, яъни $C^2 = 1/\mu_0\epsilon_0$,

бу ерда μ_0 ва ϵ_0 маълум катталиқ.

Бу тенгламаларнинг ечими қуйидагича бўлади:

$$E_x = E_0 \sin(2\pi/\lambda), \quad H_y = H_0 \sin(2\pi/\lambda),$$

бу ерда E_0 ва H_0 - E ва H нинг майдонларининг амплитудаси.

Биз электромагнит тўлқинни график равишда тасвирладик.

Тўлқиннинг тарқалиш йўналиши ҳамма вақт E^*H векторининг йўналиши билан мос келади. Бу ҳолда E^*H вектори $E_x H_y$ катталиқка эга бўлади ва Z ўқи бўйича йўналган. Бу вектор кўпайтма ўлчамликка эга бўлади.

E^*H вектор кўпайтмага Пойтинг вектори дейилади ва у энергия оқимини зичлигини ифодалайди.

ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЎЛҚИН ЭНЕРГИЯСИ. УМОВ-ПОЙТИНГ ВЕКТОРИ ВА УНИНГ КУЛЛАНИШИ.

Электростатик ва магнитостатик майдон энергия зичликлари $\epsilon_0 \epsilon E^2/2$ ва $\mu_0 \mu H^2/2$ га тенг эди. Электромагнит майдонида электр ва магнит майдонларининг энергия зичликлари ҳам ҳар бир нуктада ўзгаради ва у қуйидагига

$$W = W_{\epsilon} + W_{\mu} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2}$$

тенг. E ва H векторларининг бир-бири билан узвий равишда боғланганлигини ҳисобга олсак, энергия зичлигини унга эквивалент формада қуйидагича ёзиш мумкин:

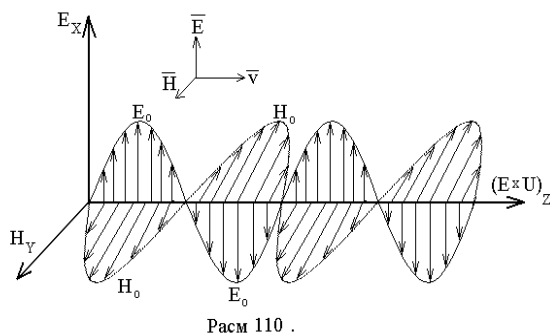
$$W = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = \epsilon_0 \epsilon E^2 = \mu_0 \mu H^2 = \sqrt{\epsilon_0 \mu_0 \epsilon \mu} EH, \quad (11.20)$$

Тўлқин тарқалишида электр ва магнит майдонлари ҳам фазада тарқалади, шу билан бирга энергия ҳам тарқалади. Энергиянинг тарқалишини характерлаш учун энергия оқим

зичлиги вектори деган катталики киритилади, ёки унга Умов-Пойтинг вектори деб айтилади. Бу векторни \mathbf{S} билан белгиланади ва у қуйидагича аниқланади:

$$\mathbf{S} = [\mathbf{E}\mathbf{H}], \quad (11.21)$$

Қуйидаги расм 11.3 да \mathbf{S} , \mathbf{E} , \mathbf{H} векторларнинг ўзаро перпендикулярлиги кўрсатилган.



11.3-расм

Расмдан кўринадик, \mathbf{S} вектор электромагнит тўлкини тарқалиш йўналиши бўйича йўналган.

\mathbf{E} ва \mathbf{H} векторлар вақт бўйича ўзгарганлиги учун энергия оқим зичлиги ҳам вақт бўйича ўзгаради. Монохроматик тўлкин учун (11.20) ҳисобга олсак, (11.22) қуйидаги кўринишга эга

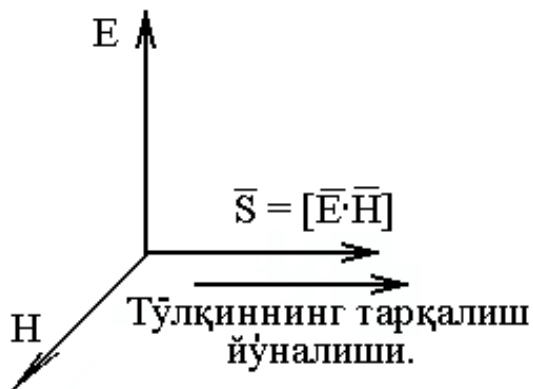
бўлади:

$$S = EH = E_0 H_0 \sin^2(\omega t - kx), \quad (11.22)$$

Умов-Пойтинг вектори қўлланишига доир мисолларни

қараб чиқамиз.

а). Маълумки юқори частотали тўлкинларда (радио ва ёриғлик) амалий жиҳатдан энергия оқим зичлигини вақт бўйича ўртачасини билиш керак бўлади ёки интенсивлик $I \sim S$ энергия зичлигига пропорционал бўлади. Буни қуйидагича кўрсатиш мумкин: синус квадратнинг ўртачаси $1/2$ тенг, (11.21) формулани ҳисобга олсак,



11.4 Расм

$$I = S = E_0 H_0 / 2 = 1/2 \sqrt{\epsilon_0 \epsilon / \mu_0 \mu} E_0^2 = 1/2 \sqrt{\mu_0 \mu / \epsilon_0 \epsilon} H_0^2, \quad (11.23)$$

Шундай қилиб, интенсивлик амплитуданинг квадратага пропорционал бўлади (бу ҳар қандай физик табиатдаги тўлкинлар учун ўринли бўлади).

б) электромагнит энергия оқими зичлиги ёки Пойтинг векторини расм 11.4 да кўрсатилган ҳол учун қараб чиқамиз.

Схемада конденсатор U қучланишгача зарядланди. Конденсатор оралиғи диелектрик билан тўлдирилган. Зарядлаш вақтида конденсатор орқали ток ўтади. Таҳлил шуни кўрсатдики Пойтинг вектори диелектрик эгаллаган ҳажмнинг ичига қараб йўналган

бўлади. Конденсатор сизими $C = \epsilon C/d$, у вақтда зарядланган конденсатор энергияси $(1/2)CU^2$ ва электростатик энергия кўринишида запасга эга бўлади. лекин $V = Ed$ бўлгани учун,

$$(1/2)CU^2 = (1/2)(\epsilon C/d)^2 E^2 d^2 = (1/2)(\epsilon E^2)Cd, \quad (11.24)$$

Шундай қилиб, конденсатордаги энергия зичлиги $(1/2)(\epsilon E^2)$ бўлган энергия запаси эканлиги, бу эса зарядланиш вақтида ҳосил бўлган энергия оқими билан боғлангандир. Конденсаторни зарядлаш жараёнида Пойтинг вектори конденсатор ҳажми ичига қараб йўналган бўлади. Зарядлаш охирида унинг энергияси тўла равишда электростатик бўлади.

в) Жоул - Ленц қонуни бўйича ўтказгичда ажралиб чиққан иссиқлик миқдори электромагнит энергиясининг давоми эканлигини Пойтинг вектори орқали кўрсатиш мумкин. Маълумки, ўтказгичдан ток ўтганда ажралиб чиққан иссиқлик миқдори дифференциал кўринишда қуйидагига тенг эди.

$$W = \sigma E^2 \quad (11.25)$$

Бу формуладан кўринадикки, ҳақиқатдан ҳам ажралиб чиққан энергия миқдори кучланганликнинг квадратага пропорционал эканлигидир.

ТАЯНЧ СЎЗ ИБОРАЛАР

Максвелл тенгламалари, Силжиш токи, Электромагнит тўлқинлар, Электромагнит тўлқин тенгласи, Энергия зичлиги, Умов – Пойтинг вектори.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. ЭМ тўлқинлардаги электр майдони шимол томонга саёҳатида шарқий-ғарбий самолётда тебраниди. Ушбу тўлқиндаги магнит майдон векторининг йуналишини аниқланг. Тушунтиринг.
2. Товуш ЭМ тўлқинми? Агар йўқ бўлса, қандай тўлқин у?
3. Идеал вакуумда ЭМ тўлқинлар бемалол ҳаракатлана олишадими? Товуш тўлқинларичи?
4. Қачонки сиз светни ёқганинигизда, ёруғлик дархол тарқаладими? Тушунтиринг.
5. Инсон кузи илғай оладиган тўлқин узунлигидан радио ва телевизор сигналлари тўлқин узунлиги калтаи ёки узун?
6. Стерео кучайтирувчига 2 та радиокарнайни улаганимизда, киритилиш қисми тенг узунликда бўлишига ишончингиз комилми? Тушунтиринг.
7. Электромагнит спектрида, 10^3 км тўлқин узунлигига эга бўлган қандай ЭМ тўлқини мавжуд? 1 км? 1 м? 1 см? 1 мм? 1 микром?
8. Радио тўлқинлар товуш тўлқинлари каби бир хил частотага эгами? (20 Hz-20,000 Hz)?
9. Қандай қилиб симсиз телефонлар ЭМ тўлқинлари орқали ишлашини тушунтиринг. Уяли алоқа телефонларичи?
10. Йўқолган инсон электр чирокни ёкиб учирини орқали Морзе коди каби сигнал беради. Бу аслида ўзгартирилган ЭМ тўлқинидир. Бу АМ ёки FM? Узатгичнинг тахминий частотаси нечига тенг?

11. Тасаввур қилинг, қачон кучланиш ортаётганда сиз электр майдон кучланганлиги E вектори бўйлаб қараяпсиз.

Магнит майдон индукция чизиқлари қандай йўналган: соат стрелкаси бўйлабми ёки тескарими? Агар E вектор сизга йўналган ва E қиймат камаяди?

12. Товуш электромагнит тўлқин ҳисобланадими? Агар бўлмаса, у қандай тўлқин?

13. Абсолют вакуумда электромагнит тўлқинлар ларқалиши мумкинми? Товуш тўлқинларичи?

14. Товуш билан ёруғликнинг қандай фарқи бор?

ЁРУГЛИКНИНГ АСОСИЙ ҚОНУНЛАРИ

Режа:

1. Ёруғликнинг асосий қонунлари.
2. Ёруғликнинг қайтиш ва синиш қонунлари.
3. ЁруғликтабиатитўғрисидаНьютонваГюйгенсназариялари.
4. Ёруғлик интерференцияси. Когерент тўлқинлар.
5. Интерференциянинг максимумлик ва минимумлик шартлари.
6. Ёруғлик интерференциясини ҳосил қилиш усуллари

Кўриш имконияти фавқулодда жуда муҳим, чунки кўриш орқали ташқи оламдан жуда кўп маълумотларни оламиз. Биз қандай кўрамиз? деган саволни қўямиз. Ёруғликдан бошқа ҳеч нарса, кўзимизга тушганида кўриш сезгисини ҳосил қилмайди. Ёруғлик ўзи нима? Кузатишларда кўриш сезгиси орқали қай йўсинда ҳаддан ташқари кўп ҳодисаларни кўришга эришамиз. Қуйида қаралаётган бир неча мавзулар предмети ёруғлик бўлади.

Шундай қилиб ёруғлик –моддалардан чиқувчи кўзга кўринадиган электромагнит тўлқиндир. Ёруғлик тўғрисида икки хил назария мавжуд бўлиб, булар Ньютоннинг “Корпускуляр” ва Гюйгенснинг “Тўлқин” назарияларидир. Ньютон назариясига асосан ёруғлик зарралар оқимидан иборат. Гюйгенс назариясига асосан ёруғлик тўлқин табиатига эга. Дастлаб , Ньютон назарияси, кейинчалик Гюйгенс назарияси ёруғликни тушунтиришда устун келиб турди, лекин кейинчалик ёруғлик икки хил табиатга эга эканлиги маълум бўлди. Ёруғлик моддадан чиқаётганда ёки моддага ютилаётганида ўзини худди заррадек тутати, фазода тарқалаётганда эса ўзини тўлқиндек тутати [1].

Ёруғлик тўғрисида учта асосий қонуният мавжуд: ёруғликни бир жинсли муҳитда тарқалиши, ёруғликни қайтиши ва ёруғликни синиши. Бу қонуниятлар оптиканинг геометрик оптика қисмида ўрганилади.

Геометрикоптикада-ёруғликнингтабиатихақидасўзюритилмайди, унингтўғричизикбўйлабтарқалиш, қайтишвасинишқонунлариўрганилади.Оддийкўзойнақдантортиб, улканастрономикқурилмалардагимураккабобективларгачабўлганбарчаоптикасбобларнияс ашдағихисоб-китобгеометрикоптикақонунлариасосидаамалгаоширилади.

Физикоптикада-ёруғликнингтабиативаёруғликҳодисаларигаалоқадормуаммоларўрганилади.

Физиологикоптика-эсаёруғликнингривожланувчиорганизмгатаъсириниўрганади.

Ёруғлик манбалари. Ёруғлик манбалари деганда, исталган турдаги энергияни ёруғлик энергиясига айлантирувчи, яъни ёруғлик чиқарувчи моддалар назарда тутилади.

Улар табиий васунъий бўлиши мумкин. Табиий ёруғлик манбаларига Қуёш, юлдузлар ва бошқа турли хил разрядлар мисол бўлади. Сунъий ёруғлик манбаларига чўғланма электр лампалари, газли лампалар ва ҳ.к. мисол бўлади

Нуктавий манба.. Хусусий ўлчамлари чиқараётган ёруғлигининг таъсири ўрганилаётган жойгача бўлган масофага нисбатан эътиборга олинмайдиган даражада кичик бўлган ёруғлик манбайи нуқтавий манба дейилади.

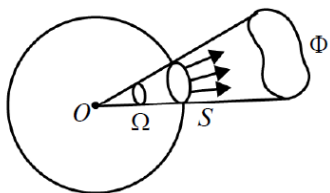
Фотометрия. Оптиканинг ёруғликнинг энергетик характеристикаларини ўрганувчи бўлими *фотометрия* дейилади. Фотометрияда қуйидаги катталиклардан фойдаланилади:

– энергетик катталиклар: бунда ёруғликнинг энергетик характеристикалари унинг қабул қилувчига таъсирини эътиборга олинмай қаралади;

– ёруғлик характеристикалари: бунда ёруғликнинг кўзга ёки бошқа қабул қилувчиларга физиологик таъсири эътиборга оlinиб, унинг кучи айнан шу таъсирга асосан баҳоланади. Фотометриянинг асосий энергетик катталиги *нурланиш оқимидир*.

Нурланиш оқими деб, нурланиш қувватига, яъни вақт бирлигидаги нурланиш энергиясига айтилади. Нуктавий манбанинг исталган йўналишдаги, яъни исталган фазовий бурчак орқали нурланиш оқими бир хил бўлади.

1. Φ ёруғлик оқими – вақт бирлигида исталган юза орқали ўтадиган нурланиш энергияси. 1- расмда W фазовий бурчак қаршисидаги S юза орқали нуктавий манба чиқараётган ёруғлик оқими кўрсатилган. Агар барча йўналишлардаги ёруғлик оқимлари қўшиб чиқилса, манбанинг тўла ёруғлик оқими ҳосил бўлади [1].



6.1-расм.

Ёруғлик оқимининг СИ даги бирлиги – люмен .

2. I ёруғлик кучи ёруғлик манбайидан фазовий бурчакбўйлаб тарқалаётган ёруғлик

оқимининг шу фазовий бурчакканисбати билан аниқланади: $I = \frac{\Phi}{\Omega}$ (6.1)

Ёруғлик кучининг СИ даги бирлиги – кандела (сд).

Агартўлафазовийбурчак 4π стреридианга тенглигининазардатутсак,

$$I = \frac{\Phi}{4\pi} \quad (6.2)$$

ниҳосилқиламиз. Агар (1) дан ёруғликоқимини аниқласак,

$$\Phi = I \cdot \Omega$$

(6.3)

ниолаамиз.

Топилганифодаёрдамидаёруғликоқимининг СИ даги бирлиги люменни (лм) аниқлаш мумкин.

Люмен

–

1

србурчакбўйлаб 1

сд ёруғлик кучига тенг нурланиш чиқарадиган нуктавий манбанинг ёруғликоқими.

- 3.

Ёритилганлик

–

Сюзалисиртга тўшаётган Φ ёруғликоқимининг шу юзага нисбати билан аниқланади:

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (6.4)$$

Ёритилганликнинг бирлиги – лукс (лк).

Лукс

–

1

лм ёруғликоқимининг 1

m^2 юзада текис тасимланганда ҳосил қиладиган ёритилганлиги.

Демак, ёруғлик тўшаётган сиртдаги ёритилганлик ёруғлик кучига тўғри, ёруғлик манбайидан ёритилаётган сиртга чабўлган масофанинг квадрати га эсатескари пропорционал бўлар экан.

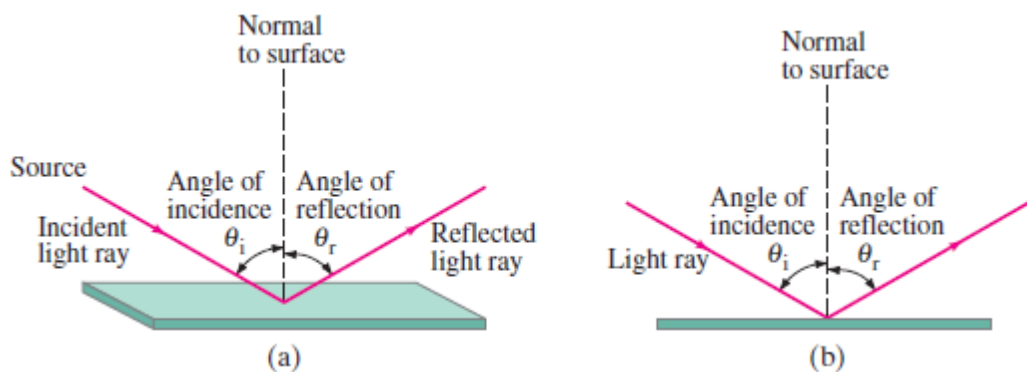
Геометрик оптика – оптиканинг ёруғлик нурлари ҳақидаги тасаввурлар асосида оптик нурланиш (ёруғлик)нинг тарқалиш қонуниятларини ўрганадиган бўлими.

Геометрик оптикада озгина тушунча ва қонунлар (ёруғлик нури тўғрисида тасаввур, ёруғликнинг қайтиши ва синиши қонунлари)га асосланиб, кўпгина муҳим амалий натижаларни олиш мумкин.

Ёруғлик табиати тўғрисидаги тасаввурларнинг ривожланиши. Оптика фани физиканинг катта ва муҳим бир қисми бўлиб, ёруғликнинг табиати, қонуниятлари ва жисм билан ўзаро таъсирлашув жараёнини ўрганади. Инсон қачонлардир оламга келиб кўзини очганда, албатта биринчи бўлиб унинг кўзига нур тушган, оламни кўрган. Лекин нурнинг табиати тўғрисида илмий тушунчалар фақат XIX асрга келиб шакллана бошлади. Бу вақтга келиб бир-биридан принципал равишда фарқ қиладиган икки назария пайдо бўлди. Ньютон ишлаб чиққан корпускуляр назария ва Гюйгенс ишлаб чиққан тўлқин назария XIX асрнинг охиригача корпускуляр назария устунлик қилиб келди. Фақат XIX асрнинг бошларида Юнг (1801й) ва Френел (1815 й) тўлқин назариясини анча такомиллаштирдилар, янги тўлқин назария асосига Гюйгенс-Френел принципи қўйилди. Тез орада Гюйгенс-Юнг-Френел назарияси деярли ҳамма оптик жараёнларни, шу жумладан, интерференция, дифракция ва поляризацияни тушунтириб бера олди, бунда эфир тушунчаси ишлатилмади. Натижада корпускуляр назария вақтинча четга суриб қўйилди. Лекин ёруғликнинг тўлқин табиати эканлиги ҳақидаги тушунчалар XIX асрнинг охиригача ҳукмрон бўлиб келдилар, лекин бу пайтга келиб тўлқин назария тушунтириб бера олмайдиган анчагина илмий фактлар йиғилиб қолди, кимёвий элементларнинг нурланиш спектрлари, иссиқлик нурланишининг спектрал тақсимооти, фотоеффект ва бошқа оптик жараёнлар.

Ёруғликнинг қайтиш қонунлари. Тажриба ва назария шуни кўрсатадики, ёруғлик ҳар хил шаффоф муҳитларда ҳар хил тезлик билан тарқалади, бу тезликлар ёруғликнинг вакуумдаги тезлигидан кам бўлади.

Ёруғлик икки муҳит чегарасига тушганда, шу сиртдан қайтади. Нур ўзининг йўналишини ўзгартиради ва шу муҳитнинг ўзига қайтади. 6.2-расмда нурлар дастаси ясси сиртдан қайтиши кўрсатилган. Бу жараён маълум қонуниятга бўйсунди. Бу қонунга – ёруғлининг қайтиш қонуни дейилади. 6.2-расмда тушувчи нур қайтувчи ва ёруғлик тушувчи сиртнинг нуқтасига туширилган перпендикуляр OC тасвирланган.



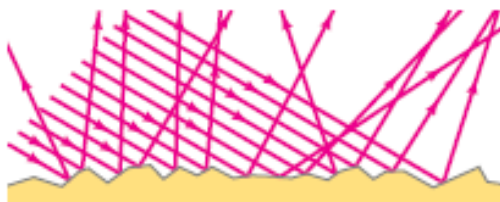
6.2-расм

Ёруғликнинг қайтиш қонуни: сиртга тушувчи нур, қайтган нур ва ёруғлик тушиш нуқтасига туширилган перпендикуляр битта текисликда ётади;

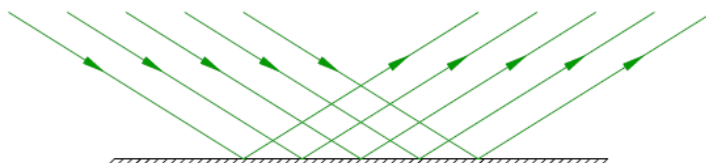
Ёруғликнинг тушиш бурчаги қайтиш бурчагига тенг: $\theta_1 = \theta_2$.

Агар ёруғлик нурлари дастаси нотекис (ғадир-будир) сиртга тушса, қайтувчи нурлар ҳамма тарафга сочилиб қайтади. Бундай қайтишга диффуз қайтиш дейилади (6.3-расм).

3-расм. Нотекис сиртга тушган параллел нурлар дастасининг сочилиши.

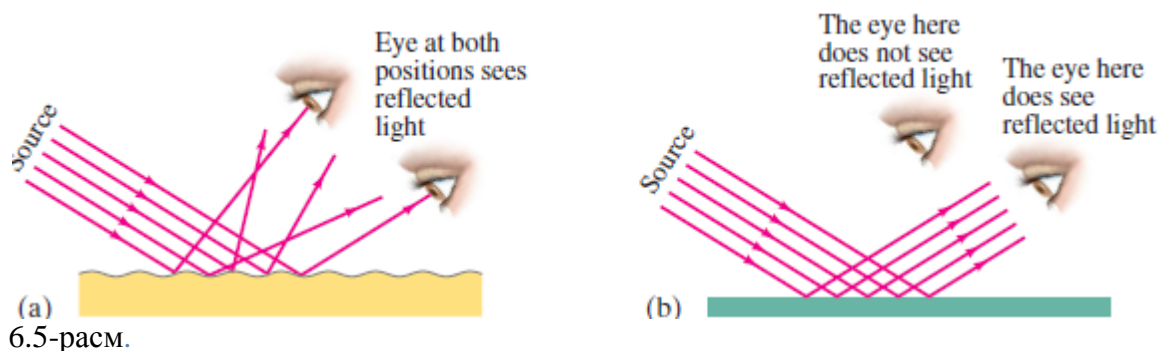


Сиртга туширилган параллел нурлар дастаси параллел қайтса, бундай қайтишга кўзгу қайтиш дейилади (6.4-расм):



6.4-расм. Ясси қайтарувчи сиртга туширилган нурлар дастаси ва қайтган нурлар дастаси.

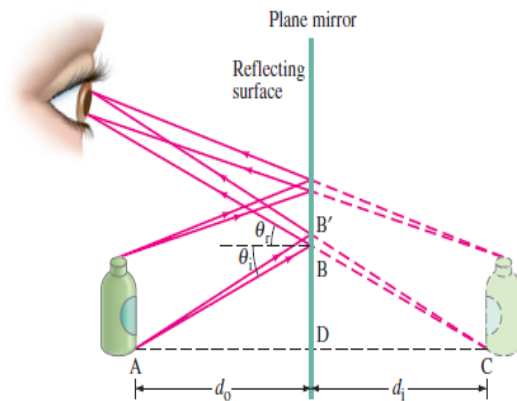
Диффуз қайтишда қайтган нурларни ҳар тарафдан қараганда ҳам кўриш мумкин (6.5а-расм), кўзгу қайтишда қайтган нурларни фақат бир йўналиш бўйича кўриш мумкин, бошқа тарадан қараганда нурлар қузатувчига тушмайди (6.5б-расм).



6.5-расм.

Текис сиртли кўзгу –бу тушувчи нурларни кўзгу қайтарувчи текислик бўлаги. Уйингизда кундалик фойдаланиладиган жиҳозлардан бири бўлган ясси кўзгудир. Аммо биз ҳозир нима учун кўзгуга қараганда ўз аксимизни ва атрофимиздаги жисмларни кўришимиз мумкинлигини сабабларини муҳокама қиламиз.

Ёруғликнинг S нуқтавий манбаси ҳамма томонга нурларини сочади (6.6-расм), улардан кўзгуга тушувчи икки нури олиб қараймиз. Бунда қайтаётган нурлар нур чқарувчи S нуқтага симметрик бўлган S_0 нутқадан чиқаётгандай кўрамиз.

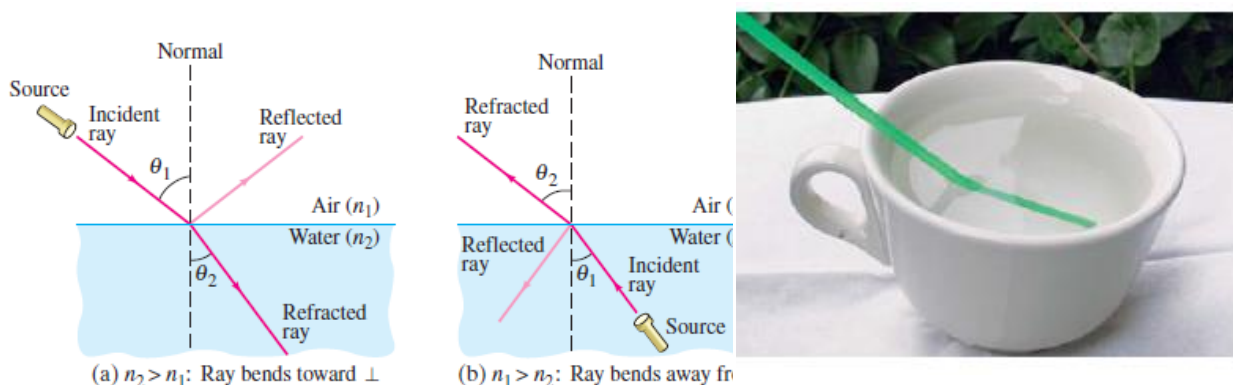


6.6-расм.

Енг қизиғи S_0 чиқаетган нурлар кўзимизга тушади. Ўзига хос жиҳати шундаки, бизнинг тасаввуримизда кўзимизга тушаётган нурланинг давомлари кесишган нуктада S_0 мавҳум ёруғлик манбаи жойлашган. Гўёки S_0 ёруғлик чиқарувчи манбадай туйилади. Бу нукта S нуктанинг кўзгудаги аксини таъсирлайди. Албатта, ҳақиқатда кўзгу орқасида ҳеч нарса нур сочмайди, ҳеч қандай энергия манбаи йўқ, бу фақат иллюзиядир. Шунинг учун кўзгудаги S_0 нукта S манбанинг мавҳум тасвиридир [3].

Ёруғликнинг синиш қонунлари.

Ёруғликнинг синиш қонуни. Бир муҳитдан иккинчи муҳитга ўтган нурнинг ўз йўналишини ўзгартиришига ёруғликни синиши дейилади. *Тушаётган нур, синган нур ҳамда икки муҳит чегарасидаги, нурнинг тушиш нуктасига ўтказилган перпендикуляр бир текисликда ётади (расм 6.7).*



Расм 6.7. а,б,в.

Тушиш бурчаги синусининг синиш бурчаги синусига нисбати шу икки муҳит учун ўзгармас катталиқдир:

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{21} \quad n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2. \quad (6.5)$$

бу ерда n_{21} – иккинчи муҳитнинг биринчисига нисбатан нисбий синдириш кўрсаткичи. Синиш қонуни голланд олими В. Снеллиус (1621 й) томонидан тажрибада исботланган.

Муҳитнинг абсолют синдириш кўрсаткичи. *Муҳитнинг абсолют синдириш кўрсаткичи деб, унинг вакуумга нисбатан олинган синдириш кўрсаткичига айтилади. У ёруғликнинг бўшлиқдаги тезлиги с нинг шу муҳитдаги тезлиги v - га нисбати билан аниқланади, яъни*

$$n = \frac{c}{v} \quad (6.6)$$

Тоўлаички қайтиш; Толаоптикаси

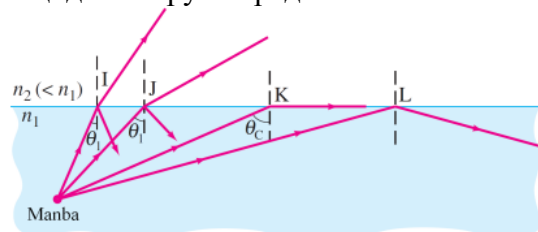
Ёруғлик бирор материалда синдириш кўрсаткичи кичикбўлганикинчиматериалга (масалан, сувданҳавога) ўтса, синган ёруғлик нурлари 12-8-расмдаги I ва J нурлар каби нормалдан кўпроқ оғади. Баъзи тушишбурчакларидаурларнингсинишбурчаклари 90° га

тенг бўлиб, синган нур икки материални чегараси бўйлаб тарқалади (K нур). θ_c тушиш бурчагига – чегаравий бурчак дейилади. Снеллиус қонунидан θ_c қуйидагича топилади

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}, \sin 90^\circ = \frac{n_2}{n_1}. \quad (6.7)$$

θ_c дан кичик бўлган баъзи бир тушиш бурчагида, нурнинг бир қисми синади бошқа қисми эса икки муҳит чегарасида қайтади. Аммо, тушиш бурчаги θ_c дан каттароқ бўлган ҳол учун, Снеллиус қонунидан бизга маълум бўладики, яъни $n_2 < n_1$ бўлганида $\sin \theta_2 = (n_1 \sin \theta_1 / n_2)$ ифоданинг қиймати 1.00 дан катта бўлади. Бурчакнинг синусини қиймати ҳеч қачон 1.00 дан катта бўлиши мумкин эмас. Бу ҳолда синувчи нур умуман ёруқ ва 6-8-расмдаги L нурга оўхшаб, ҳамма ёруғлик қайтади. Бу ҳодисага ёруғликнинг тўла қайтиши деб аталади. Фақат иккинчи муҳитнинг синдириш кўрсаткичи кичик бўлганида, икки муҳит чегарасига тушган нурларнинг тўла ички қайтиши ҳодисаси рўй беради.

Иккинчи муҳитнинг синдириш кўрсаткичи кичик бўлгандагина, тўла ички қайтиши ҳодисаси рўй беради



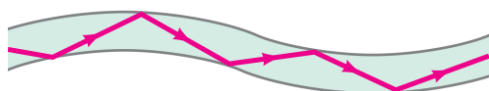
6-8-расм. $n_2 < n_1$ бўлганида, агар тушиш бурчаги $\theta_1 > \theta_c$ бўлса, худди L нур каби ёруғлик нурлари тўла ички қайтади. Агар $\theta_1 < \theta_c$, I ва J каби ёруғлик нурларининг бир қисми қайтади ва қолган қисми синади.

Оптик толалар; Медицина қурилмалари

Оптик толалар-коммуникация (алоқатизими)

тармоқларида вазифасида қўлланилади -бронхоскопия, колоноскопия ва эндоскопия.

Оптик толаларнинг ишлаш принципи асосидан тўла ички қайтиш ётади. Одатда, диаметри бир неча миллиметрдан ташқил топган ингичка шиша ёки пластик толалардан фойдаланилади. Слиндрсимон шаффоф толалар ўрамага – световод (ёруғлик ташувчи труба) ёки оптик толали кабел дейилади. Ёруғлик шаффоф тола бўйлаб тўла ички қайтиш орқали деярли сўнмасдан тарқалади. 6-9-расмда ёруғлик нурининг қандай қилиб ингичка тола деворларига фақат қия урилиб қайтиши кўрсатилган ва бунда тўла ички қайтиш ҳодисаси содир бўлиши кўрсатилган. Ҳатто агар световод кабел чигал ҳолда ўралиб бироз букилганда ҳам чегаравий бурчак ўзгариб кетмайди, ёруғли амалда камаймасдан (ўзгармасдан) охиригача боради. Ўқотишлар жуда кичик қийматларда содир бўлади, асосан тола ичида кетма-кет қайтишларнинг охирида ёруғлик абсорбцияси (ютилиши) ҳисобига жуда кичик йўқотилади.

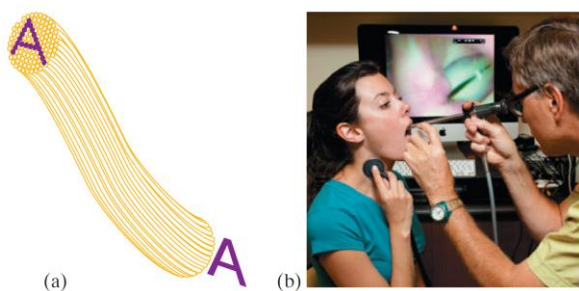


6-9-расм. Ёруғлик шиша ёки шаффоф пластик толанинг ички сиртида тўлиқ қайтади.

Коммуникация ва медицина соҳасида оптик толали кабелларни қўллаш жуда муҳим ҳисобланади. Улар (оптик толалар) телефон тармоқларида, видео сигналлар ва компьютер маълумотларини узатишда симлар ўрнида фойдаланилади. Сигналлар ёруғли

нурларига модуляцияланади (ёруғлик нурлари интенсивлиги тез ўзгара олади) ва маълумотлар жуда катта тезликларда, кам йўқотишлар билан ва мис симлардаги электр сигналлари бўлганидан кўра кам интерференциялар (яъни, интерференция ҳодисаси туфайли тўсқинликлар) билан узатилади. Оптик тола юздан оптик ҳар хил узунликли тўлқинлар билан секундига 10 гигабит (10^{10} bit) информация (ахборот) ни ўтказоладиган қилиб ишланган. Бу юздан оптик тўлқинларни секундига бир терабит тезлик билан ўтказолади деган гапдир.

6-10-расмдагига ўхшаш, оптик толаларни тасвирни аниқ узатиш хусусияти асосан медицинада аҳамиятлидир. Масалан, беморнинг оғзи орқали бронхоскоп деб аталувчи оптик толали кабелни осонгина қўйиб, ўпкасининг пастки бронхларини текшириш мумкин. Ўпкани ёритиш учун четки қўшимча оптик толалар орқали ёруғлик юборилади. Қайтган ёруғлик асосий оптик толалар орқали қайтади. Ёруғлик бевосита ҳар бир оптик тола орқали юқорига етиб келади. Оптик толанинг бир томонида кузатувчи худди телевизор экранига ўхшаш ёруғ ва қора доғлар сериясини кўради, тасвир эса толанинг иккинчи томонида ҳосил бўлади. Ҳар бир толанинг учига линзалар қўйилади. Тасвирни эса бевосита экранда ёки плёнкада кўриш мумкин. Толалар бир биридан синдириш кўрсаткичи толаникидан кичик бўлган қоплама билан изолятсияланган (ажратилган) бўлиши лозим. Толалар қанчалик кўп бўлиб, шунчалик ингичка бўлиши тасвирнинг аниқ бўлишига олиб келади. Бронхоскоп, колоноскоп (йўғон ичакни текшириш учун) ва эндоскоп (ошқозон ёки бошқа органлар учун) каби қурилмалар ўрганиш (текшириш) қийин бўлган жойларда жуда фойдалидир.



6-10-расм. (а) Оптик толали тасвирнинг қандай қилиб ҳосил бўлиши. (б) Мисол учун, оптик толали асбоб товуш пайчаларини текшириб, тасвирини экранда ҳосил қилиши учун оғиз орқали қўйилган

Кўп асрлик тажрибалар натижасида ва ёруғлик ҳақидаги тасаввурларнинг кенгайиши оқибатида ёруғликнинг корпускуляр (Н.Ньютон) ва тўлқин (Р.Гук ва Х.Гюйгенс) назариялари яратилди. Корпускуляр назарияга биноан ёруғлик-нурланаётган жисмлардан отилиб чикувчи зарра (корпускула)лардан иборат бўлиб, улар тўғри чизик бўйлаб тарқаладилар.

Тўлқин назариясида эса ёруғлик эфир деб аталувчи муҳитда тарқалувчи эластик тўлқиндан иборат бўлиб, у барча жисмлардан сизиб ўтувчи ва эластикликка ҳамда маълум зичликка эга бўлган муҳит деб қабул қилинган.

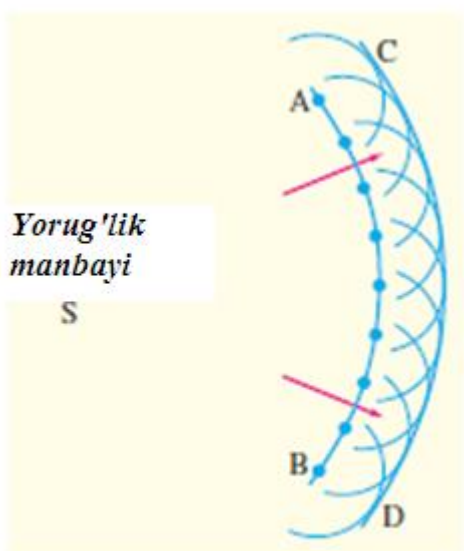
Тўлқин назарияси Гюйгенс принципага асосланади: С ёруғлик манбаидан тарқалаётган AB тўлқин фронтини кўриб чиқамиз. Ёруғлик тарқалаётган муҳит изотроп муҳит (яъни тўлқин тезлиги ҳамма йўналишда бир хил) деб қабул қиламиз. AB тўлқин фронтининг t вақтдан кейинги вазиятини аниқлаш учун радиуси $r=vt$ тўлқин этиб борган ҳар бир нукта иккиламчи тўлқин манбаи бўлиб ҳисобланади. Улардан пайдо бўлган тўлқинларнинг қўшилиб, бир сиртга бирлашиши натижасида вақтнинг кейинги моменти учун CD тўлқин фронти ҳосил бўлади.

Гюйгенс принципи ёруғликнинг тарқалишини таҳлил қилишга ҳамда унинг қайтиш ва синиш қонунларини келтириб чиқаришга имкон беради (расм 6.11 (18.1)).

Бу назариялар амалда қўлланилганда баъзан ўзаро тескари хулосалар, натижалар келиб чиқди. Буни ёруғликнинг синиши мисолида кўришимиз мумкин [1].

1. Ньютон назариясига биноан:

$$\frac{\sin i_2}{\sin i_1} = \frac{g}{c} > n \quad (6.8)$$



18.1 - rasm

бундас – ёруғликнинг вакуумда, g - эса муҳитда тарқалиш тезликлари муҳитда доимо $n > 1$ бўлган учун $g > c$ келиб чиқади, буга жрибанатижалари ғазиддир.

$$2. \text{ Гюйгенс назариясига биноан: } \frac{\sin i_2}{\sin i_1} = \frac{c}{g} > n \quad (6.9)$$

1851-йилда Э.Фуко

(ва унга боғлиқ бўлмаган ҳолда А.Физо)

ёруғликнинг сувда тарқалиш тезлигини ўлчаб, у (6.9) формулага мос келишини аниқладилар.

Шунингдек, инглиз физиги Т.Юнг ва француз олими О.Френелларнинг тадқиқотлари натижасида ёруғликнинг тўлқин назарияси бутунлай эътироф этилди.

Лекин шунга қарамадан тўлқин назарияси эфир туфайли интерференция, дифракция ва қутбланиш каби ҳодисаларни тушунтиришида қатор қийинчиликларга учради. Бу назария турли ранглар мавжудлигининг физикавий табиатини очиб беролмади.

Кейинчалик, ёруғликнинг электр ва магнетизм билан ўзаро боғлиқлиги маълум бўлди. Шунга асосланиб Максвелл ёруғликнинг электромагнит назариясини яратди.

Ундан $c/\vartheta = \sqrt{\epsilon\mu} = n$ эканлиги маълум бўлди.

Бу ифода модданинг оптик, электрик ва магнит доимийларини ўзаро боғлайди. Лекин бу назария ёруғликнинг дисперсиясини тушунтира олмади, Лоренц ёруғликнинг электрон назариясини яратиб, бу муаммони бартараф этди.

Шунингдек, Максвелл назарияси ёруғликнинг нурланиш ва ютилиши жараёнларини, фотоэлектрик эффектни, Комптон сочилишларини тушунтира олмади. Лоренц назарияси ҳам абсолют қора жисм иссиқлик нурланишида энергиянинг тўлқин узунликлари бўйича тақсимланиши қандай бўлишини ҳал қилиб беролмади.

Юқорида қайд қилинган камчилик ва қарама-қаршиликлар М.Планк томонидан яратилган ёруғликнинг квант назарияси асосида тўла бартараф этилди. М.Планк, ёруғликнинг нурланиши ва ютилиши фақат маълум дискрет порция (квант)лар шаклида содир бўлади деган гипотезани илгари сурди. Бунда квант энергияси тебранишлар частотаси ν билан аниқланади [2].

$$\epsilon_0 = h\nu$$

бунда $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Жс – Планк доимийси

Планк назарияси эфир тушунчасига эҳтиёж сезмади. У қора жисм нурланишини тўла тушунтириб берди. 1905-йилда А. Эйнштейн ёруғликнинг квант назариясини ишлаб чиқди. Унга биноан нафақат ёруғликнинг нурланиши балки унинг тарқалиши ҳам ёруғлик квантлари оқими фотонлар тарзида содир бўлади.

Буфотонларнингмассаси:
$$m_f = \frac{\epsilon_0}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{\lambda c}$$

Ёруғликнингквантсаввуриёруғликнингнурланишваютилишиқонунларига, шунингдекёруғликнингмоддаларбиланўзаротаъсирлашувқонунларигаутлақомостушади.

Лекин айти пайтда ёруғликнинг интерференция, дифракция ва қутбланиш назарияларига эса тўғри келмади. Маълумки, улар ёруғликнинг тўлқин тасаввури асосида жуда осон тушунтирилади. Юқоридагилардан ёруғликнинг мураккаб табиатга эга эканлиги маълум бўлади.

У ўзаро тескари, яъни айти бир пайтда ҳам дискрет, ҳам узлуксиз бўлган – корпускуляр (квант) ва тўлқин (электромагнит) каби ҳаракат турларининг бирлигини ўзида намоён этади. Ҳозирги тасаввурга кўра ёруғлик корпускуляр-тўлқин дуализми табиатига эга.

Ёруғлик интерференцияси. Когерент тўлқинлар. Механика қисмида биз сув устида тарқалаётган тўлқинларнинг интерференцияси билан танишган эдик. Агар икки тўлқин ўзаро учрашиб бир бирини кучайтурса ёки сусайтурса бундай тўлқинларни когерент тўлқинлар деб атаган эдик. Бундай хосса ёруғлик тўлқинларида ҳам бўлиши мумкин

Албатта, иккита нур сочиб турган жисмлар когерент манба бўла олмайдилар, Улардаги атомлар бир-бири билан боғланмаган равишда нур чиқарадилар,шунинг учун бу нурларнинг фазалари хаотик равишда ўзгариб туради ва уларнинг фарқи (айирмаси)

вақтга боғлиқ бўлиб қолади. Шунинг учун ёруғлик тарқатаётган икки жисм ҳеч қачон когерент манба бўла олмайдилар. Бунинг учун суний бир услубдан фойдаланилади. Битта манбадан чиқаётган нурни иккига ажратилади. Бунинг бир нечта йўли бор.

Иккита монохроматик ёруғлик тўлқини устма-уст тушиб, фазо-нинг бирор нуқтасида бир хил йўналишли тебранишни ҳосил қилаётган бўлсин:

$$x_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \text{ ва } x_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

Бунда x ўрнига тўлқиннинг E - электр ёки H - магнит майдон кучланган-ликларида бири олинади. \vec{E} ва \vec{H} векторлар ўзаро перпендикуляр текисликларда тебранишади ҳамда улар суперпозиция принципи ҳам бўйсунушади.

Берилган нуқтадан натижавий тебранишнинг амплитудаси қуйидагича аниқланади:

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

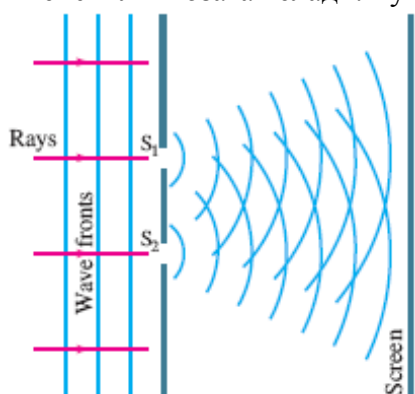
Тўлқинлар ўзаро когерент бўлгани учун, $\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$ вақт бўйича ўзгармас (лекин, фазонинг ҳар бир нуқтасида ўзгача) миқдорга эга бўлади, шунинг учун натижавий тўлқиннинг интенсивлиги ($I \sim A^2$)

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

Фазонинг $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) > 0$ шарт бажариладиган нуқталарида $I > I_1 + I_2$,

$\cos(\varphi_2 - \varphi_1) < 0$ нуқталарида эса $I < I_1 + I_2$ ҳолат вужудга келади. Когерент бир неча ёруғлик тўлқинларнинг устма-уст тушиши оқибатида ёруғлик оқимининг фазовий қайта тақсимланиши рўй беради.

Натижада фазонинг бир нуқтасида максимум интенсивлик, иккичисида минимал интенсивлик юзага келади. Бу ҳодисани ёруғликнинг интерференцияси дейилади 7.1 расм.



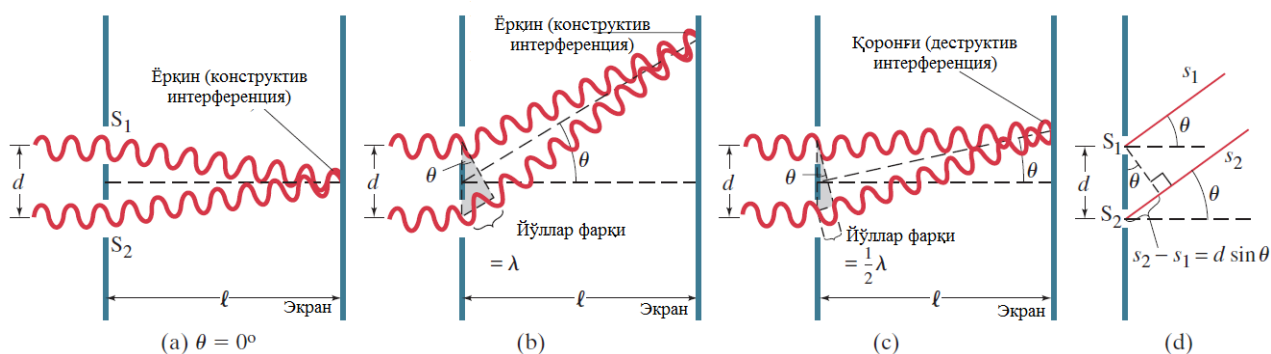
7.1. расм

Нокогерент тўлқинлардаги фазалар фарқи $\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$ нинг вақт бўйича ўртача қиймати нолга тенг бўлади. Натижавий тўлқиннинг интенсивлиги эса барча нуқтада бир хил бўлади, хусусан $I_1 = I_2$ бўлганда $I = 2I_1$ (когерент тўлқинларда худди шундай шароит учун максимумда $I = 4I_1$, минимумда $I = 0$ бўлади).

Когерент ёруғлик тўлқинлари олиш учун, айти бир манбадан чиққан нурни икки қисмга ажратиб, улар турли оптик йўллارни босиб ўтишгач – яна уларни устма-уст туширилади.

$L = Sn$ миқдорни ёруғлик тўлқинининг оптик йўли ва $\Delta = L_2 - L_1$ ни эса оптик йўللар фарқи деб юритилади. Бунда S - ёруғлик тўлқини босиб ўтадиган геометрик йўл узунлиги, n - муҳитнинг синдириш кўрсаткичи. ҳосил бўладиган икки когерент тўлқиннинг фазалар фарқи қуйидагига тенг:

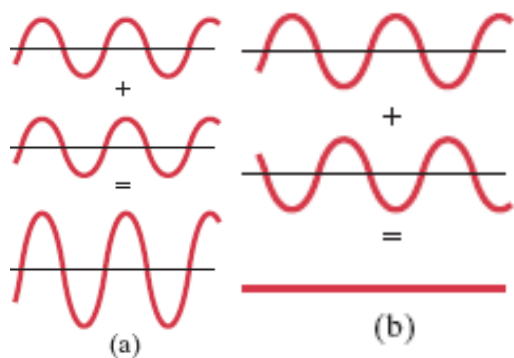
$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta \text{ бунда } \lambda_0 \text{ ёруғликнинг вакуумдаги тўлқин узунлиги.}$$



Расм 7.2.

Бунинг қандай юз беришини тушуниш учун, ясси тўлқинларни монохроматик, яъни “битта рангли” деб аталувчи яқка тўлқин узунлигидан ташкил топган деб ҳисоблаб, 7-1 Расмда кўрсатилгандек иккита тирқишга тушишини қараймиз. Диффракция туфайли, икки кичик тирқишдан ўтаётган тўлқинлар кўрсатилгандек сочилиб кетади. Бу нарса икки тошни қўлга отганда ҳосил бўладиган интерференцион манзарага ёки икки овозли карнайлардан чиққан товушларнинг интерференциясига эквивалент бўлади.

Интерференцион манзара қандай ҳосил бўлишини яққол кўриш учун биз 7-2 расмдан фойдаланамиз. λ — тўлқин узунлигининг тўлқинлари орасидаги масофа d бўлган S_1 ва S_2 тирқишларда кўрсатилган. Тўлқинлар тирқишлардан ўтгандан сўнг барча йўналишларга тарқалиб кетади (7-1 расм), лекин улар 7-2 а, б, ва с расмларда уч хил α бурчакларда тақсимланади. 7-2а расмда, тўлқинлар девор ўртасига тушганлигини кўриш мумкин ($\alpha=0$). Икки тирқишдан чиққан тўлқинлар бир хил масофа босиб ўтади, ва қуйидаги траекторияда бўлади: бир тўлқиннинг ўркачи бошқа тўлқиннинг ўркачи билан бир вақтда бўлади.



7.3. Расм

Шу сабабли 7-3а расмда кўрсатилгандек икки тўлқиннинг амплитудалари бирлашиб каттароқ амплитуда ҳосил қилади. Бу конструктив интерференция бўлиб, бу ерда ёрқин чизик девор марказида бўлади. Икки нурларнинг йўли бир тўлқин узунлигига фарқланганда ҳам конструктив интерференция ҳосил бўлади (7-3б расм), шунингдек бу ерда ҳам ёрқин чизик деворда бўлади.

Бироқ, агар битта нур бир ярим (ёки $3/2 \lambda$, $5/2 \lambda$, ва шу йўсинда) тўлқин узунлигига қўшимча масофа босиб ўтса, икки тўлқинлар деворга етганида улар аниқ траекториядан ташқарида бўлади: битта тўлқин ўркачи бошқа бир тўлқин дўнглиги билан бир вақтда етиб келади ва улар нол амплитудани ҳосил қилиш учун ўзаро бирлашади (7-3б расм). Бу деструктив интерференция дейилади ва девор тўқ рангли бўлади (7-2с расм). Шундай қилиб марказий деворда бир қанча ёрқин ва тўқ рангли чизиклар бўлади.

Ёрқин чизиклар қаерга тушганини аниқлаш учун, биринчи бўлиб 7-2 расм бироз бўрттирилганига эътибор беринг. Ҳақиқий ҳолда тирқишлар орасидаги масофа девордаги l масофа билан солиштирилганда жуда кичик бўлади. Ҳар бир ҳолат учун ҳар бир тирқишдаги нурлар аҳамиятли равишда параллел бўлади, ва 7-2d расмда кўрсатилгандек улар горизонтга нисбатан ҳосил қилган бурчак α га тенг бўлади. 7-2b ва с расмларда ўнг томондаги бўялган учбурчаклардан шуни кўришимиз мумкинки, пастроқдаги нурнинг қўшимча босиб ўтган масофаси $d \sin \alpha$ га тенг (7-2d расмда аниқроқ кўринган). Конструктив интерференция пайдо бўлади ва деворда ёрқин чизик кўринади, *траектория орасидаги фарқ, $d \sin \alpha$ тўлқин узунликларининг умумий сонига тенг бўлганда:*

Интерференция максимумини кузатиш шарти:

$$\Delta = \pm m \lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

$$\delta = \pm 2m\pi$$

$$d \sin \alpha = m \lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad [\text{максимумлик шарти}]$$

m нинг қиймати чизиктартиби деб аталади (7.4. расм). Масалан, биринчи тартиб ($m = 1$), марказий чизикнинг ҳар бир томонидаги биринчи чизикқа ($\alpha = 0$, $m = 0$) тенг бўлади. Деструктив интерференция траекториялар фарқи $d \sin \alpha$, $\frac{1}{2} \lambda$, $\frac{3}{2} \lambda$ га тенг бўлганда пайдо бўлади, ва қуйидагича бўлади:

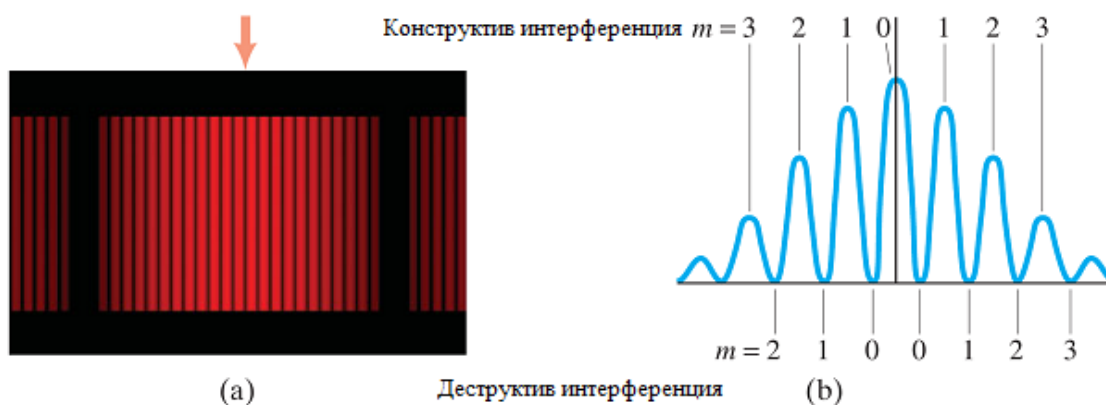
Интерференция минимумини кузатиш шарти эса:

$$\Delta = \pm (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

$$\delta = \pm (2m + 1)\pi$$

$$d \sin \alpha = (m + 1/2) \lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad [\text{минимумлик шарти}]$$

Ёрқин чизиклар ёруғлик кучининг максимумида ёки чўккида, тўқ чизиклар эса минимумда бўлади.

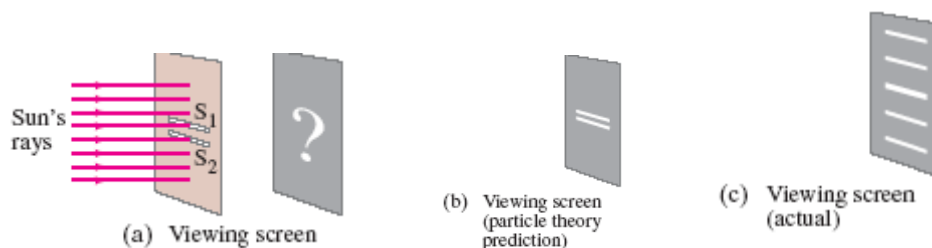


7-4 расм. (а) Интерференция чизиклари икки-тирқиш тажрибасида пайдо бўладиган ва кўриш экранида жойлашган фотосурат орқали аниқланган. Ўқ марказий чизикни белгилайди. (б) Интерференция манзарасидаги ёруғлик интенсивлиги графиги. 7-4а тенглама (конструктив интерференция) ва 7-4б тенглама (деструктив интерференция), тқийматлари кўрсатилган.

Марказий чизикда, ёруғлик интенсивлиги энг юқори бўлади ва юқори тартибда келганда ёруғлик интенсивлиги камаяди, 7-4 расмда кўрсатилганидек. Тартибнинг ошиши билан интенсивликнинг қанчалик камайиши иккиламчи-тирқиш кенглигига боғлиқ.

Ёруғлик интерференциясини кузатиш усуллари.

1801-йил инглиз олими Томас Юнг ёруғлик нурларини тўлқин хусусиятга эга эканлигини аниқ маълумотлар асосида исботлади ва ёруғлик нурларининг тўлқин узунлигини аниқлади. Куёшдан келаётган ёруғлик S тирқишдан ўтиб, иккинчи экранга тушади 7,5 расм. Бу экранда бир-бирига яқин жойлашган иккита S_1 ва S_2 тирқишлар қирқиб қўйилган. Агар ёруғлик заррачалардан иборат бўлганда, тирқишдан кейинги қўйилган экранда иккита ёруғ чизик ҳосил бўлиши керак эди (б расм). Лекин Юнг экранда бир қатор ёруғ нурларни кузатди (7.5б-расм) ва бу манзарани ёруғлик нурларининг интерференцияси деб тушунтирди. Юнг фикрини тушуниш учун, кейинги расмда кўрсатилгандек бир хил частотали (монохроматик нур) ясси тўлқин иккита тирқишга тушаётган бўлсин. Тирқишдан ўтган нурлар дифракция ходисасига биноан, расмда кўрсатилгандек тарқалади.



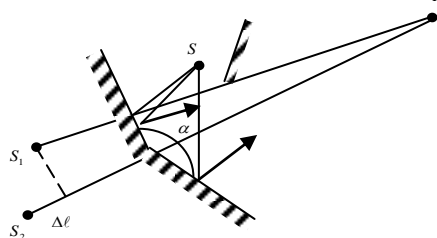
7.5.Расм

Интерференцион манзара ҳосил бўлишини тушуниш учун қуйидаги расмдан фойдаланамиз. Бу расмда ораларидаги маофа d бўлган иккита S_1 ва S_2 тирқишдан ўтаётган, λ тўлқин узунликли ёруғлик нури кўрсатилган. Ёруғлик нури тирқишлардан ўтгандан сўнг ҳамма томонга тарқалади, расмда уч хил бурчак остида тарқалаётган нурлар келтирилган. 7.6а- (18,5)расмда экран марказига ($\theta = 0$) тушаётган тўлқинлар кўрсатилган. Бунда, экранга ҳар бир тирқишдан ўтаётган тўлқин бир хил масофа босиб ўтиб, бир хил фазада этиб боради. Бу ҳолда интерференциянинг кучайиши кузатилади ва экран марказида ёруғ доғ ҳосил бўлади. Бир хил тўлқин узунликда ва икки тўлқиннинг босиб ўтган йўллар фарқи бир хил бўлса, ҳар доим интерференциянинг кучайиши кузатилади (7.6б-расм). Лекин нурлардан бири қўшимча яна ярим тўлқин масофа ўтса, иккала тўлқин қарама-қарши фазада экранга тушади ва интерференциянинг сусайиши

кузатилади, экранда қора доғ ҳосил бўлади. Шу йўл билан кетма-кет ёруғ ва қора йўл(чизик)лар ҳосил бўлади (7,6в- расм).

Расмда, икки тиркишда ҳосил бўлган интерференцион манзара келтирилган. Стрелка билан кўрсатилган ёруғ йўл нолинчи йўлдир.

Иккинчи услубни француз физиги Френель қўллаг



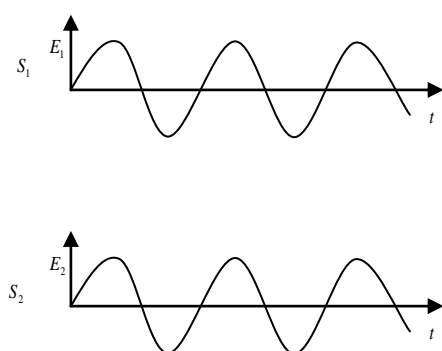
7.7 расм

7.7-расмда бир-бирига нисбатан α бурчак остида жойлашган икки кўзгу келтирилган. S манба бу кўзгуларда ўзининг S_1 ва S_2 тасвирини ҳосил қилади. Бу тасвирлар икки когерент манба бўлиб қолади. Улардан таркаган икки нур P нуқтада учрашса интерференция кузатилиши мумкин. Лекин интерференция натижаси икки тўлқиннинг йўл фарқи $\Delta\ell$ га боғлиқ бўлади. Агар $\Delta\ell = PS_2 - PS_1$ масофада ярим тўлқин узунликлардан жуфт сони жойлашса, у ҳолда P нуқтада интерференция максимуми кузатилади:

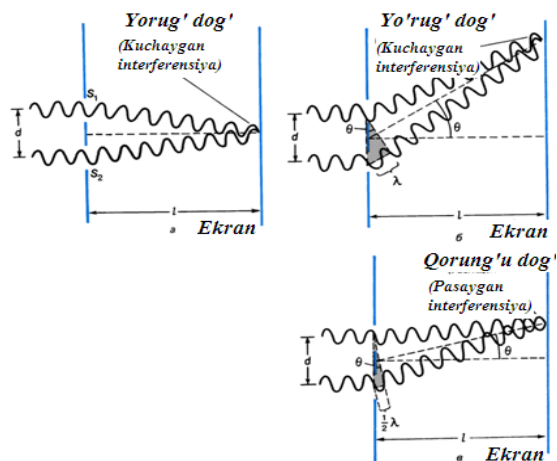
$$\Delta\ell = n\lambda = 2n\frac{\lambda}{2} \quad \text{максимум шарти.}$$

Агар $\Delta\ell$ масофада ярим тўлқин узунликлардан тоқ сони жойлашса минимум кузатилади: $\Delta\ell = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$ минимум шарти

бу ерда $n = 0, 1, 2, \dots, \lambda$ - тўлқин узунлиги. Нима учун шундай бўлади. 7.8(18.5)- расмда P нуқтага S_1 ва S_2 манбалардан етиб келган икки тўлқиннинг вақтга боғлиқлик графиги келтирилган.



7.9 расм



18.5 - rasmlar

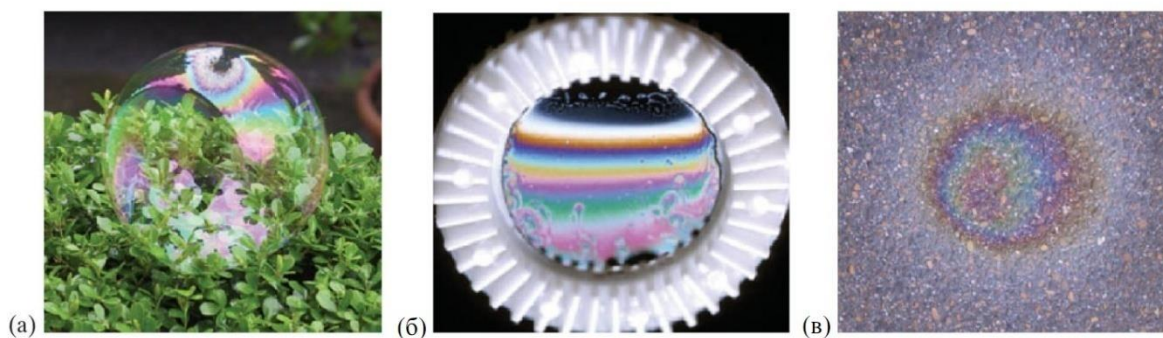
7.9.а-расмда икки тўлқиннинг исталган t вақтдаги фазалар фарқи нолга тенг эканлиги (электр майдон ишорасининг бир хиллиги) кўрииб турибди, бундай тўлқинлар қўшилса бир-бирини кучайтиради. Бу ҳол $\Delta\ell$ масофада ярим тўлқин узунлик жуфт сон марта жойлашсагина юз бериши мумкин.

7.9.б-расмда Р нуктага етиб келган икки тўлқиннинг фазалар фарқи 180^0 га тенг холи кўрсатилган. Бошқача айтганда, бу икки тўлқиннинг электр майдон кучланганликлари исталган вақтда бир-бирига тенг ва қарама-қарши ишорали бўлишини билдиради. Бундай тўлқинлар қўшилса бир-бирини сусайтириб нол натижани беради. Бу ҳол $\Delta\ell$ масофада ярим тўлқин узунлик тоқ сон марта жойлашганда юз беради.

Когерентлик

Икки тирқиш радиациянинг икки манбаи бўлганида улар орасида интерференция ҳосил бўлади. Улар когерентлик манбалари деб аталади, чунки улардан таралаётган тўлқинни, тўлқин узинлиги ва частоталари бир хил бўлади ва ҳамма вақт бир бири билан бир хил фазада бўлади. Бундай бўлишининг сабаби, тўлқинлар чап томондаги икки тирқиш орасидан, бир манбадан келади. Манбалар когерентликда бўлганидагина интерференция манзарасини кўриш мумкин. Агар иккита лампа тирқишнинг ўрни билан алмаштирилганида, интерференция манзарасини кўриб бўлмас эди. Бир лампадан чикувчи ёруғлик, иккинчи ёруғликка нисбатан тасодифий фазага эга бўлади, ва экран кўпрок еки камроқ бир хил ёритилган бўлади. Бир бири билан ҳеч қандай доимий фазалар фарқига эга бўлмаган икки шундай манба когерентланмаган манбалар дейилади.

Юпқа пардада интерференция. Ёруғлик интерференциясини совун пуфакчасидан ва сув юзасидаги ёғ ёки бензин юпқа пленкасида қайтган ёруғликнинг турли рангларда кўриниши сигнари кундалик ҳодисаларда кузатиш мумкин (7.10 расм). Бу ва бошқа ҳоллардаги ранглар юпқа парда иккита юзасидан қайтган ёруғлик интерференция натижаси ҳисобланади. Бу эффект парданинг қалинлиги ёруғлик тўлқин узунлиги тартибида бўлганда кузатилади. Агар парда қалинлиги ёруғлик тўлқин узунлигидан катта бўлса бу эффект ранглари аралашганга ўхшаб кўринади.



7.10 Расм. Юпқа пардадаги ёруғлик интерференцияси: (а) совун пуфаги, (б) совунли сув аралашмасининг юпқа пардаси, (в) нам йўлкадаги ёғнинг юпқа пардаси

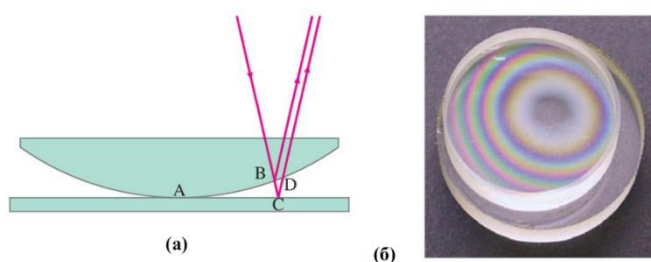
Юпқа пардада ёруғлик интерференцияси рўй беришини кузатишда сув силлиқ қатлами устида жойлашган сувнинг синджириш кўрсаткичига нисбатан синдириш кўрсаткичи кичик бўлган бошқа модданинг махсус юпқа қатлами қаралади. Тушувчи ёруғликни монохроматик ёруғлик деб фараз қиламиз. Тушувчи ёруғликнинг бир қисми қатламнинг ташқи юзасидан ва ёруғликнинг қолган қисмини ички юзадан қайтади. Ички қатлам юзасидан қайтган ёруғлик қатламдан икки марта ўтади. Агар ушбу йўллар фарқи плёнкадаги бир ёки бир нечта тўлқин узунликларига тенг бўлса, у ҳолда иккита тўлқин кузатувчи кўзида интерференциялашади. Бундан пленка АС соҳа юзасида ёруғ соҳа пайдо бўлади.

Оқ ёруғлик дастаси бу каби пленкага тушганда битта тўлқин узунлик учун АВС йўллар фарқи λ_n (ёки $m\lambda_n$, m бутун сон) кузатиш бурчаги берилади. λ тўлқин узунлигига

мос келувчи ранг жуда ёруғ бўлиб кўринади. Агар тушувчи ёруғли бурчаклари бири-биридан кам фарқ қилса, ABC йўллар фарқи мос равишда қисқа ва узун бўлади ва турли ранглар интерференциялашади. Шундай қилиб, оқ ёруғлик чиқарувчи кенг манба учун галма-гал келувчи ёруғ ранглар серияси бўлиб кўринади. Парда қалинлигини ўзгартириш орқали йўллар фарқини ҳам ўзгартириш мумкин, шунинг учун рангли ёруғли катта микдорда қайтади.

Ньютон ҳалқалари

Шиша пластинкага қўйилган шишанинг эгри юзаси 7-10 расмда келтирилгандек оқ ёруғлик ёки монохроматик тўлқинлар билан ёритилганда кузатиш нуқтасида концентрик ҳалқалар серияси кузатилади. Бу ҳалқалар Ньютон ҳалқалари деб номланади ва улар ҳаво билан ажратилган шишаларнинг юзаларидан қайтган нурларнинг интерференцияланишига асосланган. Бу ҳаво бўшлиғининг қалинлиги шишалар бирлашган марказий нуқтадан уларнинг чекка нуқталарига томон ортиб боради ва шиша юзаларидан қайтувчи тўлқинлар учун қўшимча йўл узунликка эга бўлади. У $0, \frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda, 2\lambda$ ларга тенг бўлиб бу интерференцион максимум ва минимумларга мувофиқ келади; ва 7-11б расмда кўрсатилгандек ёрқин рангли ҳалқалар сериясини ортиб боришини кўрсатади. Кузатилаётган ҳалқалардаги ранглар интерференцион максимумга мос келади; бу ҳалқаларда бошқа ранглар тўлиқ ёки қисман интерференцион минимумга мос келади. (Агарда монохроматик ёруғликдан фойдаланилса, ҳалқалар навбатма-навбат жойлашган ёрқин ва қоронғу ҳалқалардан иборат бўлади).



7-11 Расм.Ньютон ҳалқалари. (а) ҳаво бўшлиғи билан ажратилган иккита пластинка ички юзаларидан қайтган ёруғлик интерференциялашади. (б) Оқ ёруғликдан фойдаланиб олинган интерференцион манзара фотосурати.

Иккала шиша бирлашган нуқта 7-11б расмда кўрсатилгандек қоронғу доира шаклида бўлади. Бунда йўллар фарқи нолга тенг бўлгани учун, бизнинг дастлабки таҳлилларимиздагидек ҳар бир юзадан қайтган ёруғлик бир хил фазали бўлиб, марказий соҳа ёрқинлиги нолга тенг. Бироқ қоронғу соҳа, иккита тўлқинлар фазалари қарама-қарши бўлишини англатади.

Бунда қайтган тўлқинлар фазалари 180° га ёки $\frac{1}{2}\lambda$ йўллар фарқига эга бўлади. Ҳақиқатан, бу ва бошқа тажрибаларда юзага нормал тушувчи ёруғлик дасталари тарқалувчи муҳит синдириш кўрсаткичидан синдириш кўрсаткичи катта бўлган муҳитга тушганда фазаси 180° га ёки $\frac{1}{2}$ даврга ўзгаради. Бу фаза ўзгариши $\frac{1}{2}\lambda$ йўллар фарқи сингари таъсир кўрсатади. Агар муҳит синдириш кўрсаткичи ёруғлик тарқалувчи муҳитникидан кичик бўлса, у ҳолда фаза ўзгариши рўй бермайди.

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Ёруғлик тўлқини, абсолют синдириш кўрсаткичи, нисбий синдириш кўрсаткичи, ёруғлик нури тўлқин узунлиги, ёруғлик нури интенсивлиги, Пойнтинг вектори, ёруғликнинг қайтиш қонуни, ёруғликнинг синиш қонуни, ёруғлик тезлиги, тўла ички қайтиш. Когерент нурлар тушунчаси, ёруғлик интерференцияси, ёруғликнинг оптик

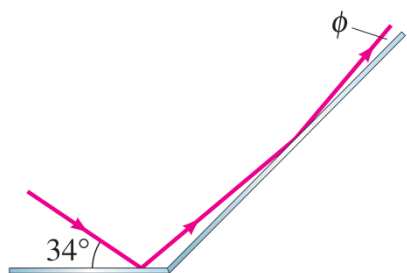
йўл фарқи, интерференцион максимум шарти, интерференцион минимум шарти, вакий когерентлик, масофавий когерентлик.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Ёруғликнинг тўғри чизик бўйлаб тарқалиш қонунини изоҳланг
2. Ёруғликнинг қайтиш қонунни таърифланг.
3. Ёруғликнинг синиш қонунининг таърифланг ва ифодасини ёзинг.
4. Ёруғликнинг табиати ҳақида қандай фикрлар мавжуд бўлган
5. Ёруғликнинг корпускуляр назариясини тушунтиринг.
6. Ёруғликнинг тўлқин назариясини тушунтиринг.
7. Архимеднинг айтишича, у катта сферик кўзгу билан Қуёш нурларини бир жойга тўплаб, Италиянинг Сиракуза шаҳридаги кемалар бандаргоҳидаги Рим флотининг ҳамма кемаларини ёкиб юборган. Бу ақлга тўғри келадими?
8. Ясси кўзгунинг фокус масофаси нимага тенг? Ясси кўзгунинг катталаштиришичи?
9. Сферик кўзгунинг бош оптик ўқи бўйлаб объект жойлаштирилган. Объектнинг тасвири — 2.0 марта катталаштирилди. Тасвир ҳақиқийми ёки мавҳумми, тўнтарилганми ёки тўрими? Кўзгу ботиқми ёки қавариқми? Тасвир кўзгунинг қайси томонида жойлашади?
10. Агар қавариқ кўзгу ҳақиқий тасвир ҳосил қилса, тасвир албатта тўнтарилган бўладими? Тушунтириб беринг.
11. Ёруғлик нури икки муҳит чегарасига перпендикуляр тушганида синиш бурчаги нимага тенг бўлади?
12. Когерентманбалардебнимагаайтилади.
13. Ўзарокогерентнурларқандайхусусиятларгаэга.
14. Интерференция ҳодисасини тушунтиринг.
15. Интерференция ҳодисасини тажрибада ҳосил қилиш усулларига мисоллар келтиринг.
16. Нурлар қўшилишда максимум шартини изоҳланг.
17. Нурлар қўшилишда минимум шартини тушунтиринг.
18. Икки такогерентманбалардан чиқаётган нурларнинг йўл фарқи қандай аниқланади.

Мавзуга оид амалий машғулот

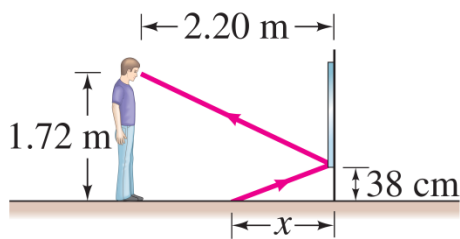
1. Баландлиги 60 см бўлган ясси кўзгуга қараб ўзингизни кўраяпси, сиз кўзгуга яқин ёки узоқда бўлишингиздан қатъий назар, кўзгуда гавдангизни худди шундан ўлчамда кўрасиз. (Буни синаб кўринг.) Нур диаграммасини чизиб нима учун бу шундай бўлишини кўрсатинг.
2. Фараз қилинг, сиз кўзгудан 3.1 м узоқликда кўрганингиз каби ўзингизни суратган олмоқчисиз. Камера линзаси фокуслаши учун қандай масофада суратга олиш керак?
3. 12-3-расмда икки ясси кўзгу 135° бурчак остида туташтирилган. Агар ёруғлик нурлари кўзгулардан бирининг сиртига расмда кўрсатилганидек 34° остида тушса, иккинч кўзгу сиртидан қандай бурчак ϕ остида чиқади.



12-3-расм.

4. Кўзиполдан 1.72 m юкоридажойлашганодампастькетиполдан 38 cm юкоридажойлашганвертикалясси кўзгудан 2.20 m масофадатурибди.

Кўзгуни ушлаб турганде ворнингасосидан горизонтал қандай хмасофадагиполдажойлашганнуқтадан қайтган нурларни кўзгудак ўриш мумкин расм 12-4?



Расм 12-4

5. Ёруғликнинг муздаги тезлиги $2.29 \times 10^8\text{ m/s}$ га тенг. Музнинг синдириш кўрсаткичи нимага тенг?
6. Ёруғликнинг (а) этил спиртидаги, (б) Люсит (пластик шиша) даги, (с) Кронглас (оптик шиша) даги тезликларини топинг.
7. Ёруғликнинг моддадаги тезлиги сувдаги тезлигининг 82% ини ташкил қилади. Модданинг синдириш кўрсаткичи нимага тенг?
8. Фонарка нурлари дераза ойнаси ($n = 1.56$) сиртига нормалдан 67° бурчак остида тушаяпти. Синиш бурчаги нимага тенг?
9. Ғоввос сув остида фонар нурларини юкорига вертикалдан 35.2° остида йўналтирди. Ёруғлик судан қандай бурчак остида чиқади?
10. Ёруғлик нурлари сув остидаги прожектордан таркалиб, суздан 56.0° бурчакда чиқади. Ёруғлик сув-ҳаво чегарасига пастдан қандай бурчак остида тушади?
11. Қуёш нурлари сув остида вертикалдан 36.0° бурчак ҳосил қилаётганини кўринади. Қуёш горизонтдан қандай бурчак баландлигида турибди?
12. Ёруғлик нурлари ҳавода шиша пластина ($n = 1.51$) сиртига тушаяпти ва бир қисми қайтаяпти ва бир қисми синаяпти. Агар қайтиш бурчаги иккита синиш бурчагига тенг бўлса, тушиш бурчагини аниқланг.
13. Сув ва кровнгласс (оптик шиша) орасидаги тегиш сиртда чегаравий тушиш бурчаги нимага тенг? Тўла ички қайтиш содир бўлиши учун ёруғлик қайси материалдан кейингисига ўтиши лозим?
14. Баъзи бир суюқлик-ҳаво сиртларида чегаравий тушиш бурчаги 47.2° бўлади. Шуюқликнинг нур синдириш кўрсаткичи нимага тенг?
15. Ёруғлик нурлари бассей сувининг 82.0 cm чуқурлигидан чиқаяпти. Ёруғлик манбанинг тепасидаги ёруғ доғга нисбатан сув-ҳаво чегаравий сиртининг қаерга туширилса, у сув сиртидан ташқарига чқмайди?

16. Ёруғлик нурлари суюқликнинг 8.0 см чуқурлигидан чиқиб ҳаво сиртига манбанинг тик юқоридаги нуқтасидан 7.6 см масофага урилади. Агар тўла ички қайтиш ҳодисаси юз берса, суюқликнинг синдириш кўрсаткичи тўғрисида нима дея оласиз?
17. (а) Тўла ички қайтиши 45° да юз бериши учун дурбинларда фойдаланиладиган шиша ёки пластик призмаларнинг минимал синдириш ко`рсаткичи нечага тенг бўлиши керак? (б) Агар призма ($n = 1.58$ деб қабул қилинган) сувга ботирилган бўлса, дурбинлар ишлайдими? (с) Агар сувга ботирилса, n нинг минимал қиймати нечага тенг бўлади?

Ёруғликнинг интерференцияси. Масала ечиш намуналари

1 Масала. Иккитирқишнинг интерференцияси учун чизиклар оралиғи

Экран 0.100 мм бўлган иккитирқишдан ташкил топган, кўриш экранидан 1.20 м масофада. Ёруғлик тўлқини узунлиги $\lambda = 500 \text{ нм}$ бўлиб узоқ манбадан тирқишларга тушади. Таҳминан бир-биридан қанча узоқликда кўшнинг ёрқин интерференция чизиклари экранда бўлади?

Ечим:

$d = 0.100 \text{ мм} = 1.00 \times 10^{-4} \text{ м}$. $\lambda = 500 \times 10^{-9} \text{ м}$ ва $\ell = 1.20 \text{ м}$ берилган, биринчи тартибли чизик ($m=1$) қуйида берилган θ бурчагида мавжуд бўлади:

$$\sin \theta_1 = \frac{m\lambda}{d} = \frac{(1)(500 \times 10^{-9} \text{ м})}{1.00 \times 10^{-4} \text{ м}} = 5.00 \times 10^{-3}$$

Бужуда ҳамкичик бурчак, θ радианда олган ҳолда $\sin \theta \approx \theta$ деб оламиз. Биринчи тартибли чизик, экран марказдан x_1 масофа баландликда пайдо бўлади.

$x_1 = \tan \theta_1 \approx \theta_1$ каби берилган, шунинг учун:

$$x_1 \approx \ell \theta_1 = (1.20 \text{ м})(5.00 \times 10^{-3}) = 6.00 \text{ мм}$$

Иккинчи даражали чизик ($m=2$):

$$x_2 \approx \ell \theta_2 = \ell \frac{2\lambda}{d} = 12.0 \text{ мм}$$

Марказдан узоқликда ҳосил бўлади. Шундай қилиб, кичик-тартибли чизиклар бир-биридан 6.00 мм узоқликда бўлади.

Мустақил ечиш учун масалалар

1. Ботик сферик кузгунинг эгрилик радиуси 20 см . Кўзгудан 30 см узоқликда баландлиги 1 см бўлган буюм қўйилган. Тасвирнинг вазияти ва баландлиги топилин.
2. Баъзи шиша навларининг қизил ва бинафша нурлар учун синдириш кўрсаткичи 1.51 ва 1.53 гатенг. Бунурлар шиша-ҳаво чегарасига тушганда тўла ички қайтиш лимит бурчаклари топилин.
3. Юнг тажрибасида тирқишга тушаётган тулқин узунлиги $5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ бўлган кўк ёруғлик нури, тўлқин узунлиги $6.7 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ бўлган қизил ёруғлик нури билан алмаштирилса, интерференцион йўллар орасидаги масофа неча марта ўзгаради?
4. Френель би-призмасида ўтказилаётган тажрибада манбанинг мавҳум тасвирлари орасидаги масофа $d = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, экрангача бўлган масофа $l = 5 \text{ м}$ га тенг. Агар би-призмага

тушаётган нурнинг тўлқин узунлиги $\lambda = 6,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ бўлса, экранда ҳосил бўлган интерференцион йуллар орасидаги Δx масофа топилсин.

5. Совун пардасига ($n = 1,33$) 60° бурчак остида оқ ёруғлик нури тушмоқда. Совун пардасининг қалинлигининг қандай қийматида ундан қайтган ёруғлик нури қизил ($\lambda = 6,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$) рангга бўялади?
6. Ньютон халқаларини ҳосил қиладиган қурилма монохроматик ёруғлик билан ёритилмоқда. Кузатиш қайтган ёруғликда олиб борилмоқда. Икки қўшни қора халқаларнинг радиуслари мос равишда $r_k = 4 \text{ мм}$ ва $r_{k+1} = 4,38 \text{ мм}$. Линзанинг эгрилик радиуси $R = 6,4 \text{ м}$. Халқаларнинг тартиб номерлари ва тушаётган ёруғликнинг тўлқин узунлиги топилсин.
7. Қайтган ёруғликда кузатилаётган иккинчи ва учинчи Ньютон халқалари орасидаги масофа $l = 3 \text{ мм}$ га тенг бўлса, ўнинчи ва ўнбиринчи халқалар орасидаги масофа топилсин.
- 8.

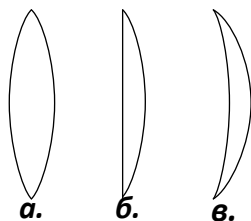
ЛАБОРАТОРИЯ ИШИ

ЙИЎУВЧИ ВА СОЧУВЧИ ЛИНЗАЛАРНИНГ ФОКУС МАСОФАЛАРИНИ АНИҚЛАШ

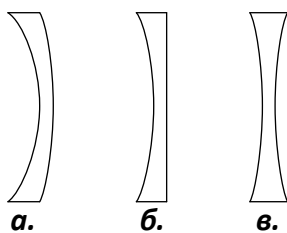
Ишни бажаришдан мақсад: линзаларда тасвир ясашни ўрганиш, линзаларнинг фокус масофаси ва оптик кучини аниқлаш.

Керакли асбоб ва буюмлар: йиғувчи ва сочувчи линзалар, оптик скамья, хиралаштирилган шишали ёритгич, экран, линза жойлаштирилаётган қурилма.

НАЗАРИЙ ҚИСМ



1.1 - расм



1.2 - расм

Амалиётда ёруғлик нурининг икки муҳитнинг текис чегарасида синиши билан бир қаторда сферик сиртларда синишидан ҳам кенг қўламда фойдаланилади.

Линза - бу икки сферик сиртлар билан чегараланган ва ёруғлик нурлари учун шаффоф бўлган жисм.

Линзаларнинг турлари. Линза икки қавариқ эгрилик радиуслари тенг бўлган сферик сиртлар билан чегараланган бўлиши мумкин (икки ёқлама қавариқ линза, 1.1а-расм), қавариқ сферик сирт ва текислик билан чегараланган (текис-қавариқ линза, 1.1б-расм), эгрилик радиуслари турлича бўлган қавариқ ва ботиқ сферик сиртлар билан чегараланган (ботиқ-қавариқ линза, 1.1в-расм) бўлиши мумкин. Бу линзаларнинг ўртаси четларига нисбатан қалинроқ бўлади ва шунинг учун уларни қавариқ линзалар деб айтилади. Ўрталари четларига нисбатан юпқа бўлган линзалар ботиқ линзалар деб айтилади. Ботиқ линзаларнинг уч турининг

кўриниши 1.2-расмда келтирилган: иккиёқлама ботиқ - а, текис ботиқ - б ва қавариқ ботиқ - в.

Қавариқ линзалар - нурларни йиғувчи линзалар, ботиқ линзалар - нурларни сочувчи линзалар дейилади.

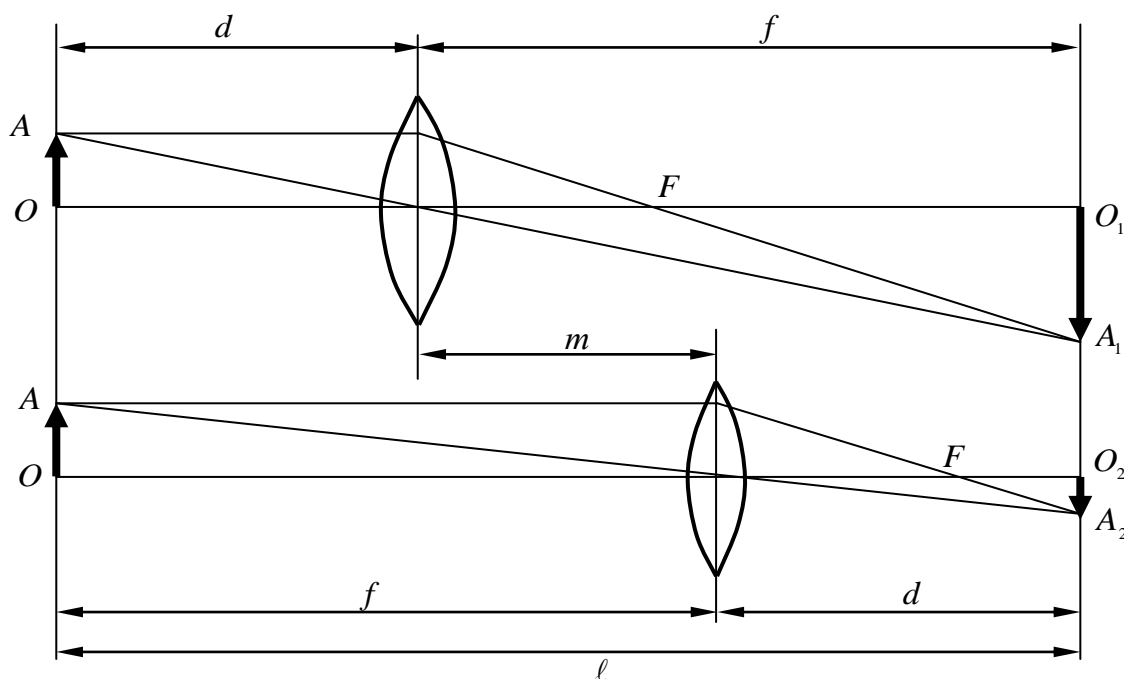
Юпқа линза фокус масофаси F , предметдан линзагача бўлган масофа d ва тасвирдан

линзагача бўлган масофа f қуйидагича ўзаро боғланганлар:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \quad (1)$$

Агар d ва f маълум бўлса, (1) формула ёрдамида линзанинг фокус масофаси F ни аниқласа бўлади. Лекин d ва f ларни аниқ қилиб ўлчаш қийин, чунки улар линзанинг оптик марказидан бошлаб ўлчанади, бу марказнинг ўрни эса ҳар доим ҳам симметрия марказида бўлавермайди.

Фокус масофасини аниқлашда аниқроқ натижага «суриш услубини» (Бессел услубини) қўллаганда эришиш мумкин, чунки бунда (1) формуладаги d ва f лар қатнашмайди. Буни қуйидагича тушунтириш мумкин:



1.3 - расм

Фараз қилайлик, йиғувчи линза экранда OA предметнинг катталашган O_1A_1 тасвирини бераётган бўлсин. Формула (1) дан кўриниб турибдики, буюм ва тасвирни ўзаро алмаштириш мумкин, d ва f лар бир-бирига ўхшаш масофалардир. Бошқача айтганда, агар OA буюмни линзадан d масофада эмас, f масофада жойлаштирсак унинг кичирайтирилган O_2A_2 тасвири d масофада ҳосил бўлади (1.3-расм). Бунинг учун буюм ва экранни жойидан қўзғатмасдан линзани экранда O_2A_2 тасвир ҳосил бўлгунча ўнг тарафга сурамыз. Буюмдан экрангача бўлган масофани ℓ билан, m билан эса линзанинг биринчи ва иккинчи (сурилган) ҳолати ўртасидаги масофани белгилаймиз. 1.3-расмдан кўриниб турибдики:

$$\ell = d + f \quad (2)$$

$$m = f - d \quad (3)$$

Бу тенгламаларни d ва f га нисбатан ечсак қуйидагилар ҳосил бўлади:

$$d = \frac{\ell - m}{2} \quad \text{ва} \quad f = \frac{\ell + m}{2}$$

буларни (1) формулага қўямиз ва ундан F ни топамиз:
$$F = \frac{\ell^2 - m^2}{4\ell} \quad (4)$$

(4) формула линзанинг фокус масофасини ℓ ва m ларни ўлчаб топишга имкон беради, бунда d ва f ларни ўлчашнинг кераги бўлмай қолади.

Фокус масофаси F га тескари муносабатда бўлган катталиқ D линзанинг оптик кучи деб аталади
$$D = \frac{1}{F} \quad (5)$$

Оптик куч диоптрия билан ўлчанади. Фокус масофаси 1м бўлган линзанинг оптик кучи 1 диоптрия бўлади. Агар D маълум бўлса F ни ёки F маълум бўлса D ни (1) формула ёрдамида топиш мумкин.

Сочувчи линзанинг фокус масофасини унинг бита ўзидан фойдаланиб топиб бўлмайди, чунки у экранда ҳақиқий тасвир ҳосил қилмайди. Бунинг учун бу линзага шундай бошқа бир йиғувчи линза танланадики, натижада бу икки линзалар системаси йиғувчи системага айланади.

Маълумки, бир-бирига тегиб турган икки юпқа линзалар системасининг оптик кучи шу икки линзалар кучларининг йиғиндисига тенг:

$$D = D_1 + D_2 \quad (6)$$

бу ерда D - линзалар системасининг оптик кучи

D_1 - йиғувчи линзанинг оптик кучи

D_2 - сочувчи линзанинг оптик кучи

Шундай қилиб, икки линза системасининг оптик кучини ва йиғувчи линзанинг оптик кучини аниқласак (6) дан сочувчи линзанинг оптик кучини, демак унинг фокус масофасини топишимиз мумкин. Шуни эсдан чиқариш керак эмаски, сочувчи линзанинг фокус масофаси ва оптик кучи манфий бўлади. *Қурилмани жойлаштириш*

Оптик скамьяга буюм (стрелка), ҳаракатланувчи рейтерларда текширилувчи линзалар ва экран жойлаштирилади. Буюм ва экран ўртасидаги масофани шундай олинадикки, натижада $\ell > 4F$ бўлсин. $\ell = 4F$ бўлганда $m = 0$, демак $d = f$ ва экранда битта тасвир ҳосил бўлади. $\ell < 4F$ бўлганда эса тасвир умуман ҳосил бўлмайди. $\ell >$

$4F$ масофа тажрибада топилади, бунинг учун аввал буюмнинг катталаштирилган тасвири ҳосил қилинади, сўнгра линзани суриб кичиклашган тасвири топилади.

Ишни бажариши тартиби

1. Ёруғлик манбаи ва буюмдан экрангача бўлган ℓ масофа $\ell > 4F$ шарт бажариладиган қилиб ўрнатилади.

2. Йиғувчи линзани буюмга имкони борича яқинлаштирилади, шундан сўнг оптик скамья бўйлаб линзани сурабошланади ва буюмнинг катталашган аниқ тасвири ҳосил бўлганда уни тўхтатилади.

3. Скамьядаги линейка ёрдамида линзанинг жойи n_1 белгиланади.

4. Линзани скамья бўйлаб экран тарафга сурилади ва унда буюмнинг кичиклашган аниқ тасвири ҳосил бўлганда тўхтатилади. Шу ҳолатда линзанинг янги жойи n_2 белгиланади.

5. Оптик скамьядаги линейкада ℓ масофа ўлчанади. Сўнгра линзанинг қанчага сурилганлигини билдирувчи m ўлчанади:

$$m = n_2 \pm n_1$$

(\pm ёзилиши линейкада 0 нинг қаерда бўлишига боғлиқ)

6. Тажрибани ℓ нинг учта ҳар хил қиймати учун бажарилади, ℓ нинг ҳар бир қиймати учун (4) формула ёрдамида F аниқланади ва учта қийматнинг ўртача қиймати аниқланади.

7. Сочувчи ва йиғувчи линзалар системасини скамьяга ўрнатилади ва тажриба (биринчи ҳолдагидек) 3 марта қайтарилиб линзалар системасининг фокус масофаси F аниқланади.

8. (4) формула ёрдамида йиғувчи линзанинг ва линзалар системасининг фокус масофалари ҳисобланади. Икала ҳол учун уч марта ўлчанган қийматларнинг ўртача қиймати олинади.

9. Йиғувчи ва сочувчи линзаларнинг оптик кучлари (5) ва (6) формулалар ёрдамида ҳисобланади.

10. Тажрибалар натижалари қуйидаги жадвалларга ёзилади:

а) йиғувчи линза учун

№	n_1	n_2	$m = n_2 \pm n_1$	ℓ	Ҳар бир ўлчаш учун F	$F_{\text{ўрт}}$	ΔF	$\delta = \frac{\Delta F}{F_{\text{ўрт}}} 100\%$	$D_{\text{ўрт}}$
1									
2									

3									
4									

б) линзалар системаси учун

№	n_1	n_2	$m = n_2 \pm n_1$	ℓ	Ҳар бир ўлчаш учун F	$F_{\text{ўрт}}$	ΔF	$\delta = \frac{\Delta F}{F_{\text{ўрт}}} 100\%$	$D_{\text{ўрт}}$
1									
2									
3									
4									

11. Фокус масофалари ўлчашларнинг ўртача абсолют ва нисбий хатоликлари ҳисобланади ва уларнинг қийматлари жадвалга ёзилади.

НАЗОРАТ УЧУН САВОЛЛАР

1. Йиғувчи ва сочувчи линзаларга таъриф Беринг.
2. Линзанинг фокуси деб нимага айтилади. Линзанинг ёки линзалар системасининг фокус масофаси қандай аникланади.
3. Линзанинг оптик кучи нима. У қандай бирликда ўлчанади.
4. Йиғувчи ва сочувчи линзаларда буюмнинг тасвирларини ясанг(буюмнинг линзагача бўлган масофанинг ҳар хил қийматларида).
5. Линзанинг катталаштириш коэффициентини қандай ўлчаш мумкин.
6. Фокус масофани ўлчашнинг Бессел услубини тушунтиринг.
7. Сочувчи линзанинг оптик кучини қандай ўлчаш мумкин.

НЬЮТОН ҲАЛҚАЛАРИ ЁРДАМИДА ЁРУҒЛИКНИНГ ТЎЛҚИН УЗУНЛИГИНИ АНИҚЛАШ

Ишнинг мақсади: Ньютон ҳалқалари ёрдамида ёруғлик интерференцияси ва ёруғлик тўлқин узунлигини аниқлаш.

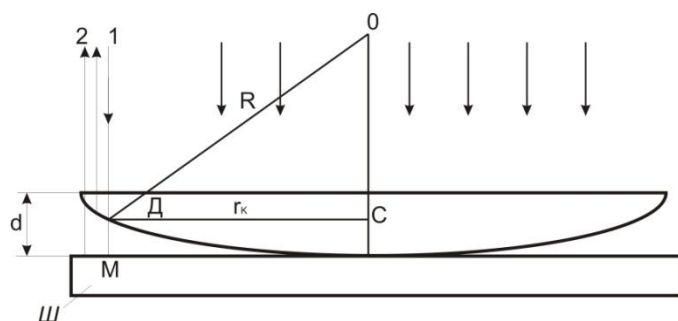
Керакли асбоб буюмлар; микроскоп, окуляр ва ўлчов системаси, рангли филтрлар, ясси пластинка ва линзалар системаси.

НАЗАРИЙ ҚИСМ

Ясси параллел шиша устига қавариқ томони билан линза қўйилади. Линзанинг ясси томонидан параллел нурлар дастаси туширилганида ҳосил бўлган интерференцион манзарага Ньютон ҳалқалари дейилади. Линза билан шиша пластинка ўртасила ҳаво

қатлами ҳосил бўлади. Агар линзага монохроматик параллел нурлар дастаси тушса, ҳаво қатламининг устки ва пастки чегарасидан қайтган ёруғлик тўлқинларининг ўзаро қўшилиши натижасида интерференцион манзара вужудга келади. Тажриба қайтган нурларда кузатилса, интерференцион манзара марказида қора доғ, ундан кейин алмашиб боровчи ёруғ ва қоронғу ҳалқалар ҳосил бўлади.

Линзадан ўтган ёруғлик кузатилганда, олдинги манзаранинг акси бўлади, яъни марказда ёруғ доғ ҳосил бўлиб, кейин қоронғу ва ёруғ ҳалқалар кузатилади. Агар линзани оқ ёруғликда ёритилса ҳар бир ҳалқа рангли спектрлардан иборат бўлади. Қайтган ёруғлик



нурида ҳосил бўлган Ньютон ҳалқаларининг ўлчамларини аниқлаш учун 5.1-расмдан фойдаланамиз. Линза билан пластинка орасидаги ҳаво қатлами пона шаклида бўлиб, у линзанинг марказидан

5.1-расм

қиррасигача секинғаста қалинлашиб боради. Қалинлиги “d” ўзгарувчан қатламнинг ҳар бир қисмини ясси параллел пластинка деб қараш мумкин. Агар ясси қавариқ линзага тик ҳолда параллел нурлар тушаётган бўлса, 1 ва 2 нурларнинг йўл фарқи,

$$\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2}$$

(1)

тенг бўлади. 1-линзадан қайтган нур, 2- линзадан ўтиб, лекин III шиша пластинкадан қайтган ва линза орқали ўтган нур. Шу икки нур интерференцион манзарани вужудга келтиради. Тўғри бурчакли ОДС дан ДМ ҳаво қатламининг қийматини топиш мумкин:

$$d = \frac{r^2}{2R} \quad (2)$$

(2) ифодани (1) га қўйиб, нурларнинг йў фарқини аниқлаймиз.

$$d = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

Қоронғи ҳалқаларнинг радиусини аниқлаш учун (3) ифодани интерференциянинг минимум шarti билан тенглаш натижасида аниқланиши мумкин:

$$\frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad \text{яъни} \quad r^2 = kR\lambda \quad (4)$$

бунда k – кузатилаётган Ньютон ҳалқасининг тартиб номери (k= 1,2,3).

Линзанинг эгрилик радиуси R, қоронғи ҳалқанинг радиуси r ни ўлчаш орқали (4) формуладан ёруғликнинг тўлқин узунлиги λ аниқланади.

Бироқ ҳалқанинг тартиб номерини (k) ҳамма вақт аниқ топиш мумкин бўлмаганлиги учун қўшни қоонғи ғалқаларнинг радиуслари r_k ва r_{k+1} ларнинг фарқи бўйича топилади.

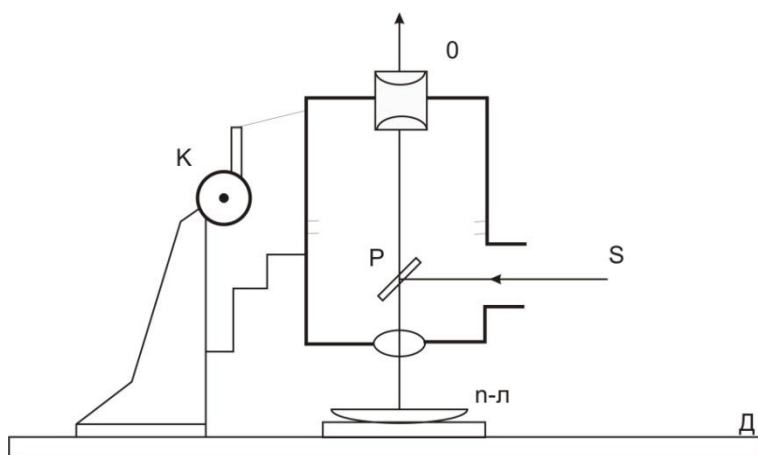
Бу ҳолда ёруғлик тўлқин узунлиги қуйидаги формула билан топилади:

$$\lambda = \frac{r_{k+1}^2 - r_k^2}{R} \quad (5)$$

Бу иш филътрдан ўтган ёруғликнинг тўлқин узунлигини аниқлаш вазифаси қўйилади.

Қурилманинг тузилиши

Ньютон ҳалқаларини кузатиш ва ўлчаш 5.2-расмда тасвирланган микроскопда олби борилади. Қурилма микроскоп, ёритгич (S) ва ясси параллел пластинкалар системасидан ташкил топган.



5.2-расм

Микроскопнинг А тубусига унча катта бўлмаган ён дарчали найчага ёритгич ўрнатилган. Най дарчаси олдида шиша пластинка Р жойлаштирилган. Бу пластинка винт воситасида микроскоп ўқиға нисбатан 45° қия қилиб ўрнатилади. Ёруғлик манбаи сифатида Т-трансформатордан ток оладиган 6 В ли лампочка хизмат қилади. S-манбадан ёруғлик нури Р пластинкадан қайтгандан кейин системаға тушади. Микроскоп окуляридаги ўлчов шкаласи ёрдамида қоронғи ҳалқалар радиусларини ўлчаш мумкин. Микроскоп столчаси Д га бир сантиметрига 100 та бўлинма ўлчов шкаласи жойлаштирилади. Окуляр орқали қараб, ўлчов шкаласининг қанча бўлинмаси, окуляр шкаласининг неча бўлимига тўғри келишини аниқлаш мумкин. Агар ўлчов шкаласининг М бўлинмаси окуляр шкаласининг N бўлинмасига тўғри келса, у ҳолда окуляр шкаласининг бир бўлинмасининг қиймати қуйидагига тенг бўлади.

$$n_0 = \frac{M}{N} i \dots \quad (6)$$

Бунда i - ўлчов шкаласининг бўлим қиймати.

Ишни бажариш тартиби

1. Микроскоп столчасидаги тешик қаршисига ўлчов шкаласи жойлаштирилади.
2. Ёруғлик манбаини трансформаторнинг 6 В клеммасига, трансформатор эса 220 В ток занжирига уланади.
3. Микроскопнинг кремалбер винти К ёрдамида тубус А шундай вазиятга келтириладики, унда ўлчов шкаласининг окуляридаги кўриниш энг яхши бўлсин.
4. Столчадаги ўлчов шкаласини шундай силжитиш керакки, натижада унинг бўлинмалари, окуляр шкаласининг бўлинмаларига параллел ҳолга келсин. Бу ҳолда окуляр шкаласи билан ўлчов шкаласи бўлинмалари усма-уст тушганлигини кўриш мумкин.
5. Ўлчов шкаласининг М бўлинмаси устига тўғри келувчи окуляр шкаласининг N бўлинмалари аниқланиб (6) формуладан окуляр шкаласининг бир бўлим қиймати топилади.
6. Ўлчов шкаласи олиниб, унинг ўрнига n - л системаси қўйилади. n - л системасини шундай қўйиш керакки, бунда кўз орқали тахминан топилган Ньютон ҳалқаси объектив қаршисига тўғри келсин.
7. Кремальер винти К ёрдами билан оқ нурда Ньютон ҳалқалари аниқ кўринадиган ҳолатга келтирилади.
8. Ундан кейин уни монохроматик бўлган ёруғлик манбаи билан алмаштирилади, яъни окулярга тушириладиган фильтр қўйилади.
9. Кўриш майдонида Ньютон ҳалқаларининг аниқ тасвири ҳосил бўлгандан кейин n - л система шундай ҳолга келтириладики, ҳалқаларнинг маркази шкаланинг ўртасига тўғри келсин, у ҳолда микроскопда 5.3-расмда тасвирлангандек манзарани кузатиш мумкин.
10. Яхши кўринадиган қоронғи 4 ва 5 ҳалқаларнинг марказдан ўнг ва чап ҳолатларига тўғри келадиган n_1 ва n_2 бўлинмалар окуляр шкаласидан ҳисобланади. Ҳалқанинг диаметри бу ҳолда ўлчашлар айирмаси сифатида $d = n_2 - n_1$ топилади.
11. n ни билгандан кейин қоронғи 4 ва 5 ҳалқанинг радиуси қуйидаги формуладан топилади, $r = \frac{d}{2} n_0$ бунда n_0 – окуляр шкаласининг бўлим қиймати.
12. Иккита қўшни ҳалқалар радиусларининг қийматларини (5) формулага қўйиб, текшириладиган филтрдан ўтган ёруғлик тўлқин узунлиги топилади. Натижада ҳамма ўлчашларнинг ўртача қиймати олинади.

13. Бошқа филтрлар учун ҳам худ юқоридагидек тажриба ва ҳисоблашлар қайтарилади.

Ўлчаш ва ҳисоблаш натижалари қуйидаги жадвалга ёзилади.

№	Шкала бўйича вазият		Ҳалқалар диаметри d	Ҳалқалар радиуси r	Тўлқин узунлиги λ	$\Delta\lambda$
	n_1 чап	n_2 ўнг				
1						
2						
3						
4						
5						

НАЗОРАТ УЧУН САВОЛЛАР

1. Интерференция ҳодисасини тушунтиринг.
2. Когерент нурлар деб қандай нурларга айтилади.
3. Нима учун кузатилаётган интерференцион манзара қоронғи ва ёруғ ҳалқалардан иборат бўлади.
4. Когерент нурларнинг интерференцияланиши вақтидаги максимум ва минимум шартлари қандай тушунтирилади.
5. Ишни бажариш тартибини тушунтиринг.

ЁРУҒЛИК ДИФРАКЦИЯСИ

Режа:

1. Ёруғлик дифракцияси.
2. Гюйгенс –Френель принципи.
3. Френель зоналари назарияси.
4. Туйнук ва тўсиқдан ўтишда Френель дифракцияси.
5. Фраунгофер дифракцияси.
6. Дифракцион панжара.
7. Рентген нурлар дифракцияси.
8. Вульф-Брегг формуласи.

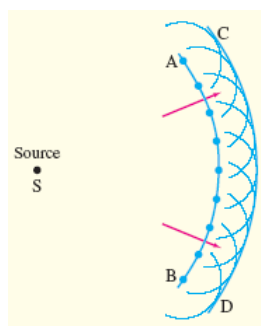
Тўлқинларнинг ўз йўлида учраган тўсиқларни айланиб ўтиши ёки бошқача айтганда геометрик оптика қонунларга бўйсунмасдан тарқалиш ҳодисасига *дифракция* дейилади (8.1, расм). Дифракция туфайли тўлқинлар геометрик соялар соҳасига ўтиб қолиши, тўсиқларни четлаб ўтиши ёки экрандаги кичкина тирқишлардан сизиб ўтиши мумкин [3].

8.2-расмда, нуқтавий ёруғлик манбаи ёрдамида танганинг сояси ҳосил қилинган. Соянинг марказида ёруғ доғ ҳосил бўлади. Соянинг ташқарисида ёруғ ва қоронғи йўллар ҳосил бўлади. Бу манзара дифракцион манзара номини олган.

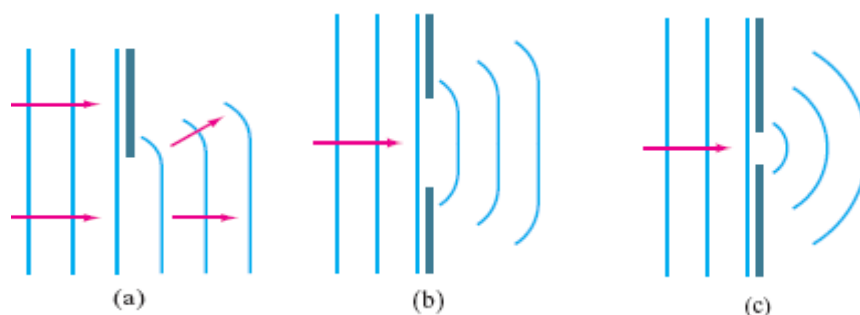
Дифракция ҳодисаси барча тўлқин жараёнлари учун ўринлидир. Унда нима сабабдан ёруғлик тўлқин табиатига эга бўлишига қарамасдан аниқ соялар ҳосил бўлади? Бу саволга Гюйгенс принципи фақатгина тўлқин фронтининг тарқалиш йўналиши масаласини ҳал қилади, у турли йўналишларда тарқалаётган тўлқинлар интенсивлигини ва тўлқин амплитудасини ҳисоблаш имкониятини бერмади. Френель-Гюйгенс принципига физикавий мазмун бағишлаб, унга иккиламчи тўлқинлар интерференцияси ғояси билан тўлдирди.

Немис олими Кристиан Гюйгенс (1629–1695) Нютоннинг замондоши бўлиб, ёруғликка тўлқин назарияси кўпроқ тўғри келишини тушунтирган. Гюйгенс назарияси тўлқин фронтининг боши қаердалиги аниқланса, тўлқин fronti қаердан ўтишини кўрсатади. Тўлқин fronti деб биз икки ёки уч ўлчамли тўлқиннинг чўққисини назарда тутамиз ва уни океанда кўрганимизда оддийгина “тўлқин” деб атаймиз. Гюйгенс принципи: *Ёруғлик frontiдаги ҳар бир нуқта тўлқин манбаси деб қаралиши мумкин ва улар тўлқин тезлигида олдинга томон кичик тўлқинчалар тарқатади. Янги тўлқин fronti тўлқинчаларни ўз ичига олиб уларга уринма бўлиб қолади.*

Гюйгенс принципига мисол қилиб 8-1-расмдаги S манбадан чиққан АВ тўлқинни кўрсатишимиз мумкин.



8.1. расм



8.2 а,б,с-расм

Агар муҳитни изотропик десак, унда барча йўналишларда тўлқинларнинг тезликлари бир хил бўлади. Қисқа вақт ичида АВ да бўладиган тўлқин фронтини топиш учун, АВ бўйлаб радиуси $r = vt$ бўлган кичик доиралар чизилади. Бу айланаларнинг марказлари ҳаво рангда бўлиб, улар АВ тўлқин фронтида жойлашган ва булар Гюйгенс тўлқинчаларини билдиради. Қисқа вақт t дан сўнг бу тўлқинчаларга уринма бўлиб CD, яъни тўлқиннинг янги ўрни ҳосил бўлади, чунки тўлқин ҳаракатланади. Гюйгенс принципи тўлқинлар тўсиққа учраганда ёки тўлқинларда узилиш бўлганда уларга нима бўлганини анализ қилиш учун ишлатишга қулай ҳисобланади. Тўсиқни эгиб ўтган тўлқинларнинг тўсиқ ортидаги кўринмас жойда тарқалиши диффракция дейилади. Диффракция фақат тўлқинларда учрайди, зарраларда бундай ҳодиса бўлмайди ва бу ҳодиса ёруғликнинг ўзига хос ҳислатидир.

8-3-расмда кўрсатилганидек тўсиқлар ораси тўлқин узунлигидан кичик бўлганда диффракция яққол сезилади, агар тўсиқлар ораси тўлқин узунлигидан катта бўлса, у ҳолда диффракция сезилмайди.

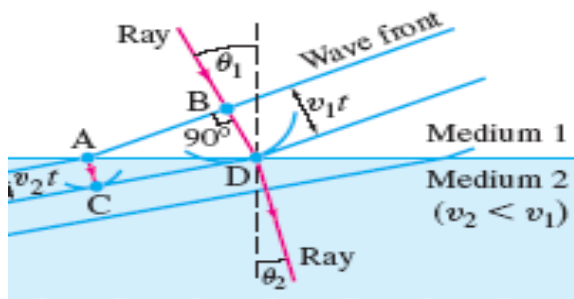
Ёруғликда диффракция кузатиладими? Ўн еттинчи аср ўрталарида Франческо Грималди (1618-1663) кичик тешикдан тушган ёруғлик қарама қарши тарафдаги деворда катта соя ҳосил қилишини кузатган. Яна у деворга тушган ёруғлик четлари рангли чегарадан ташкил топганини кузатган. Грималди буларни ёруғлик диффракциясига мансублигини айтган.

Ёруғликнинг тўлқин моделини диффракцияга тааллуқли дейиш мумкин. Лекин нур модели бунга тааллуқли эмас ва нур моделини бундай камчиликларини билиш жуда муҳим ҳисобланади. Нур моделини ишлатадиган оптик геометрия жуда кўп ҳолатларда яхши самара беради, чунки тўсиқлар орасидаги массофа (ёки тирқиш кенглиги) тўлқин узунлигидан катта, шунинг учун буларда жуда кичик диффракция ҳосил бўлади.

Ёруғликни қайтиш ва синиш қоидалари Ньютон даврида ҳам маълум эди. Ёруғликни қайтиш қоидаси юқорида келтирилган иккита назарияни: “Тўлқин ва зарра”, - ни фарқлаб беролмайди. Тўлқинлар тўсиққа бориб урилганда, урилиш бурчаги қайтиш бурчагига тенг бўлади. Бу қоида жисмларга ҳам тааллуқлидир, мисол учун теннис тўпини маълум бурчакда деворга улоқтирсангиз, ўша бурчак остида қайтади.

Ёруғликнинг синиш қоидаси бошқа масала. Фараз қилинг ёруғлик нури, ўзининг нормалдан оғанйўналишда муҳитга кирмоқда, яни ҳаводан сувга ўтмоқда. 8-3 расмда кўрсатилганидек, агар иккинчи муҳитдаги ёруғлик тезлигини камроқ деб таъсаввур қилсак ($v_2 < v_1$) бу букилишни Гюйгенс принципи орқали кўрсатишимиз мумкин. t – вақт ичида АВ тўлқин фронтидаги В нукта D нуктага етгунча $v_1 t$ масофани босиб ўтади. А нукта эса C нуктага боргунча $v_2 t$ масофани босиб ўтади ва $v_2 t < v_1 t$. Гюйгенс принципи C ва D нукталардаги тўлқинчаларни аниқлаш учун А ва В нукталарга қўлланилади. Тўлқин фронти бу тўлқинчаларга уринма бўлади ва янги тўлқин фронти CD ҳосил бўлади. Тўлқин фронтига перпендикуляр бўлган ёруғлик нури расмда кўрсатилганидек нормалдан оғади.

Нютон ёруғликнинг зарра назарияси тарафдори бўлган ва у иккинчи муҳитдаги тезликни каттароқ деб ҳисоблаган. Тўлқин назарияси эса буни аксини кўрсатган. 1850-йилда француз физиги Жан Фокалт сувдаги ёруғлик тезлигини ўлчаш учун тажриба ўтказган ва бу тажриба натижаси тўлқин назариясининг тўғрилигини билдирган. Кейинчалик ёруғлик назарияси барча олимлар томонидан қабул қилинган.



8.3. расм Гюйгенс принципи. Тўлқин fronti нурга перпендукуляр.

В. Снеллиус синиш қонуни Гюйгенс принципига асосланиб, ўша муҳитдаги ёруғлик тезлиги вакуумдаги ёруғлик тезлиги c ва синдиришқўрсаткичи n билан боғлиқдир, тенглама $v = c/n$. 8-3 расмда Гюйгенс конструкциясига асосланиб бурчак ADCни θ_2 ва бурчак BADни θ_1 деймиз. Ўшанда AD иккита учбурчак учун умумий томон бўлади ва

$$\sin \theta_1 = \frac{v_1 t}{AD} \sin \theta_2 = \frac{v_2 t}{AD}$$

Бу икки тенгламани бир бирига бўлсак бизда

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad \text{хосил бўлади. тенгламага асосан } v_1 = c/n_1 \text{ ва } v_2 = c/n_2 \text{ шундан}$$

$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ хосил бўлади, бу В. Снеллиус синиш қонидасидир.

Ёруғлик битта муҳитдан бошқасига ўтганда унинг частотаси ўзгармасдан унинг тўлқин узунлиги ўзгаради. Буни 8-3-расмда кўришимиз мумкин, ҳаво рангдаги чизиқлар тўлқин фронтини билдиради. Ва

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{v_2 t}{v_1 t} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

тенгламанинг охирида $v = c/n$ ишлатдик, агар $n=1$ бўлса $l_1 = l$ тенг бўлади. Агар n нинг қиймати ўзгарса

$$l_n = \frac{l}{n}$$

га тенг бўлади. Лекин частота ўзгармас бўлиб қолади $c = fl$.

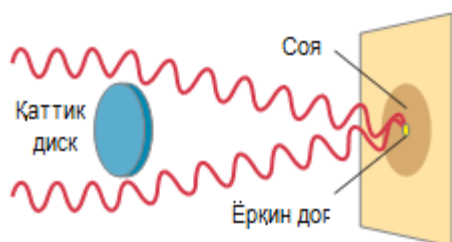
Ягона тирқиш ёки диск орқали диффракция

Юнгнинг иккитирқишли тажрибаси ёруғликнинг тўлқин назариясига янгилик олиб кирди. Лекин, тўлиқ ушбу фикрнинг маъқулланиши диффракцияни ўргангандан кейингина, ўн йилдан кейин, 1810 ва 1820 йиллар орасида амалга ошди.

Биз аллақачон диффракцияни сув ва ёруғлик тўлқинлари билан биргаликда қисқагина муҳокама қилдик. Биз диффракцияни қирралар атрофида ёйилиши ёки оғишини кўрдик. Келинг, батафсил ўрганиб чиқайлик.

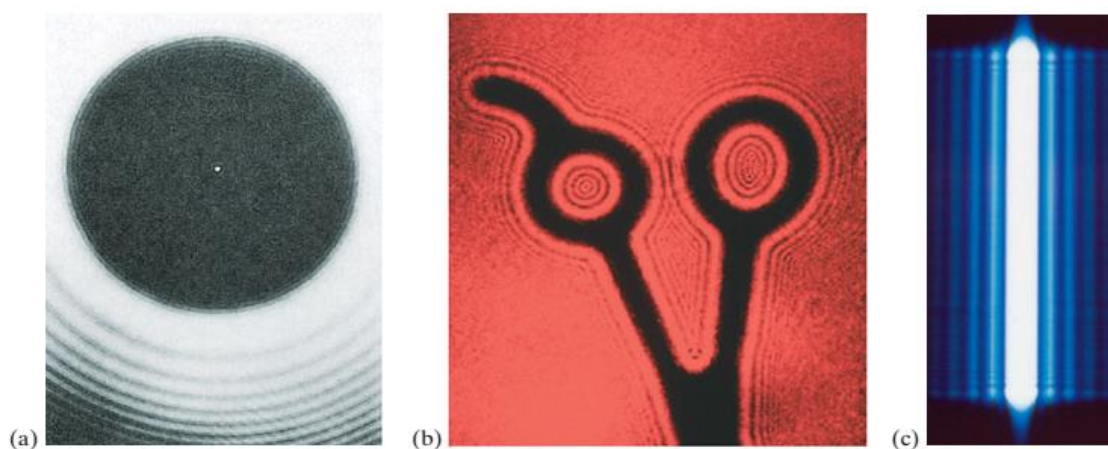
1819-йилда Августин Френел (1788-1827) Франция академиясига ёруғлик тўлқини назариясини тақдим қилди ва интерференция ҳамда диффракция эффектларини олдиндан айтиб, тушунтириб ҳам берди. Деярли шу захоти Симон Пуассон (1781-1840) кутилмаган, мантикка зид ҳулосани айтиб ўтди: Френелнинг тўлқин назарияси бўйича, агар нуқта манбадан чиқадиган ёруғлик қаттиқ дискка тушадиган бўлса, тушган ёруғликнинг бир қисми қирралар атрофида ёйилади ва диск соясининг марказига тушади (8-4 расм).

8-4 расм. Агар ёруғлик тўлқин бўлса, ёрқин доғ дискнинг соясининг марказида пайдо бўлади.



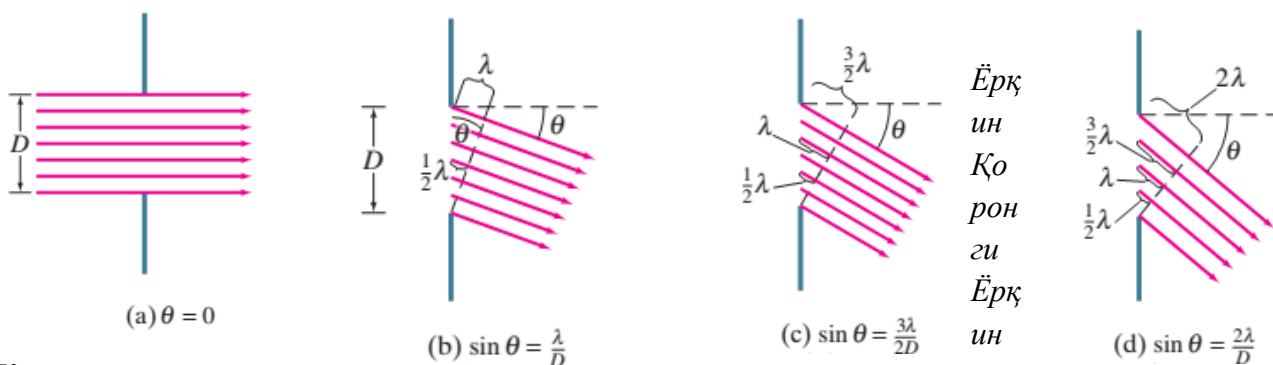
Ушбу башорат ҳақиқатга яқин эмас эди. Лекин, бу тажриба Франсуа Араго томонидан ўтказилганда, ёрқин доғ соянинг қоқ марказида кўрингани маълум бўлди (8-5а расм). Бу тўлқин назариясининг кучли исботи бўлди.

8-5а расмда танганинг сояси ёруғликнинг нуқтавий манбаси бўлмиш лазер томонидан туширилганини кўришимиз мумкин. Ёрқин доғ марказда аниқ тасвирланган. Ёрқин ва қоронги чизикларни соя атрофида кўришимиз мумкин. Булар иккиламчи-тирқишнинг интерференция чизикларига ўхшайди. Аслида ҳам, булар тўлқинлар интерференцияси сабаблидир, қайсики тўлқинлар дискнинг ташқи қирралари атрофида синади ва йўллар (чизиклар) гуруҳи диффрактограмма дейилади. Диффрактограмма нуқтавий манбадан ёритилган исталган ўткир қиррали жисм атрофида пайдо бўлади, 8-5bва с расмларда кўрсатилган. Биз ҳар доим ҳам диффракцияни сезмаймиз, чунки кўплаб ёруғлик манбалари ҳозирги кунда нуқтавий эмас, шунинг учун манбанинг турли қисмлардан келадиган ёруғлик тасвирни “ювиб” ташлайди.



8-5 расм. Диффрактограмма (а) думалоқ дискнинг (танга), (b) қайчининг, (с) ягона тирқиши, ҳар бири монохроматик (фақатгина бир рангдан иборат) ёруғлик нуқтавий манбаси орқали ёритилган.

Диффрактограмма қандай қилиб вужудга келганини кўриш учун, биз монохроматик (фақатгина бир рангдан иборат) нурни тор тирқишдан ўтишини муҳим ҳолатини кузатамиз (8-5с расмдаги каби). Фараз қилайлик, нурнинг параллел чизиқлари (ясси тўлқинлари) D қалинликдаги тирқиш орқали жуда узоқдаги кўринадиган экранга тушади. Бизнинг сув тўлқинларини ва Гюйгенс принципини ўрганганимиз орқали билишимизча, тирқиш орқали ўтадиган тўлқинлар ҳар йўналишга ёйилиб кетади. Биз ҳозир қандай қилиб тўлқинларнинг турли тирқиш қисмларидан ўтиши орқали бир бири билан кесишишини ўрганиб чиқамиз.



Қоронғи

8-6 расм. D қалинликдаги тор тирқишдан ўтадиган нур орқали пайдо бўлган диффрактограмманинг таҳлили

Монохроматик ёруғликнинг параллел нурлари 8-6а расмда кўрсатилганидек тор тирқишдан ўтади. D қалинликдаги тирқиш нурнинг λ тўлқин узунлиги тартиби бўйичадир, лекин тирқишнинг узунлиги (саҳифанинг ичкараси ва ташқариси бўйлаб) λ қараганда узунроқ бўлиши мумкин. Ёруғлик нурлари жуда узоқдаги деб қаралган экранга тушади, шунинг учун исталган нуқтага қаралган нурлар экранда учрашишидан олдинроқ деярли параллел бўлади. Биринчи бўлиб биз 8-6 расмдаги каби тўғри чизиқдек ўтадиган нурларни муҳокама қиламиз. Улар ҳаммаси бир фазада жойлашган бўлиб, экраннинг марказида бир ёрқин доғ пайдо қилади (8-6с расмга қаранг). 8-6b расмда биз θ бурчак остида ҳаракатланаётган нурларни ўрганамиз. Нурлар шундай θ бурчак остида ҳаракатланадики, тирқиш тепасидан ўтадиган нур тирқишнинг пастки қисмидаги нурдан аниқ бир тўлқин узунлиги масофаси узоқлигида экранга етиб бориш учун ҳаракатланади. Тирқишнинг айна марказидан ўтадиган нур эса тирқишнинг пастки қисмидан ўтадиган нурдан бир ярим тўлқин узунлиги масофаси узоқлигида ҳаракатланади. Ушбу икки нурлар фазалари бўйича бир бири билан аниқ мос келмайди ва шунинг учун ҳам экранда устма уст тушишганда улар суст кесишади. Пастдагидан сал тепада жойлашган нур марказдан шунча масофа тепароқда жойлашган нур билан қисқариб кетади. Тирқишнинг пастки бўлагидан ўтадиган ҳар бир нур мос равишда тепа бўлагидан ўтадиган нур билан ейишиб

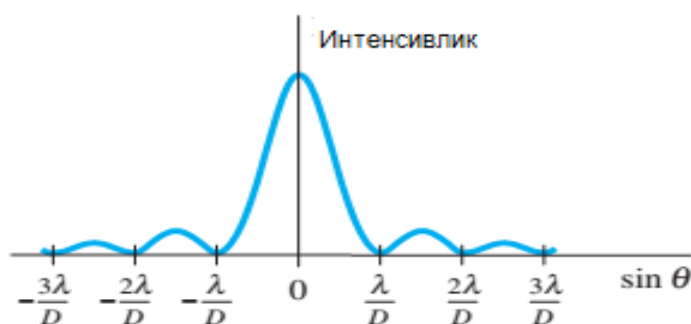
кегишади. Шунинг учун ҳам, барча нурлар жуфтликда сустр кесишади ва ёруғлик интенсивлиги ушбу бурчак остида экранда нолга тенг бўлади. Ушбу ходиса содир бўладиган θ бурчаги 24-20b расмда кўриниши мумкин, қачонки $\lambda = D \sin \theta$ бўлганда, ва

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{D} [\text{биринчи минимум}] \quad (\text{А})$$

Ёруғлик интенсивлиги $\theta = 0^\circ$ да максимум бўлади ва А- тенгламада берилган θ бурчакда минимумга тушади (интенсивлик = ноль).

8-6с расм бўйича энди биз каттарок θ бурчакни ўрганамиз, унда тирқиш тепасидан ўтадиган нур тирқишнинг пастки қисмидаги нурдан $3/2\lambda$ масофа узоқлигида ҳаракатланади. Ушбу ҳолатда, тирқишнинг учдан бир қисмининг пастидан ўтадиган нурлар учдан бир қисмининг ўртасидан ўтадиган нурлар билан жуфтликда ейишиб кетади, чунки улар $\lambda/2$ масофага фазалари бўйича мос тушмайди. Бироқ тирқишнинг учдан бир қисмининг тепасидан ўтадиган нурлар экранга етиб боради, шунинг учун $\sin \theta \approx 3\lambda/2D$ яқинида марказий ёрқин доғ пайдо бўлади, лекин у $\theta = 0^\circ$ ҳолатдаги каби ёрқин доғ бўлмайди.

Хатто каттарок θ бурчак учун тепа нур пастки нурдан 2λ тўлқин узунлиги масофаси узоқлигида ҳаракат қилса ҳам, тирқишнинг тўртдан бир қисмининг пастидан ўтадиган нурлар ўша қисмининг (тўртдан бир қисмининг) шундоқ тепасидан ўтадиган нурлар билан жуфтликда ейишиб кетади, чунки йўл узунликлари $\lambda/2$ га фарқ қилади. Ва яна тирқишнинг тўртдан бир қисмининг шундоқ марказининг тепасидан ўтадиган нурлар ўша қисмининг (тўртдан бир қисмининг) шундоқ тепасидан ўтадиган нурлар билан ейишиб кетади. Ушбу бурчакда яна диффрактограммада минимум нол интенсивлиги кузатилади.



8-7 расм. Интенсивлик
ягона тирқиш

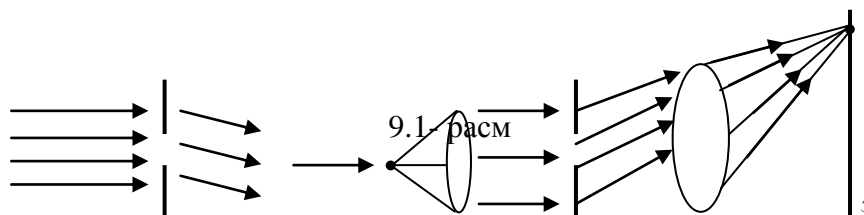
диффракция диаграммасида $\sin \theta$ функцияси дур. Марказий максимум ҳар бир томондаги максимумларга қараганда фақатгина катта эмас, балки икки баробар кенгроқ ҳамдир ($2\lambda/D$), бошқаларига нисбатан (ҳар бири λ/D кенглигида)

Бурчак функцияси бўлган интенсивлик графиги 8-4 расмда кўрсатилган. Бу 8-6с расм билан ўзаро мос тушади. Аҳамият беринг, минимумлар (нол интенсивлик) марказнинг иккала томонида ҳам учраб туради:

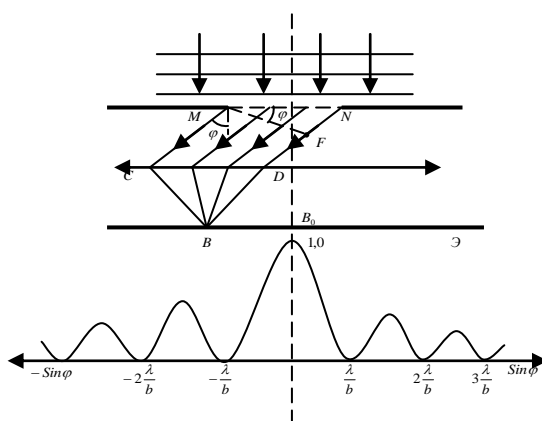
$$D \sin \theta = m\lambda, m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, [\text{минимумлар}]$$

лекин $m = 0$ да учрамайди, сабаби бу ерда у энг юқори максимумга эришади. Минимумлар орасида, кичик интенсивликда максимумлар учрайди, тахминан $m \approx 3/2, 5/2, \dots$ масофаларда.

Фраунгофер дифракцияси. Немисфизиги И. Фраунгофер (1787-1826) параллел нурларнинг дифракциясини кўриб чиқди, бунда дифракцион манзарат ўсиқдан чексиз узокликда жойлашган нуктада кузатилади. Бундай дифракцияни кузатиш учун ёруғлик манбаи линзанинг фокусига ва экранни ўсиқдан кейин ўрнатилган линзанинг фокал текислигига жойлаштириш киёя 9.1-рasm.



Тирқишда Фраунгофер дифракцияси. Кенглиги $MN = b$ бўлган тирқишга перпендикуляр йўналишда монокроматик ёруғлик тушаяпти деб ҳисоблайлик (9.2-рasm). Тирқишнинг икки четидан φ бурчак остида тарқаётган MC ва ND нурларнинг йўл фарқи куйидагига тенг.



9.2-рasm

$$\Delta = NF = b \sin \varphi \quad (9.1)$$

MN тирқишни тирқиш қиррасига параллел бўлган полосаларга (зоналарга) бўламиз. Бу зоналарнинг кенглиги шундай олинади-ки, уларнинг четларидан тарқаётган нурларнинг

йўл фарқи $\frac{\lambda}{2}$ га тенг бўлиши керак, бошқача айтганда тирқиш кенглигида ($\Delta : \frac{\lambda}{2}$) та зона бўлади. Тушаётган ёруғлик фронти тирқиш текислигига параллел бўлгани учун иккиламчи нурларнинг ҳам фазалари ва амплитудалари бир хил бўлади.

(11.1) дан кўриниб турибдики, зоналар сони бурчак φ га боғлиқ. Зоналар сонига эса иккиламчи тўлқинларнинг интерференция натижаси боғлиқ. Қўшни икки зонадан келган иккиламчи тўлқинлар бир-бирини сусайтиради (йўл фарқи $\frac{\lambda}{2}$ га тенг бўлганлиги учун). Демак Френель зоналарининг сони жуфт бўлса ёки:

$$b \sin \varphi = \pm (2m) \frac{\lambda}{2} \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (9.2)$$

бўлса, В нуқтада дифракцион минимум кузатилади. Агар зоналар сони тоқ бўлса, В нуқтада дифракцион максимум кузатилади:

$$b \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (9.3)$$

$\varphi = 0$ йўналишда тирқиш битта Френель зонасидек ишлайди, шунинг учун B_0 нуқтасида марказий дифракцион максимум кузатилади.

Максимумлар жойлашган жой φ га боғлиқ. Шунинг учун 9.2-расмда чизилган манзара монохроматик нур учун чизилган. Оқ нурда четдаги максимумлар рангли бўлади.

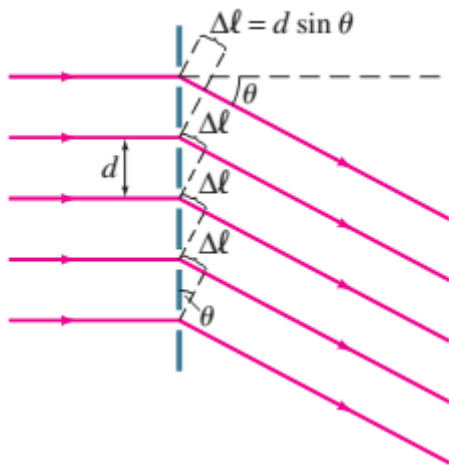
Дифракцион панжара

Тенг интерваллардан иборат кўп сонли параллел тирқишлар дифракция панжараси дейилади, гарчи «интерференция панжараси» термини тўғри келган тақдирда ҳам. Панжаралар параллел чизиклардан иборат аниқ ишлов йўллари орқали шишадан қилинган пластинкадан ясалади. Чизиклар орасидаги тегилмаган оралар тирқишлар бўлиб хизмат қилади. Дастлабки панжаранинг фотографик шаффофлиги арзон панжараларни тайёрлашга ёрдам беради. Хар бир сантиметрга 10,000 чизиклардан ёки тирқишлардан иборат панжаралар кенг тарқалган бўлиб, тўлқин узунликларини аниқ ўлчаш учун жуда ҳам фойдалидир. Тирқишлардан иборат дифракция панжараси **шаффоф (ўтказувчи) дифракция панжараси** дейилади. Дифракция панжарасининг бошқа бир тури **акс этувчи дифракция панжараси** бўлиб, метал ёки шишадан қилинган юзада юритилган чизиклар орқали нурнинг акс этишидан пайдо бўлади. Бу таҳлил шаффоф дифракция панжараси учун ҳам бир хил ва биз буни ҳозир муҳокама қиламиз.

Дифракция панжарасининг таҳлили Юнгнинг иккитирқишли тажрибасига жуда ҳам ўхшашдир. 9-3 расмга кўра ёруғликнинг параллел нурлари панжара бўйлаб тушаётганини кўришимиз мумкин. Тирқишлар етарлича тор жойлашган бўлиб, хар бирининг орасидаги дифракция ёруғлик нуруни панжарадан узокдаги экранга катта бурчак орқали ёйилишига имкон беради, ва бошқа ҳамма тирқишлардан ўтадиган ёруғлик нури билан интерференция пайдо бўлиши мумкин. Хар бир тирқишдан хар қандай оғишларсиз ($\theta = 0$) ўтадиган ёруғлик нурлари экраннинг марказида максимум ёрқинликни амалга ошириш учун кучаювчи (конструктив) тарзда кесишади. Конструктив интерференция шундай θ бурчаги остида ҳам пайдо бўлиши мумкинки, унда қўшни тирқишлардан ўтадиган нурлар қўшимча масофа $\Delta \ell = m\lambda$ ни босиб ўтади, тўғри сондир. Агар d тирқишлар орасидаги масофа бўлса, 9-3 расмдан кўриниб турганидек $\Delta \ell = d \sin \theta$ га тенг ва

$$\sin \theta = \frac{m\lambda}{d}, \quad m = 0, 1, 2, \dots, \quad [\text{диффракцион панжаранинг асосий максимуми}] \quad (9-4)$$

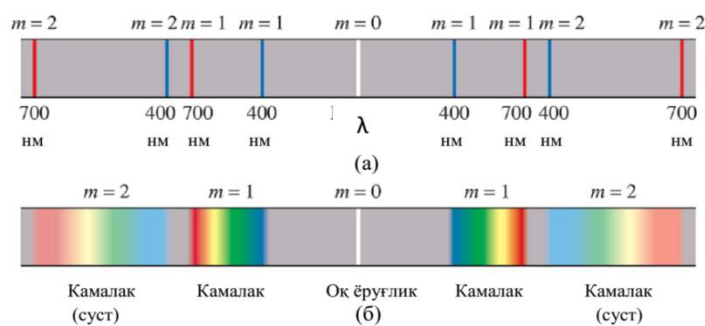
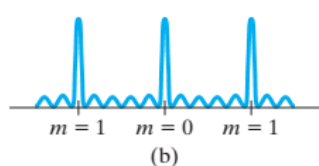
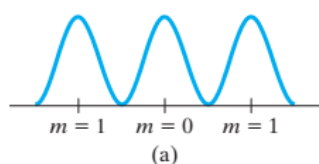
бу максимум ёруғлик мезонидир. Бу тенглама иккиламчи-тирқиш тенгласи билан бир хил ва m -диаграмманинг тартиби дейилади.



9-3 расм. Диффракцион панжара.

Иккитирқишли ва кўплик-тирқишлари диаграммалари орасида муҳим бир фарқ бор. Панжара учун максимум ёруғлик ўткирроқ ва торроқ бўлади. Нима учун? Фараз қилинг, 9-3 расмдаги θ бурчак максимум учун керакли θ бурчакка ошди. Фақатгина икки тирқиш учун, икки тўлқин фазадан озгина чиқиб кетади, шунинг учун деярли тўлиқ конструктив интерференция содир бўлади. Бу максимумлар етарли даражада кенг деганидир. Панжара учун, икки қўшни тирқишлардан ўтадиган тўлқинлар фазадан ахамиятли даражада чиқиб кетмайди. Лекин бир тирқишдан чиқадиган тўлқинлар ва юзлаб тирқишлар узоклигидаги бошқа иккинчи тирқишдан чиқадиган тўлқинлар аниқ фазадан чиқиб кетиши мумкин; барча ёки деярли барча нурлар бундай жуфтликларда қисқариб кетиши мумкин. Масалан, фараз қилинг θ ўзининг биринчи тартибли максимумидан салгина фарқ қилади, ва қўшни жуфт тирқишлар учун қўшимча масофа узунлиги λ эмас, балки 1.0010λ га тенг бўлади. Бир тирқишдан ва иккинчиси 500 та тирқиш пастроқдан ўтадиган тўлқин $1\lambda + (500)(0.0010\lambda) = 1.5000\lambda$ масофа фаркига эга бўлади, ёки $1 \frac{1}{2}$ тўлқин узунлигига, шунинг учун иккаласи фазадан ташқарида бўлади ва йўқ бўлиб кетишади. Тирқишлар жуфтлиги, ҳар биридан битта пастроқдагилари ҳам ўз ўзидан қисқариб кетишади. Бу дегани, масалан биринчи тирқишдан чиқадиган нур 501-тирқишдан чиқадиган нур билан қисқариб кетади; иккинчи тирқишдан чиқадиган нур 502-тирқишдан чиқадиган нур билан қисқариб кетади ва ҳоказо. Шунинг учун ҳам, ҳатто $1/1000\lambda$ узунликдаги қўшимча масофага мос келувчи кичик бурчак учун сусайтирувчи интерференция мавжуд ва диффракция панжарасининг максимумлари жуда ҳам тордир. Панжарада қанча кўп тирқишлар бўлса, унинг учлари шунча ўткир бўлади (9-4 расмни кўринг). Чунки панжара фақатгина икки тирқишлидан кўра кўпроқ ўткир максимумлар ва ёрқинроқ максимумлар ишлаб чиқаради, чунки қанча тирқишлар кўп бўлса панжара шунча юқори аниқлигга тўлқинларни ўлчайдиган асбоб бўлади.

Фараз қилинг, диффракция панжарасига урилатган нур монохроматик (фақатгина бир рангдан иборат) эмас, балки икки ва ундан ортиқ турли тўлқин узунликларидан иборат. $m = 0$ тартибдан фарқли бошқа тартиблар учун ҳар бир тўлқин узунлиги турли хил бурчак остида максимум ишлаб чиқаради (24-4 тенглама), экранда чизиқни пайдо қилган ҳолда (9-5 расм).



9-4 расм. Интенсивлик қўринадиган бурчак θ функцияси (еки экрандаги жойлашуви), (а) икки тирқиш учун, (б) олти тирқиш учун.

9-5 расм. Дифракцион панжарада спектрларга ажратилган ёруғлик: (а) 400 ва 700 нмли иккита тўлқин узунликлар; (б) Оқ ёруғлик.

Биринчи тартибли интерференцияга нисбатан иккинчи тартиблиси интенсивлиги сустроқ. (Бу ерда юқори тартиблар кўрсатилмаган). Агар панжара даври етарлича кичик бўлса, иккинчи ва юқори тартиблар спектрда кузатилмаган бўларди. Агар оқ ёруғлик панжарага тушса, марказий максимум ($m=0$) кескин оқ чизик бўлади. Бироқ бошқа барча тартиблар учун, Чунки, дифракцион панжара ёруғликни тўлқин узунликлар компоненталарга ажратади, натижада эса спектр деб номланади.

Дифракцион панжарада Фраунгофер дифракцияси. Дифракцион панжара бир-биридан бир хил масофада жойлашган, бир-бирига параллел бўлган ва битта текисликда ётган тирқишлардан иборат қурилмадир (9.6-расм). Панжарада кузатиладиган дифракцион манзара ҳамма тирқишлардан келадиган когерент тўлқинларнинг ўзаро интерференцияси натижасида ҳосил бўлади.

Мисол тариқасида икки тирқишдан (MC ва ND) иборат дифракцион панжарадаги параллел нурлар дифракциясини кўриб чиқамиз. Тирқиш кенлиги b тирқишлар орасидаги ношаффоф қисм кенлиги a , $d = a + b$ катталикини дифракцион панжаранинг доимийси (даври) деб аталади. Тирқишлар бир-биридан бир хил масофада жойлашганлари учун қўшни тирқишлардан тарқаётган нурларнинг йўл фарқи тенг.

$$\Delta = CF = (a + b) \sin \varphi = d \sin \varphi \quad (9.4)$$

Ҳар битта тирқишнинг бераётган минимуми бир хил жойда бўлади, тирқишнинг ўз-ўзига параллел силжиши бунга таъсир қилмайди:

$$b \sin \varphi = \pm m \lambda \quad (9.5)$$

Бундан ташқари, икки тирқишдан келадиган нурлар қўшимча минимумлар бериши мумкин. Бу минимумлар $\frac{\lambda}{2}$, $3\frac{\lambda}{2}$ ларга тенг йўл фарқи ҳосил бўладиган

йўналишларда кузатилади,масалан тирқишларнинг чап томондаги четидан чиққан нурлар.Демак, қўшимча минимумлар шarti қуйидагича бўлади:

$$d\sin\varphi = \pm(2m+1)\frac{\lambda}{2} \quad (m = 0,1,2,\dots) \quad (9.6)$$

Лекин бир тирқишнинг нурларини иккинчи тирқишнинг нурлари қуйидаги шарт бажарилганда кучайтиради (бош максимумлар шarti):

$$d\sin\varphi = \pm 2m\frac{\lambda}{2} \quad (m = 0,1,2,\dots) \quad (9.7)$$

Демак,тўлиқ дифракцион манзара қуйидаги шартларга асосланади:

$$b\sin\varphi = \pm m\lambda \quad (m = 1,2,3) \quad \text{бош минимумлар}$$

$$d\sin\varphi = \pm(2m+1)\frac{\lambda}{2} \quad (m = 0,1,2,\dots) \quad \text{қўшимча минимумлар}$$

$$d\sin\varphi = \pm 2m\frac{\lambda}{2} \quad \text{бош максимумлар}$$

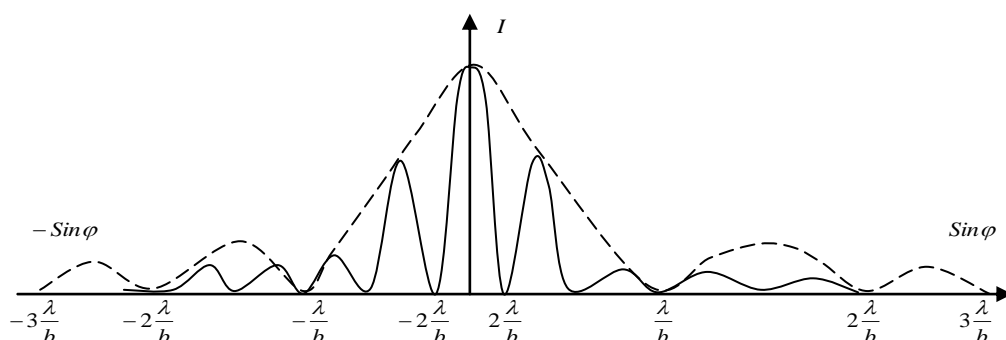
Буларни бошқача ёзамиз:

$$\text{Аввалги (битти тирқишдан) минимумлар} \quad b\sin\varphi = \lambda \quad 2\lambda \quad 3\lambda$$

$$\text{Қўшимча минимумлар} \quad d\sin\varphi = \frac{\lambda}{2} \quad \frac{3\lambda}{2} \quad \frac{5\lambda}{2}$$

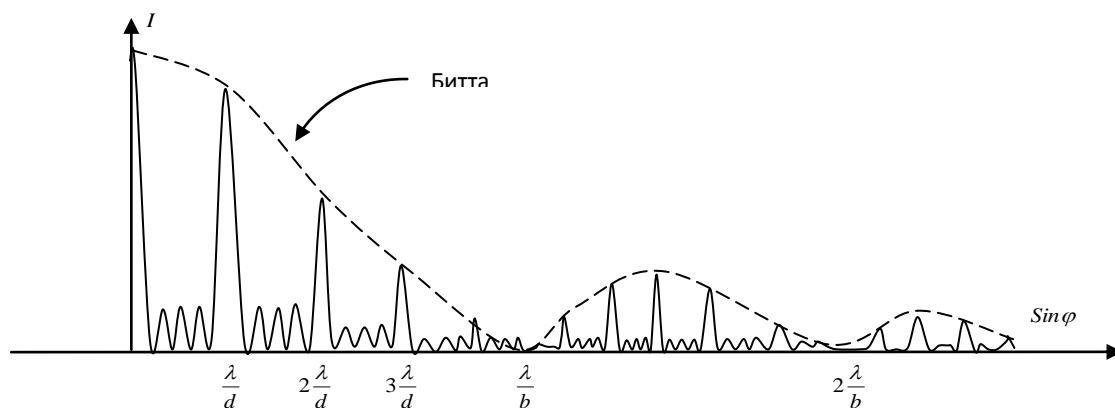
$$\text{Бош максимумлар} \quad d\sin\varphi = \lambda \quad 2\lambda \quad 3\lambda$$

9.7-расмда икки тирқишда кузатиладиган интерференция манзараси кўрсатилган:



9.7 расм

Тирқишларнинг сони N та бўлса, биз бундай қурилмани дифракцион панжара деймиз. 9.7-расмда дифракцион панжарадаги интерференция манзараси кўрсатилган:



9.8-расм

Энди N тиркиш учун қуйидаги шартлар бажарилади:

Аввалги минимумлар: $b \sin \varphi = \lambda \quad 2\lambda$

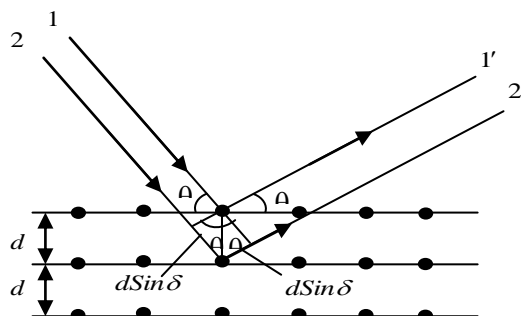
Бош макисмумлар: $d \sin \varphi = 0 \quad \lambda \quad 2\lambda$

Қўшимча минимумлар: $d \sin \varphi = \frac{\lambda}{N}, \frac{2\lambda}{N}, \dots, N-1 \frac{\lambda}{N}, \dots, N+1 \frac{\lambda}{N}, \dots$

Бошқача айтганда, икки қўшни максимумлар ўртасида $(N-1)$ та қўшимча минимумлар жойлашади.

Рентген нурлари дифракцияси. Вульф-Брегг формуласи. Дифракцион манзарани кузатиш учун панжара доимийси ва тўлқин узунлиги билан деярли бир хил бўлиши керак: $d \approx \lambda$. Кристаллар уч ўлчамли фазовий панжаралардир, уларнинг панжара доимийси 10^{-10} м атрофида, шунинг учун оптик диапазонда ($\lambda \approx 5 \cdot 10^{-7}$ м) дифракция кузатилиши мумкин эмас. Лекин рентген нурлари ($\lambda \approx 5 \cdot 10^{-8} \div 10^{-12}$ м) бунинг учун жуда мос келиши мумкин, бу фикрни биринчи марта немис физиги М.Лауэ (1879-1960) айтган.

Рентген нурларининг кристалл панжарасидаги дифракциясини оддий йўл билан ҳисоблашни биринчи марта Г.В.Вульф (1863-1942) ва инглиз олимлари Брегглар (1862-1942-отаси ва (1890-1971) таклиф этишган. Уларнинг фикри бўйича, рентген нурлари дифракцияси кристалл панжараларида атомлар ётган текисликлардан қайтиш натижасида юз беради (9.9-расм):



9.9 расм

Кристаллографик текисликлар бир-биридан d масофада жойлашган, параллел рентген нурлари эса шу текисликка θ бурчаги остида тушаяпти. Бу нурлар атомлар билан таъсирлашиб иккиламчи когерент нурларни ($1'$ ва $2'$) ҳосил қилади,

Улар эса ўз навбатида ўзаро интерференция қилади. Интерференцион максимумлар $1'$ ва $2'$ нурлар ўртасидаги йўл фарқи $\Delta m \lambda$ га тенг бўлсагина кузатилади.

$$\Delta = 2d \sin \theta = m \lambda \quad (9.8)$$

Бу муносабат Вульф –Брегг формуласи деб аталади. Демак, дифракция тушиш бурчаги маълум қийматга тенг бўлсагина кузатилад экан. Бу формула икки муҳим нарсани аниқлашга ёрдам беради.

Агар тушиш бурчаги θ, m ва λ маълум бўлса, бу формула орқали панжара доимийси d ни аниқлаш мумкин, бошқача айтилганда, кристаллнинг структурасини ўрганиш мумкин. Бу метод рентгеноструктура анализи деб аталади.

Агар панжара доимийси d маълум бўлса, θ ва m ларни дифракцион манзарадан ўлчаб олиб рентген нурининг тўлқин узунлиги λ ни топиш мумкин. Бу усул рентген спектроскопияси деган йўналишнинг асосида ётади.

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

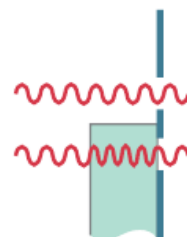
Дифракция, Френель дифракцияси, Фраунгофер дифракцияси, параллел нурлар дифракцияси, дифракцион панжара, дифракцион максимум, дифракцион минимум, Рентген нурлари, Рентген нурлари дифракцияси, Вульф-Брегг формуласи.

Назорат саволлари.

1. Ёруғлик дифракцияси қандай физик ҳодиса.
2. Френель зоналар услуби нима мақсадда киритилган.
3. Зоналардан фойдаланишнинг хусусиятини тушунтиринг.
4. Натижавий амплитуда қиймати қандай изоҳланади.
5. Френель зонасининг радиуси қандай кўнинишга эга.
6. Бир қўлингизни кўзингизга яқинлаштириб ва узоқда турган ёруғлик манбасини иккала бармоғингиз билан ҳосил қилинган ингичка тирқишда фокусланг. (Бармоқларни шундай жойлаштирингки тиниқ тасвир ҳосил бўлсин.) Сиз кўраётган тасвирни тавсифлаб беринг.
7. Битта тирқишдаги дифракция учун, (а) тирқиш кенглиги ортиши, (б) тўлқин узунлигининг ортиши қандай эффектларни юзага келтиради?
8. Кенглиги (а) 60 нм, (б) 60000 нм бўлган тирқишга оқ ёруғлик тушганда ҳосил бўлган бир тирқишли дифракция манзарасини тушунтиринг.
9. Агар қурилмага ҳаво ўрнига (а) сув, (б) вакуум ишлатилса, бир тирқишнинг дифракцион манзараси қандай ўзгаради?
10. Орасидаги масофа 10^{-4} см бўлган иккита тирқиш ва 10^4 тирқиш/см ли дифракцион панжарада ҳосил қилинган интерференцион манзараларнинг фарқи нимада?
11. Дифракцион панжара учун қайси бири муҳимроқ (а) кўп тирқишга эга бўлиши, (б) жуда яқин жойлашган тирқишларга эга бўлиши?
12. Оқ ёруғлик (а) дифракцион панжарага ва (б) призмага тушмоқда. Иккала ҳолатда ҳам горизонтал тушаётган нур йўналишидан сал пастрокдаги деворда камалак ҳосил қилади. Ҳар икки ҳолатда, камалакнинг энг юқори қисмидаги ранг қайси?

Амалий машғулот.

1. Монохроматик ёруғлик икки тирқишли тўсиқдан ўтказилганда 8.6^0 бурчакда 5-тартибли ёрқинликдаги интерференцион чизикларни ҳосил қилади. Тирқишлар орасидаги масофа 0.018 мм га тенг. Ёруғликнинг тўлқин узунлигини топинг.
2. 610 нм тўлқин узунлигидаги ёруғлик икки тирқишли тўсиқдан ўтганда 31^0 бурчакда 3-тартибли ёрқинликдаги интерференцион чизикларни ҳосил қилди. Тирқишлар орасидаги масофани топинг.
3. Тирқишлар орасидаги масофа 0.048 мм га тенг тўсиқдан монохроматик ёруғлик ўтказилди. Тўсиқдан 6.5 м узоқликдаги экрандаги интерференцион манзара марказидаги чизиклар бир биридан 8.5 см узоқликда. Ёруғликнинг тўлқин узунлиги ва частотасини аниқланг.
4. Тирқишлар орасидаги масофа 0.62 мм га тенг бўлган тўсиқдан тўлқин узунлиги 720 нм ва 660 нм ли ёруғлик ўтказилган. Тўсиқдан 1 м узоқликдаги экрандаги интерференцион манзарадаги 2-тартибли чизиклар орасидаги масофани топинг.
5. Сув юзасидаги тўлқинлар дўнгликлари орасидаги масофа 4,5 см бўлиб, бир биридан 7,5 см масофада жойлашган тахтадаги иккита тирқишдан ўтади. Тахтадан 3,0 м масофада ва тахтага перпендикуляр чизикқа нисбатан қандай бурчак остида тўлқин сўниш нуқтаси мавжуд?
6. Физика лабораториясидаги қизил лазер 632.8-нм ли ёруғлик чиқара олади. Бу лазердан чиққан ёруғлик тирқишлари бир-бирига яқин жойлашган икки тирқишли тўсиқдан ўтказилди. Тўсиқдан бир неча метр узоқликда жойлашган экранда ҳосил бўлган интерференцион манзара марказидаги ёрқин қизил чизиклар бир биридан 5 мм узоқликда жойлашган. Агар шу лазер кичикроқ лазер туширгич билан алмаштирилса ёрқин қизил чизиклар бир биридан 5.14 мм узоқликда жойлашади. Кичик лазер туширгичдаги ёруғликни тўлқин узунлигини топинг.
7. Тўлқин узунлиги 680 нм га тенг бўлган ёруғлик икки тирқишли тўсиқдан ўтказилганда ҳосил бўлган интерференцион манзара марказидаги чизик ёрқин қизил чизиклардан 38 мм узоқликда жойлашган. Экран 2.8 м узоқликда. Икки тирқиш орасидаги масофани топинг.
8. Тирқишлар орасидаги масофа 0.17 мм га тенг бўлган тўсиқдан тўлқин узунлиги λ бўлган ёруғлик ўтказилганда, тўсиқдан 37 см узоқликда жойлашган экранда интерференцион манзара пайдо бўлади. 24-9а расмдаги тасвирни интерференцион манзара деб ҳисобласак, линейкадан фойдаланган ҳолда керакли ўлчамларни олиб λ ни (нм) аниқланг.
9. He-Ne лазеридан чиқаётган 633 нм тўлқин узунлигидаги ёруғлик, тирқишлар орасидаги масофа 0.068 мм га тенг бўлган тўсиққа туширилди. 3.3 м узоқликдаги интерференцион манзара марказидаги чизиклар орасидаги масофани топинг.
10. Физика профессори Юнгнинг икки тирқишли тажрибасини 633 нм тўлқин узунлигидаги ёруғлик чиқарадиги He-Ne лазеридан фойдаланган ҳолда бажаришни хоҳлайди. Маъруза хонаси катта бўлганлиги сабабли профессор интерференцион манзарани тўсиқлардан 5 м узоқликдаги деворга туширмоқчи. Дарсдаги талабаларга осон кўриниши учун профессор $m=0$ ва $m=1$ максимумлари орасидаги масофани 35 см бўлишини истайди. Бундай интерференцион манзарани ҳосил қилиш учун тирқишлар орасидаги масофа қандай бўлиши керак?
11. Ингичка шиша бўлаги 24-7 расмда кўрсатилган пастки тирқиш олдида жойлаштирилди ва иккита тўлқин 180^0 фазалар фарқи билан тирқишларга тушади (24-58 расм). Экранда кузатиладиган интерференцион манзарани батафсил чизинг.



24-58 РАСМ
11 масала

12. Икки тирқишли тажрибада кўриндики, тўлқин узунлиги 480 нм бўлган кўк ёруғлик экрандаги маълум бир нуқтада 2-тартибли максимумга эга бўлди. Худди шу нуқтада минимум бўлиши учун зарур бўлган ёруғлик тўлқин узунлиги топинг.
13. Тирқишлар орасидаги масофа 1 мм га тенг бўлган тўсиқ тўлқин узунлиги 544 нм бўлган ёруғлик билан ёритилган. Тирқишлардан 4 м узоқликда жойлашган экрандаги ёнма-ён ёрқин интерференцион чизиқлар орасидаги масофани аниқланг.
14. Икки тирқишли тажрибада, тўлқин узунлиги 480 нм бўлган ёруғлик тирқишлардан 1.6 м узоқликда жойлашган экранда ҳосил бўлган интерференцион манзара марказидаги чизиқдан 3-тартибли максимумгача бўлган масофа 16 ммга тенг. 2-тартибли максимумгача бўлган масофани топинг.
15. Тўлқин узунлиги 470 нм бўлган ёруғлик бир биридан $6,00 \times 10^{-2}$ мм масофадаги икки тирқишни ёритади. Тирқишлар ва 40,0 см узоқликдаги экран сувга туширилди. Экрандаги чизиқлар бир биридан қанча масофада?

Лаборатория машғулоти

ДИФРАКЦИОН ПАНЖАРА ЁРДАМИДА ЁРУҒЛИКНИНГ ТЎЛҚИН УЗУНЛИГИНИ АНИҚЛАШ

Ишнинг мақсади: Дифракцион ҳодисани физик мазмуни ва дифракцион панжара ёрдамида тўлқин узунлигини ўлчаш усули билан танишиш.

Керакли асбоблар ва буюмлар: Оптик таглик, ёруғлик манбаи, дифракцион панжара, рангли филтрлар, тирқишли экран.

НАЗАРИЙ ҚИСМ

Ёруғлик тўлқининг жуда кичик тирқишлардан ўтаётганида уни тўғри чизиқли таркалиш қонунидан четга чиқиш ёки шаффоф бўлмаган тўсиқларни айланиб ўтиш ҳодисаси ёруғлик дифракцияси дейилади. Дифракция ҳодисаси натижасида ёруғлик тўлқинлари тўсиқларнинг «соя» соҳасига ўтади.

Дифракцион ҳодисаси қуйидаги шарт бажарилган ҳолдагина кузатилади: $b \ll \sqrt{L\lambda}$

Мазкур ифода дифракцияни кузатиш шартидир. Бунда b - тирқиш кенлиги, L - дифракцион манзара кузатиладиган экрандан тирқишгача масофа, λ - ёруғликнинг тўлқин узунлиги.

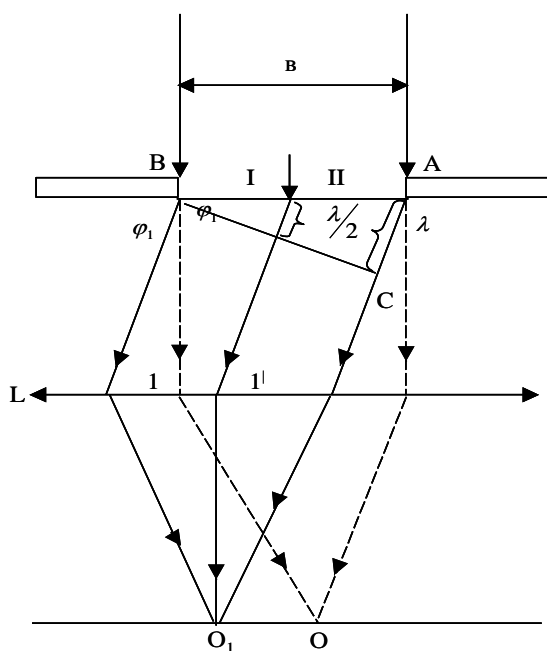
Тўсиққа тушаётган ёруғлик тўлқининг сирти (яъни бир хил фазада тебранувчи нуқталарнинг геометрик ўрни) сферадан иборат бўлган ва кузатиш нуқтаси чекли масофада жойлашган ҳолдаги дифракцияни Френель текширган. Шунинг учун шу синфга оид дифракция Френель дифракцияси дейилади. Тўсиққа тушаётган нурлар параллел даста ҳосил қилган ва дифракцион манзара чексизликка мужассамлашган ҳолдаги дифракцияни Фраунгофер текширган. Шунга кўра шу синфга оид ҳодисалар Фраунгофер дифракцияси дейилади. Биз Френель ва Фраунгофер дифракцияларини кенгроқ ўрганамиз.

Дифракция ҳодисасини иккита қонун асосида тушунтириш мумкин.

1.Гюйгенс – Френель принципи. Тўлқин фронтининг ҳар бир нуқтаси, берилган муҳит учун характерли бўлган v тезлик билан тарқалувчи иккиламчи тўлқин манбаи бўла олади. Тўлқин fronti деганда ихтиёрий t вақтда тебранишлар етиб кеган муҳит зарраларининг геометрик ўрни тушунилади.

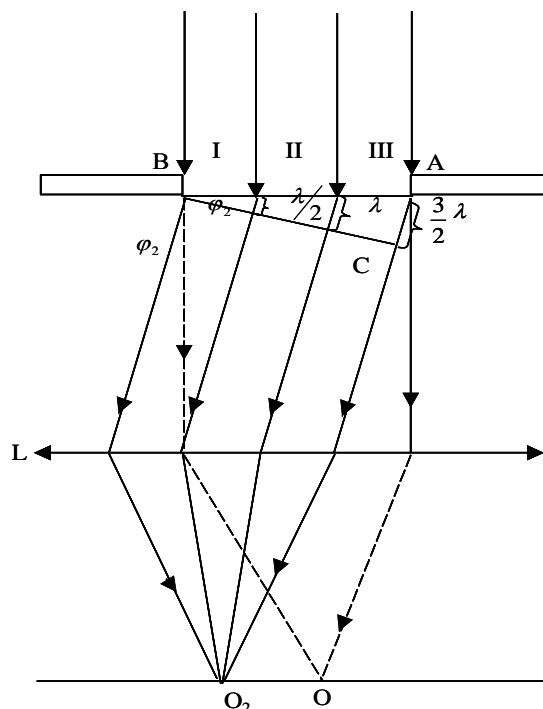
2.Интерференция қонуни. Тўлқин бир жинсли муҳитда тарқалаётган бўлса, тўлқин fronti ҳамма вақт тўлқин сиртларининг бирортаси билан мос келади. Тўлқин фронтининг барча нуқталари бир хил частота ва бир хил фазада тебранади, демак когерент манбалар тўпламидан иборат экан. Муҳитнинг исталган бир нуқтасида ҳосил бўлаётган ёруғлик тебранишининг амплитудаси иккиламчи тўлқин манбаларининг шу нуқтада вужудга келаётган тебранишларнинг йиғиндисига тенг. Натижавий амплитудани ҳисоблаётганда тўлқин fronti олдида олинган ихтиёрий М нуқтага, иккиламчи манбалардан чиқаётган тўлқинлар турли масофани босиб келишларини ва демак, улар мос равишда фаза жиҳатидан силжиган бўлишини эътиборга олиш керак. Шундай қилиб, дифракцион манзара тўсиқларни айланиб ўтувчи иккиламчи манбалардан чиқаётган ёруғлик нурларининг интерференцияси ўзаро кўшилиш натижасида вужудга келади.

Фраунгофер дифракцияси одатда лаборатория шароитида ясси ёруғлик тўлкинини тор тирқишлардан ўтказиш натижасида ҳосил қилинади. Шунинг учун ёруғликнинг бир тирқишдан шунингдек, кўп параллел тирқишлар, системасидан ўтишида вужудга келувчи дифракцияни кўриб чиқамиз.



1-расм

6.1-расм



2-расм

6.2-расм

Бир тирқишдан ҳосил бўладиган дифракция.

Кенглиги « b » бўлган тўғри тўртбурчак шаклидаги тор АВ тирқишга параллел монохроматик нурлар дастаси тушаётган бўлса, бунда тирқиш узунлиги кенлигидан кўп марта катта бўлиш шарт. Текшириляётган ҳолда АВ тирқишга тушаётган монохроматик ясси ёруғлик тўлқин fronti, тирқиш текислиги ва экран текислиги ўзаро параллелдир (6.1, 6.2-расм).

Тирқишга етиб келган сиртнинг барча нуқталари бир хил тебранади. Бир хил фазада тебранувчи нуқталарнинг геометрик ўрни тўлқин сирт дейилади. Гюйгенс принципига мувофиқ тирқишнинг барча нуқталари иккиламчи тўлқин манбаи бўлиб

қолади. Бирламчи тўлқинлар тарқалиш йўналишига нисбатан φ бурчак остида тарқаладиган иккиламчи тўлқинларни кўриб чиқайлик. Мазкур иккиламчи тўлқинлар L йиғувчи линза ёрдамида экраннинг O нуқтасига йиғилади. Экраннинг O нуқтасига нурлар бир хил фазада етиб келмайди, чунки уларнинг оптик йўл узунликлари турличадир. Тирқишнинг четки нуқталаридан чиқиб экраннинг O нуқтасига етиб келган иккиламчи нурларнинг оптик йўл фарқини топайлик. Бунинг учун B нуқтада нурлар йўналишига перпендикуляр тушурайлик. У ҳолда BC текисликдан, то экран текислигигача параллел нурлар йўли фарқини ўзгартирмайди. Интерференцияни ҳосил қилувчи оптик йўл фарқи AB тўлқин fronti ва BC текислик орасида юзага келади.

Шу ҳосил бўлган интерференцияни ҳисоблаш учун Френелнинг зоналар усулини қўллаймиз. Бунинг учун AC орқали ҳаёлан $\frac{\lambda}{2}$ узунликка тенг бўлган кесмаларга ажратамиз ва мазкур кесмаларнинг охириларидан BC га параллел текисликларни AB билан учрашгунча давом эттирсак AB тўлқин фронтини бир хил кенгликдаги тасмачаларга ажратган бўламиз. $AB = b \sin \varphi$ масофада жойлашган масофалар сони

$$Z = \frac{b \cdot \sin \varphi}{\frac{\lambda}{2}} \quad (1)$$

га тенгдир. (1) ифода Z - тирқиш кенглигига тўғри келган зоналар сони. Таҳлил қилаётган ҳолда, шу тасмачалар Френель зоналари ҳисобланади ва ёнма-ён жойлашган икки тасмачанинг мос нуқталаридан O нуқтага етиб келган нурларнинг йўллар фарқи $\frac{\lambda}{2}$ га тенг бўлади. Демак, Френель зоналарининг ёнма-ён жойлашган тирқишларидан O нуқтага нурлар қарама-қарши фазада келади ва бир-бирларини сусайтиради. (1) ифодадан кўринадики, тирқиш кенглиги b ва тўлқин узунлиги λ ўзгармас катталиқ бўлганлиги учун, Френель зоналарининг сони фақат кузатиш бурчаги φ га боғлиқ экан. Бинобарин, φ нинг баъзи қийматларида зона бутун жуфт сонларга тенг бўлса, (яъни $z = 2k$, k -нолга тенг бўлмаган бутун сон)

$$b \cdot \sin \varphi = 2k \frac{\lambda}{2} \quad (k = 1, 2, 3, \dots) \quad (2)$$

бўлади. Мазкур (2) шарт бажарилган экран нуқталарида иккиламчи тўлқинлар бир-бирини сусайтиради. Яъни интенсивликнинг минимуми кузатилади.

Агар кузатиш бурчаги φ нинг баъзи қийматларида тирқишга тўғри келган зоналар сони бутун тоқ сонга тенг бўлса, у ҳолда қуйидаги шарт ўринли бўлади, яъни:

$$b \cdot \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (3)$$

(3) шарт бажарилган экран нуқталарида ёруғлик бир-бирига кучайтиради, яъни ёруғликнинг максимуми кузатилади. Мазкур нуқталарда иккиламчи тўлқиннинг таъсири худди битта Френель зонасининг таъсиридек бўлади.

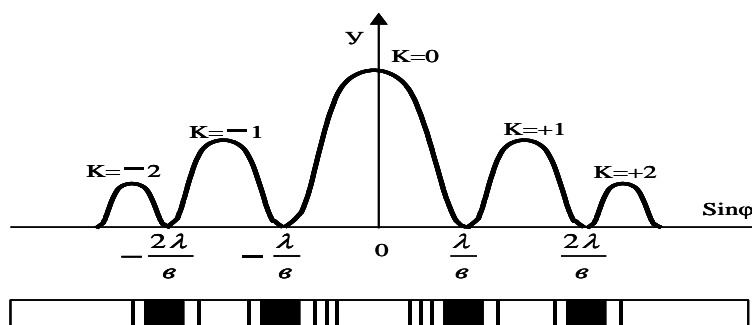
Агар b кенгликли тирқишга монохроматик тўлқин тушаётган бўлса, ёруғлик интенсивлигининг экран бўйлаб тақсимланиши 6.3-расмда тасвирланган қонунга бўйсинади. Тирқишнинг марказий максимуми ва унинг икки томонида бошқа максимумлар симетрик жойлашган экан.

Параллел тирқишлар системасида ҳосил бўладиган дифракция.

Ёруғликнинг интенсивлигини ошириш ва рангларни ажратиш учун битта тирқишдан эмас балки дифракцион панжара деб аталувчи тирқишлар системасидан фойдаланиш керак. Бир-бирига яқин жойлашган кўп сонли параллел тор тирқишлар тўплами дифракцион панжара дейилади. Дифракцион панжарага узунлиги λ га тенг бўлган ясси монохроматик тўлқин тушаётган бўлсин (6.4-расм). Одатда, дифракцион панжара шиша пластинкага махсус машина ёрдамида тирнаб бир-бирига параллел энсиз ариқчалар ҳосил қилиш билан ясалади. Шиша пластинканинг тирналган қисимлари ёруғлик нури учун шаффоф бўлади (эни a бўлган ариқчалар). Мазкур ариқчалар орасидаги масофа эса тирқишлар вазифасини бажаради, яъни у d кенгликдан иборатдир. Қўшни тирқишларнинг мос нуқталари орасидаги масофа $a + d = b$ дифракцион панжаранинг доимий ёки даврий дейилади.

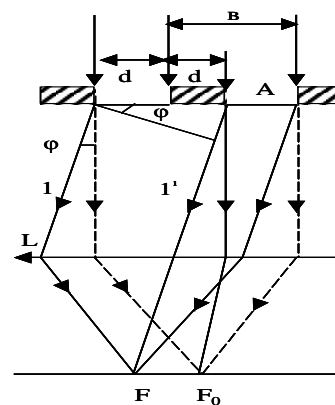
Демак L барча тирқишлардан бош оптик ўққа нисбатан φ бурчак остида келаётган нурларни экраннинг O_2 нуқтасига йиғади. Икки ва ундан ортиқ тирқишлар туфайли вужудга келган дифракцион манзарани ҳисоблашда алоҳида тирқишдан чиқаётган нурларнинг экраннинг тайинли нуқтасидаги ўзаро интерференциясинигина эмас, балки шу нуқтага тушаётган турли тирқишлардан тушаётган нурларнинг интерференциясини ҳам эътиборга олиш керак.

Тирқишлар ўзаро параллел ва қатъий бир хил кенгликка эга бўлганлиги туфайли, экраннинг муаян нуқтасида ҳар тирқишдан келаётган тебранишлар амплитудаси бир хил бўлади. Демак, ҳар тирқишдан келаётган тебранишлар амплитудаси ҳам интенсивликларни экран бўйлаб тақсимланиши ҳам амалда бир хил бўлади. Нолдан фарқли φ бурчак остида турли тирқишлардан келаётган иккиламчи нурлар, экраннинг O_2 нуқтасига турлича узунликдаги йўл босиб келганлиги туфайли, улар турлича фазага эга бўлади. Икки қўшни тирқишни қараб чиқайлик. Биринчи ва иккинчи тирқишнинг четки нуқталаридан келаётган нурларнинг йўл фарқи



3-расм

6.3-расм



4-расм

6.4-расм

$$\Delta = b \cdot \sin \varphi \quad (4)$$

га тенг бўлади. φ бурчакнинг шундай қийматлари мавжудки, иккала тирқишнинг мос нуқталаридан келаётган нурлар бир хил фазада, яъни бу нурларнинг йўллар фарқи ярим тўлқин узунликка жуфт қаррали бўлса, у ҳолда қуйидаги ифода ўринли бўлади;

$$b \cdot \sin \varphi = 2k \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (5)$$

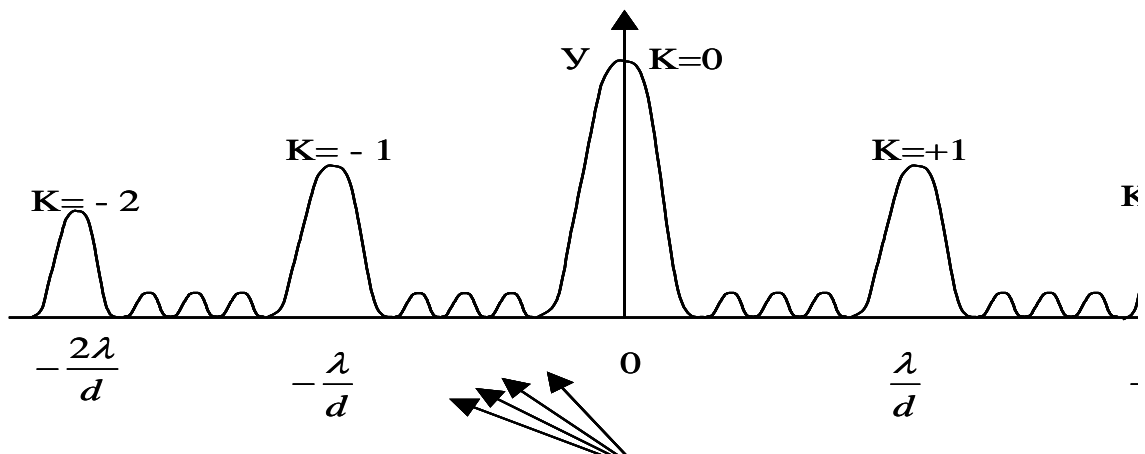
(5) ифодадаги шарт бажарилганда иккала тирқишнинг мос нуқталаридан келаётган тўлқинларнинг интерференциялашиши натижасида улар экраннинг O_2 нуқтасида бир-бирини кучайтиради. Мазкур ифода дифракцион панжара, бош максимумларнинг ўрнини белгилайди, k нинг қиймати асосий максимумларнинг тартибини ифодалайди.

Кузатиш бурчаги φ нинг баъзи қийматларида тирқишларнинг мос қийматларидан келаётган нурлар қарама-қарши фазада, яъни нурларнинг йўл фарқи ярим тўлқин узунликка тоқ қаррали

$$b \cdot \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (6)$$

бўлади. Бинобарин, иккала тирқишдан келаётган нурлар экраннинг O нуқтасида интерференциялашиб бир-бирини сўндиради. Натижада ёруғлик интенсивлигининг минимуми кузатилади. Бу минимумлар қўшимча минимумлар дейилади. Шундай қилиб, дифракцион панжарадан келаётган иккиламчи нурларнинг интенсивликлари, яъни асосий максимумларнинг интенсивлиги $I = N^2 A_i^2$ га тенг бўлади.

Демак, дифракцион панжара туфайли вужудга келадиган манзарадаги асосий максимумларнинг интенсивликлари панжарадаги тирқишлар сони N нинг квадратига мутаносиб бўлади.



6.5-расм

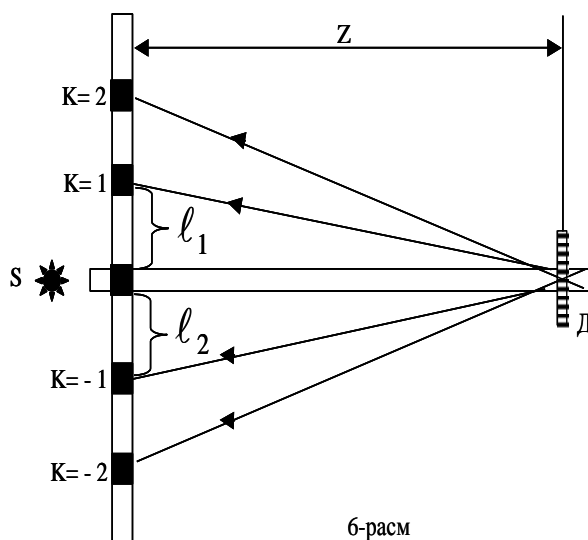
Хулоса қилиб айтганда панжаранинг асосий максимумларининг экрандаги ўрни тирқишлар сонига боғлиқ бўлмагани билан тирқишлар сонининг кўплиги жуда аҳамиятга эга. Бунинг натижасида ҳар бир тақсимот чизиғининг ёрқинлиги ошади, тақсимот чизиғининг кенглиги эса кичраяди. Демак, бу ўлчамлар аниқлигини ошишига олиб келади.

Панжарадан ҳосил бўладиган дифракцион манзараси 6.5-расмда келтирилган. Расмда кўринишича, марказий энг кучли ёритилган бўлиб, бош максимумларнинг тартиб номери ортиши билан уларнинг интенсивлиги камайиб боради.

Қурилманинг тузилиши.

Оптик тагликка тўғри бурчакли, икки ёнига кенлиги суриб ўзгартириладиган С тирқишли А экран ўрнатилади (6.6-расм).

Экрандаги тирқишнинг юқори қисмида миллиметрларга бўлинган шкала бор. Тирқиш орасига 2-3 см масофада электр лампочкадан иборат бўлган ёруғлик манбаи S ўрнатилади. Оптик тагликнинг сурилувчи тирговучига дифракцион панжара Д ўрнатилади. Агар дифракцион панжара орқали оқ ёруғлик билан юритилган тирқишга қаралса, экранда тирқишнинг чап ва ўнг томонларида дифракцион спектрлар кузатилади. Монохроматик, яъни рангли филтрдан ўтган нурлар билан ёритилган тирқишга қаралса, экранда қоронғу йўллар билан ажратилган бир қанча ёруғ йўллар, яъни максимумлар кузатилади.



Иш бажариш тартиби.

1. Дифракцион панжара тирқишдан 50-60 см узунликда оптик тагликка ўрнатилади.
2. Ёруғлик манбаи ток манбаига уланади ва дифракцион панжара орқали дифракцион манзара кузатилади.
3. Ёруғлик манбаи олдида филтёрлардан бири киритилади ва тирқишдан, тирқишнинг ўнг ва чап томонида жойлашган биринчи тартибли максимумларгача бўлган масофалар ℓ_1 ҳамда ℓ_2 ўлчанади.

4. Дифракцион максимумнинг 1-тартибигача бўлган ўртача масофа $\frac{\ell_1 + \ell_2}{2}$ аниқланиб, тирқишдан дифракцион панжарагача бўлган масофа Z ўлчанади ва $\operatorname{tg} \varphi = \frac{\ell_{yp}}{Z}$ нисбат ҳисоблаб топилади.

5. Кичик бурчак учун $\operatorname{tg} \varphi = \sin \varphi \approx \frac{\ell_{yp}}{Z}$ бўлганлиги туфайли (4) тенгликдан $\sin \varphi$ ўрнига $\operatorname{tg} \varphi$ нинг қийматини қўйиб, қуйидаги тенгликни ҳосил қиламиз: $\frac{\ell_{yp}}{2} = \pm k \cdot \lambda$

Ёруғликнинг тўлқин узунлиги $\lambda = \frac{b \cdot \ell_{yp}}{z \cdot k}$ формуладан 3 та максимум учун топилиб, уларнинг ўртача қиймати олинади.

6. Ўртача, абсолют ва нисбий хатоликлар ҳисобланади.

7. Юқоридаги ўлчашлар бошқа филтёрлар учун қайтарилди.

Ўлчаш ва ҳисоблаш натижалари қуйидаги жадвалга ёзилади.

№	d (м)	k	z (м)	ℓ_1 (м)	ℓ_2 (м)	ℓ_{yp} (м)	$\frac{\ell_{yp}}{z}$	λ (м)	λ_{yp} (м)	$\Delta\lambda$ (м)	$\Delta\lambda_{yp}$ (м)	$\frac{\Delta\lambda_{yp}}{\lambda_{yp}} \cdot 100\%$

НАЗОРАТ УЧУН САВОЛЛАР

1. Дифракция ходисасини тушунтиринг.
2. Гюйгенс-Френель принцини тушунтиринг.
3. Якка учун тиркиш максимумлик ва минимумлик шартларини ёзинг.
4. Дифракцион панжара нима.
5. Дифракцион панжара учун максимум ва минимум шартларини ёзинг.

ЁРУҒЛИК ДИСПЕРЦИЯСИ.

Режа :

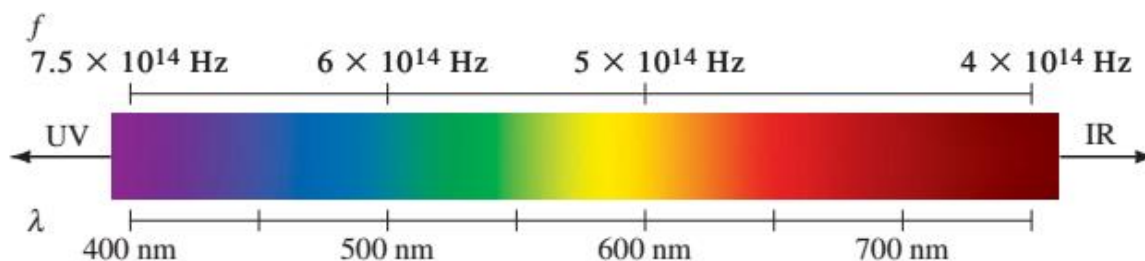
1. Ёруғлик тўлқинларининг муҳит билан ўзаро таъсирлашиши
2. Ёруғлик дисперцияси.
3. Нормал ва аномал дисперция.
4. Ёруғлик дисперциясининг классик электрон назарияси
5. Ёруғликнинг ютилиши
6. Бургер конуни

Ёруғлик дисперцияси. Модда синдириш кўрсаткичининг ёруғлик частотасига (тўлқин узунлиги λ га) боғлиқ бўлишлиги дисперсия деб аталади: $n = n(\lambda)$. Назария шуни кўрсатадики, n куйидаги кўринишга эга экан:

$$n^2 = 1 + \frac{n_0 e^2}{\epsilon_0 m} \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (9.9)$$

ϵ_0 - электр доимийси, e - электрон заряди, m - электрон массаси, n_0 - моддадаги атомлар концентрацияси, ω_0 - атомдаги электроннинг резонанс частотаси, ω - ёруғлик частотаси.

Ёруғликнинг тўлқин назариясидаги ёзилган ёруғликнинг икки муҳим хусусиятлари бу: интенсивлик (ёки ёрқинлик) ва ранг. Бирлик юзадаги бирлик вақтда ўтган энергия ёруғлик интенсивлиги деб аталади, ва ҳар қандай тўлқин каби, тўлқиннинг амплитудаси квадрати билан боғлиқ. Ранг ёруғликнинг f частотасига еки ёруғликнинг λ тўлқин узунлигига боғлиқ. (Эсланг, $\lambda f = c = 3.0 \times 10^8 \text{ м/с}$). Бизнинг кўзларимиз сеза оладиган, кўринадиган ёруғлик частотаси $4 \times 10^{14} \text{ Нз}$ дан $7.5 \times 10^{14} \text{ Нз}$ орасида бўлади, ҳавода тўлқин узунликлари 400 нм дан 750 нм гача бўлади. Бу кўзга кўринадиган спектр дейилади ва 9-10 расмда кўрсатилганидек унда бинафшадан тортиб қизилгача турли ранглар мавжуд бўлади.



9-10. расм. Кўзга кўринадиган ёруғлик спектри, ҳаводаги турли рангларнинг тўлқин узунликлари ва частота даражаларини кўрсатади.

Тўлқин узунлиги 400 нм (= бинафша) дан кичик бўлган (ҳавода) ёруғлик ультрабинафша (УБ) дейилади, ва тўлқин узунлиги 750 нм (=қизил) дан узун бўлган ёруғлик инфрақизил

(ИК) деб аталади. Гарчи инсон кўзи УБ ва ИҚ ни сезмаса ҳам, баъзи-бир фотографик фильмлар ва детекторлар уни сезади.

9-11 расмда кўрсатилганидек призма камалакдаги оқ рангни ажрата олади.

9-12 расмда бир нечта материалларда кўрсатилганидек, бу, материалнинг синдириш кўрсаткичи тўлқин узунлигига боғлиқ бўлган ҳолатда содир бўлади. Оқ ранг кўзга кўринадиган барча тўлқин узунликларининг аралашмасидан ташкил топган бўлади ва призма тушганда 9-13 расмдаги каби бўлади, турли узунликдаги тўлқин узунликлари турли даражада оғган бўлади.



9-11 расм Призмадан ўтувчи оқ ёруғлик рангларга ажралади.



9-12 расм. Синдриш кўрсаткичи тўлқин узунлиги функцияси бўйича

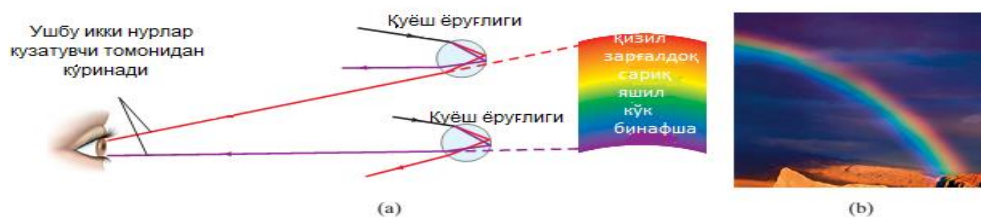
Калта тўлқин узунликлари синдириш кўрсаткичи юқори бўлгани учун, 9-13 расмда кўрсатилганидек бинафша ранг ёруғликлар энг кўп синувчи ва қизил ранг ёруғликлар энг кам синувчи ҳисобланади. Тўлиқ спектр ичи бўйлаб оқ ёруғликни тарқалиши дисперсия деб аталади. Томчи сув каби, камалаклар дисперсияга яққол мисол бўла олади. Сиз томаётган сув томчисига орқангизда қуеш турганда қарасангиз, камалакни кўришингиз мумкин.



9-13 расм. Оқ ёруғлик призмада ейилиб, кўринадиган спектрга ажралди

9-14 расм қандай қилиб қизил ва бинафша ранг нурлар шарсимон сув томчисида эгилишини ва томчи орқа юзасидан акс беришини кўришингиз мумкин. 9-14а расмда кўрсатилганидек, қизил камрок букилади ва баланд осмондаги томчи орқали кузатувчини кўзига етиб келади. Шунинг

учун ҳам камалакнинг энг юқори қисми қизил рангда.



9-14 расм. (а) Нур диаграммаси қандай қилиб камалак пайдо бўлишини кўрсатаяпти, (b) камалак

(9-15 расм) дисперсия бирикмаси ва ички тўлиқ аксга эришганидан олмослар ёрқинликка кўринади. Чунки олмосларнинг синдириш кўрсаткичи жуда юқори 2.4 бўлади, ва тўла ички қайтишнинг чегаравий бурчаги 25° . Олмос ичида ёруғлик спектрга дисперсияланади, шунинг учун олмос ичида 25° дан кичик бўлганда ёруғлик олмос ички юзаларининг кўп қисмига келиб урилади ва кўринади. Шунақа аксларнинг кўп такрорланишидан сўнг, ёруғлик ранглари алоҳида кўра оладиган даражада етарли кўп саёхат қилган бўлади ва олмосдан чиққандан сўнг кўзни ёрқин қилади (кувонтиради).



9-15 расм. Олмос

Дисперсиянинг электрон назарияси

Ёруғликнинг модда билан ўзаро таъсирини тула изоҳлаш учун моддадаги электронларнинг тўлқин хусусиятларини ва ёруғликнинг квант хусусиятларини ҳисобга олиш керак. Лекин дисперсия ҳодисасини тушунтириш учун ёруғликни электромагнит тўлқин деб, модда тузилишини эса электрон назария асосида тасаввур қилиш етарли. Модда тузилишининг электрон назариясига асосан, жисм электронлар ва ионлардан ташкил топган. Улар электромагнит тўлқин таъсирида тўлқин тебранишларига монанд равишда тебранма ҳаракатга келади. Ёруғлик тўлқинларнинг тебранишлари ($10^{14} \div 10^{15}$) Ҳз интервалда содир бўлади. Электромагнит майдоннинг бунчалик тез ўзгаришини массалари етарлича кичик бўлган электронларгина сезишга улгуради. Шунинг учун ёруғлик тўлқинларнинг жисмга таъсирини ҳисоблашда ёруғликнинг электронга таъсирини ҳисоблаш билан чегараланилса бўлади.

Жисмдан электромагнит тўлқин ўтаётганда $-e$ зарядли ҳар бир электронга электр куч ($\Phi_{el} = -eE$) ва Лорентс кучи ($\Phi_l = -e[vB]$) таъсир қилади:

$$\Phi = \Phi_{el} + \Phi_l = -eE - e[vB] \quad (3.3)$$

Ҳисобларнинг кўрсатишича, Лорентс кучи электр кучдан минг мартача кичик. Шунинг учун (3.2) даги иккинчи ҳадни ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Натижада электромагнит тўлқиннинг электронга таъсир этувчи кучини

$$\Phi = -eE = -eE_0 \cos \omega t \quad (3.3)$$

шаклида ифодалаш мумкин. Бунда ε_0 – электромагнит майдон кучланганлиги ε нинг амплитуда қиймати, ω - тўлқиннинг сиклик частотаси. Биринчи яқинлашиша (3.3) куч атом билан ниҳоят заиф боғланган энг четки электронларни силжитади, деб ҳисоблаш мумкин. Лекин бу электрон билан атомнинг колган қисми орасидаги ўзаро таъсирлашувчи

квазиэластик куч ҳам мавжудки, у электронни олдинги вазиятга қайтаришга ҳаракат қилади. Бу куч x силжишга пропорсионал:

$$\Phi_{қайт} = -\kappa x$$

Натижада массаси m , заряди $-e$ бўлган электроннинг тебранишини

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\kappa x - e E_0 \cos \omega t \quad (3.4)$$

тенглама билан ифодалаш мумкин. Бу тенгламани m га бўлиб ва тебранишнинг хусусий частотаси учун $\omega_0^2 = \frac{\kappa}{m}$ белгилашдан фойдаланиб (3.4) ни қуйидаги шаклга келтирамиз:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\omega_0^2 x - \frac{e}{m} E_0 \cos \omega t \quad (3.5)$$

Бу тенгламанинг эчими

$$x = x_0 \cos \omega t \quad (3.6)$$

кўринишда бўлади. Бунда x_0 – максимал силжиш. (3.6) ни (3.5) га қуйиб x_0 нинг қиймати учун

$$x_0 = \frac{-\frac{e}{m} E_0}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (3.7)$$

ифодани ҳосил қиламиз. Иккинчи томондан, электромагнит тўлқин таъсиридаги электроннинг силжиши туфайли вужудга келган атом системасини электр дипол деб тасаввур қилиш мумкин. Бу диполнинг элкаси x силжишга тенг. У ҳолда максимал силжиш содир бўлган ондаги диполнинг электр моменти $p_e = -ex_0$ га тенг.

Модданинг бирлик ҳажмидаги атомлар сонини N деб белгиласак, қутбланиш вектори P нинг қиймати

$$P = N \times p_e = \frac{-Ne^2 E_0}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (3.8)$$

Кучланганлиги ϵ_0 бўлган электр майдондаги модда учун P нинг қиймати мазкур модданинг диелектрик қабул қилувчанлиги χ_e ёки диелектрик сингдирувчанлиги ϵ (улар орасидаги $\epsilon = 1 + \chi_e$ боғланиш мавжуд) орқали қуйидагича ифодаланади:

$$P = \chi_e \epsilon_0 E_0 = (\epsilon - 1) \epsilon_0 E_0 \quad (3.9)$$

(3.8) ва (3.9) ифодаларни солиштирсак,

$$\epsilon = 1 + \frac{N}{\epsilon_0} = \frac{-\frac{e^2}{m} E_0}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (3.10)$$

муносабатни ҳосил қиламиз.

Максвелл назариясига асосан, диелектрик сингдирувчанлиги ϵ , магнит сингдирувчанлиги μ бўлган муҳитда электромагнит тўлқиннинг тарқалиш тезлиги

$$u = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

га тенг эди. Муҳитнинг синдириш кўрсаткичи n эса электромагнит тўлқиннинг вакуумдаги тезлиги c ни муҳитдаги тезлиги u га нисбати билан аниқланади:

$$n = \frac{c}{u} = \sqrt{\epsilon\mu}$$

Кўпчилик ҳолларда $\mu=1$ бўлгани учун

$$n = \sqrt{\epsilon} \quad (3.11)$$

ифода ҳосил бўлади. (3.10) дан фойдаланиб (3.11) ни қуйидаги кўринишда ёза оламиз:

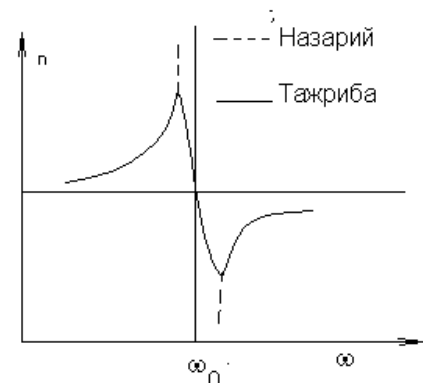
$$n = \sqrt{1 + \frac{N}{\epsilon_0} \frac{\frac{e^2}{m}}{\omega_0^2 - \omega^2}} \quad (3.12)$$

Бу формула асосида ҳисобланган n нинг қийматларини ω га боғлиқлик графиги расмда тасвирланган. Умуман, муҳитнинг синдириш кўрсаткичи тўлқин частотасига монанд равишда ортиб боради. Лекин тўлқин частотаси ω муҳитдаги электр зарядлар хусусий тебранишларининг частоталаридан бир ω_0 га яқинлашганда n нинг қиймати кескин ортиб кетади.

ω нинг қиймати ω_0 га юқори частоталар томонидан яқинлашганда эса n нинг қиймати кескин камайиб кетади. Бошқача айтганда, ω нинг қиймати ω_0 га яқин бўлган соҳада $n=f(\omega)$ функция узилишга эга бўлади (5.4-расмдаги пунктир чизик). Бунинг сабаби назарий мулоҳазаларда тебранма ҳаракатнинг сунишини ҳисобга олинмаганлигидир.

Умуман, тебранувчи жисмнинг муҳитдаги ишқаланиши туфайли синиш содир бўлади. Кўрилатган ҳолда эса “ишқаланиш” электромагнит тўлқиннинг бир қисмини муҳитда юритилиши туфайли вужудга келади.

Ёруғлик тўлқиннинг электр майдони таъсирида муҳит атомларининг электронлари тебранма ҳаракатга келиб, иккиламчи тўлқинлар манбаига айланиб қолади. Иккиламчи тўлқинлар бирламчи тўлқин билан когерент бўлади. Бу тўлқинларнинг ўзаро



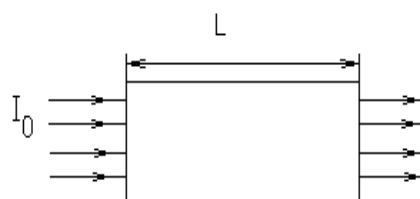
5.4.- Расм

интерференциялашиши натижасида вужудга келган тўлқин амплитудаси тушаётган (яъни электронларни тебранишга мажбур этаётган) тўлқин амплитудасидан фарқ қилади. Бошқача айтганда, электронни тебранишга сарфланган энергиянинг барчаси иккиламчи тўлқинлар сифатида нурлантирилмайди. Энергиянинг бир қисми атомларнинг хаотик ҳаракат энергиясига (яъни иссиқликка) айланади. Шунинг учун ёруғлик бирор моддадан ўтаётганда, унинг интенсивлигининг камайиши, яъни ёруғликнинг ютилиши содир бўлади. Ёруғликнинг ютилиши, айниқса, резонанс частоталар соҳасида интенсив бўлади. Бу ютилиш электронлар тебранишининг амплитудасини чеклайди. Натижада $n\text{-}\phi(\omega)$ функциянинг тажрибада кузатиладиган графиги (5.4-расмдаги узлуксиз чизиқ) ω_0 атрофида ҳам узилиб қолмайди. Баъзи жисмларда резонанс частоталар бир нечта бўлади. Шунинг учун тушаётган ёруғликнинг частотаси бу резонанс частоталарга яқин бўлганда ютилиш кескин ортиб кетади.

Умуман, тажрибаларнинг кўрсатишича, моддадан утувчи ёруғлик интенсивлиги (5.4-расм) экспоненциал қонун бўйича ўзгаради:

$$I = I_0 e^{-x} \quad (3.13)$$

Бу ифодада I_0 – жисмга тушаётган ёруғликнинг интенсивлиги, I – қалинлиги l бўлган жисмдан ўтган ёруғликнинг интенсивлиги, x – ютилиш коэффициентси деб аталадиган ва жисмнинг хусусиятларига боғлиқ бўлган катталиқ. (3.13) формула 1729 йилда Бугер томонидан аниқланган. Шунинг учун унинг номи билан *Бугер қонуни* деб аталади.



5.5.- Расм

Бугер қонунидан x нинг физик маъноси келиб чиқади. Ҳақиқатдан, $l = 1/x$ бўлса, $I = I_0/e$ га айланади. Бундан, жисмдан ўтаётган ёруғлик интенсивлигини э марта камайтирадиган қатламнинг қалинлигига тескари бўлган катталиқ ютилиш коэффициентсидир, деган хулосага келамиз. Жисмда ёруғликнинг ютилиш коэффициентси худди синдириш кўрсаткичи каби тушаётган ёруғликнинг частотасига боғлиқ.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

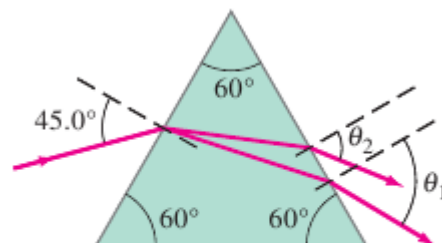
1. Ёруғлик дисперсияси деб қандай ҳодисага айтилади?
2. Ёруғликнинг призмадан ўтганда рангларга ажралиши қандай тушунтирилади?
3. Нормал ва аномал дисперсия қандай шароитда амалга ошади?
4. Дисперсия графиги деганда нимани тушунаси?
5. Дисперсия модисаси қандай ифода ёрдамида аниқланади?
6. Модда дисперсияси деганда нимани тушунаси?
7. Дисперсиянинг классик электрон назарияси қандай тушунтирилади?
8. Дисперсиянинг электрон назарияси ифодасини ёзиб беринг
9. Ёруғлик нурунинг қандай хусусиятлари бор?
10. Ёруғлик моддада тарқалганда қандай ҳодиса юз беради?
11. Ёруғлик дисперсияси деб нимага айтилади?
12. Электрон назарияга кўра синдириш кўрсаткичи нималарга боғлиқ?

Амалий машғулот

1. Силикат шаффоф шишада кўк ёруғлик (450 нм) тезлиги қизил ёруғлик (680 нм) тезлигига нисбатан неча фоиз кичик?

2. Ёруғлик нури шиша парчасига 65° бурчак остида урилади. Нур 450 нм ва 700 нмга тенг бўлган тўлқин узунликларини ўз ичига олади. Шишанинг синдиришқўрсаткичи мос равишда 1.4831 ва 1.4574. Икки синган нур орасидаги бурчакни топинг.

3. Параллел нурлар оқими $\lambda_1=455$ нм ва $\lambda_2=642$ нм га тенг бўлган иккита тўлқин узунлигига эга бўлиб, бу ёруғлик силикат шаффоф шишадан бўлган тенг томонли призмага киради (24-59 расм). Ҳар бир нур қандай (Θ_1 ва Θ_2) бурчакларда призмадан чиқиб кетади?



24-59 РАСМ
20 масала

4. 680 нмли ёруғлик кенлиги 0.0425 ммли тирқишдан ўтказилса, ҳосил бўладиган марказий дифракцион максимумнинг бурчак кенлигини топинг.

5. Монохроматик ёруғлик кенлиги 2.6×10^{-3} ммли тирқишдан ўтказилди. Агар марказий максимумнинг ён томонларидаги қора чизиқлар орасидаги бурчак 28° бўлса, ёруғлик тўлқин узунлигини топинг.

6. Тўлқин узунлиги 440 нм бўлган кўк ёруғлик бир тирқишли тўсиқдан ўтганда, марказ максимуми ёнидаги қора чизиқлар орасидаги бурчак 51° га тенг. Тирқишнинг кенлигини топинг.

7. Тўлқин узунлиги 450 нм бўлган кўк ёруғлик кенлиги 1 ммли тирқишдан ўтказилди. Тирқишдан 6 м узоқликдаги экранда ҳосил бўлган дифракцион манзара марказидаги марказий максимумнинг кенлигини (см да) топинг.

8. Тўлқин узунлиги 558 нм бўлган кўк ёруғлик кенлиги 0.0348 ммли тирқишдан ўтказилди. Тирқишдан 2.30 м узоқликдаги экранда ҳосил бўлган дифракцион манзара марказидаги марказий максимумнинг кенлигини топинг.

9. 1,6 см тирқишли метал пластинага перпендикуляр равишда тушаётган микротўлқинларни фараз қилинг. (а) 0,50 см, (б) 1,0 см ва (в) 3,0 см тўлқин узунликларга эга тўлқинларнинг дифракцион минимумлари пайдо бўладиган бурчакларни топинг.

10. (а) Тўлқин узунлиги λ бўлган ҳолда, дифракцион минимум бўлмаслиги учун керак бўладиган энг кичик тирқиш кенлигини топинг. (б) Кўзга кўринадиган ёруғликда дифракцион минимум кузатилмайдиган энг кичик тирқиш кенлиги нимага тенг?

11. Тўлқин узунлиги 620 нм бўлган ёруғлик кенлиги 3.8×10^{-3} ммли тирқишдан ўтказилди. Тирқишдан 10 м узоқликда жойлашган экрандаги марказий максимумдан биринчи ёруғ дифракция чизигигача бўлган масофани топинг.

12. Тўлқин узунлиги 633 нм бўлган монхроматик ёруғлик тирқишдан ўтказилди. Агар марказий максимум ёнидаги ёрқин чизиқлар орасидаги бурчак 32° га тенг бўлса тирқишнинг кенлигини топинг.

13. Диодли лазердан чиқаётган ёруғлик $3.0 \mu\text{м} \times 1.5 \mu\text{м}$ (горизонтал х вертикал) тўғри тўрт бурчакдан ўтказилди. Агар лазер ёруғлигининг тўлқин узунлиги 780 нм бўлса (а) марказий максимумнинг тепа ва паст қисмларидаги биринчи минимумлар орасидаги бурчакни, (б) марказий максимумнинг чап ва ўнг томонларидаги биринчи минимумлар орасидаги бурчакни аниқланг.

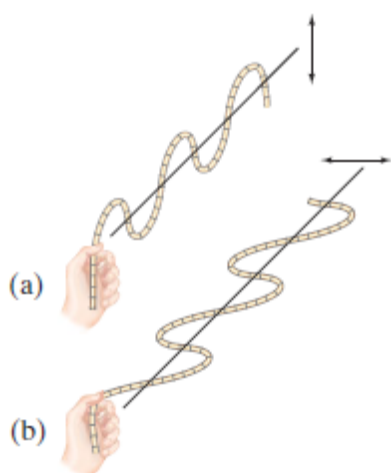
14. Қалинлиги D бўлган тирқишга параллел ёруғлик нормалга нисбатан 28° бурчак остида тушганда ҳосил бўладиган дифракцион манзарани тушунтиринг

ТАБИИЙ ВА ҚУТБЛАНГАН ЁРУҒЛИК.

Режа

1. Табиий ва қутбланган ёруғлик.
2. Ёруғликнинг қайтиши ва синишидаги қутбланиши.
3. Малюс қонуни тва Брюстер қонуни.
4. Иккиланма нур синиш ҳодисаси.
5. Сунъий анизотропия.

Табиий ва қутбланган ёруғлик. Ёруғликнинг яна бир муҳим ва фойдали хусусияти уни қутубланишидир. Бу нимани англатишини кўриш учун келинг арқонда тарқалаётган тўлқинларни қарайлик. Арқон вертикал текисликда 10-1а расм ёки горизонтал текисликда 10-1б расм тебраниши мумкин. Бундай ҳолатда тўлқин **чизиқли қутубланган** ёхуд **ясси қутубланган** дейишимиз мумкин –тебранишлар бир текисликда рўй бермоқда.



10.1.Расм. Арқонда кўндаланг тўлқинлар(а) вертикал текисликда (б) горизонтал текисликда қутубланиш.

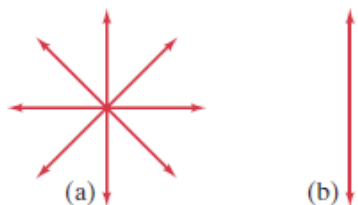
Агар тўлқиннинг йўлига вертикал тирқиши бор тўсиқ жойлаштирсак, 10-2 расм, вертикал қутубланган тўлқин вертикал тирқишдан бемалол ўта олади, лекин горизонтал қутубланган тўлқин эса йўқ. Агар горизонтал тирқиш қўйилса, вертикал қутубланишга эга тўлқин ўта олмайди. Агар иккала тирқиш ҳам қўлланилса иккала тўлқин ҳам биридан ўтиб биридан ўта олмайди.



10.2. Расм (а) вертикал қутубланган тўлқин вертикал тирқишдан ўтмоқда, лекин (б) горизонтал қутублангани ўта олмайди.

Шуни таъкидласак қутубланиш *фақат кўндаланг тўлқинларда* мавжуд, товуш каби бўйлама тўлқинларда эса мавжуд эмас. Фақат тебранма ҳаракат йўналишидаги тирқиш бўйлаб тўлқинлар ўта олади, бошқа ориентациядаги тирқиш уларни тўхтатади.

Электромагнит тўлқинлар учун Максвеллнинг назариясида электромагнит тўлқин кўндаланг тўлқин бўлганда ёруғлик қутубланган бўлиши мумкинлигини олдиндан айтиб берган. Ясси қутубланган электромагнит тўлқинда қутубланиш йўналиши электр майдони вектори \vec{E} йўналишида танлаб олинган. Ёруғлик албатта қутубланган бўлади дейишимиз мумкин эмас. Ёруғлик қутубланмаган бўлиши мумкин, бу шуни англатадики бир вақтнинг ўзида манба ҳар хил текисликдаги тебранишларга эга, 10-3 расмда кўрсатилгандек.

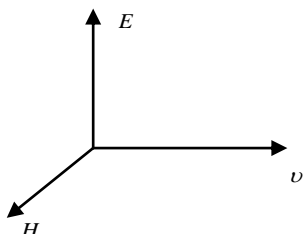


10.3 Расм. (а) табиий ёруғлик, (б) қутубланган ёруғлик.

Оддий лампочкалар Қуёшдан келаётган ёруғлик сингари қутубланмаган ёруғлик чиқаради. Максвелл назариясидан шу нарса маълум бўладики электромагнит майдонни ташкил этувчи электр ва магнит майдон кучланганликлари ўзаро

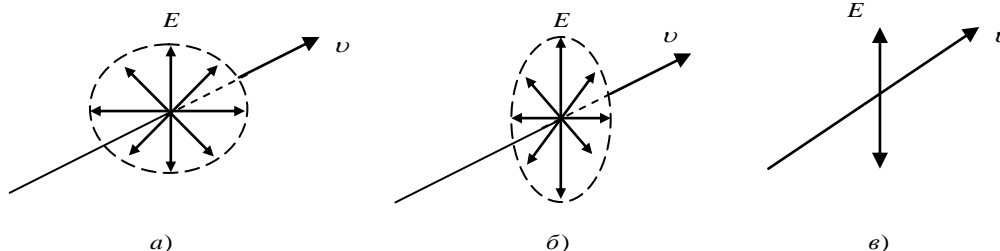
перпендикуляр бўлиб, улар ўз навбатида тарқалиш тезлигига перпендикуляр йўналишда тебранадилар (10.4 расмга қаранг).

Шунинг учун ёруғликнинг қутубланганлик ҳолатини ўрганиш учун фақат битта, \vec{E} ёки \vec{H} , векторнинг тебранишини кўриб чиқиш етарли бўлади. Одатда нур ҳақида гап юритилганда унинг электр майдони кучланганлиги E кўзда тутилади, чунки атомдаги электронга бўлган таъсирни асосан шу майдон кўрсатади. E векторининг тебранадиған текислигини қутбланиш текислиги деб аталади.



10.4 расм

Ёруғлик кўпгина атомларнинг нурлатишдан ҳосил бўлади, атомлар эса бир – бирига боғлиқ бўлмаган ҳолда нур чиқаради, шунинг учун жисмдан чиқаётган ёруғликда ҳар хил йўналишда тебранаётган E векторлари бўлади (10.5 расмга қарианг).



10.5 расм

Албатта, ҳар бир атомдан чиққан нур (ёки цуг) қутбланган бўлади, бу нурнинг E вектори бита ўзгармас текисликда ётиб тебранади. Лекин атомлар кўп бўлганлиги учун улардан чиққан нурларнинг қутбланиш текисликлари ҳар хил бўлади. Натижада, бундай ёруғликда исталган йўналишда тебранаётган E вектори бўлиши мумкин. Бундай ёруғликни табиий ёруғлик деб аталади. Агар қандайдир ташқи таъсир натижасида ёруғликдаги E векторлар маълум йўналишда кўпайиб, бошқа йўналишларда камайиб қолса, бундай ёруғлик қисман қутбланган деб аталади. Агар таъсир натижасида ёруғликдаги E векторлар фақат бир йўналишда бўлиб қолса (демак фақат бита текисликда тебранабошласа), бундай ёруғликнинг текис қутбланган (ёки чизикли қутбланган) ёруғлик деб аталади (10.5в-рasm)

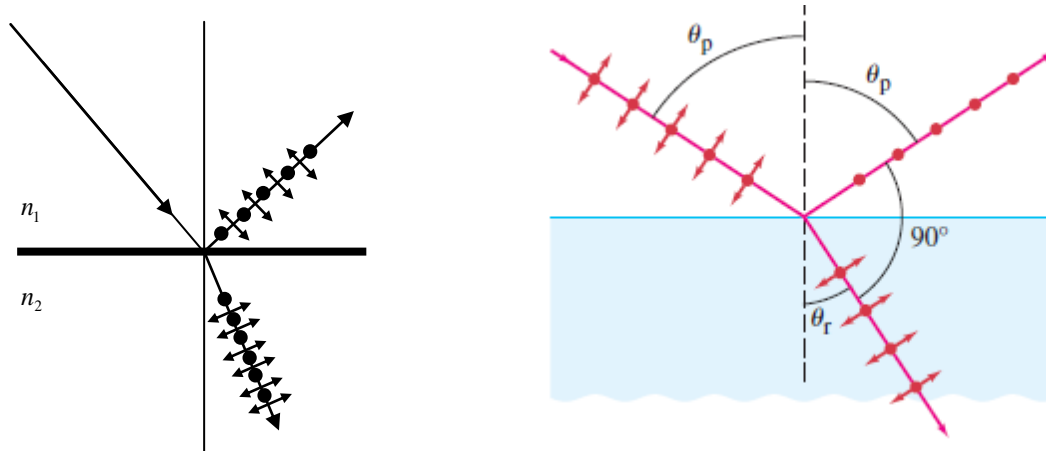
Қутбланганлик даражаси деб қуйидаги параметр қабул қилинган:

$$P = \frac{I_{\text{мак}} - I_{\text{мин.}}}{I_{\text{мак}} + I_{\text{мин.}}} \quad (10.1)$$

Бу ерда $I_{\text{мак}}$ ва $I_{\text{мин.}}$ лар E векторининг бир – бирига перпендикуляр бўлган компонентларига тегишли ёруғликларнинг интенсивлигидир. Табиий нурга $I_{\text{мак}} = I_{\text{мин.}}$ ва $P = 0$, текис қутбланган нурда $I_{\text{мак}} = 0$ ва $P = 1$.

Ёруғликнинг қайтиши ва синишидаги қутбланиши. Қутбланган ёруғликни ҳосил қилишининг яна бир бошқа услуби бор – бу ёруғликнинг қайтиш ва синишда қутбланиши жараёни.

Агар табиий ёруғлик икки диэлектрик чегарасига (масалан, ҳаво ва шиша) тушса, унинг бир қисми қайтади, қолган қисми синади ва иккинчи муҳитда тарқалабошлайди. Қутублагич (Поляризатор) ёрдамида қайтган ва синган нурлар қисман қутбланиб қолиши кузатишган. Текширишлар шуни кўрсатадики, қайтган нурнинг кўп қисмида E вектор тушиш текислигига перпендикуляр бўлар экан (10.6-рasmда бу ҳолат нукталар билан кўрсатилган), синган нурнинг кўп қисмида E вектор бу текисликка параллел бўлар экан (10.6- рasmга қарангбу ҳолат рasmда стрелкалар билан кўрсатилган).

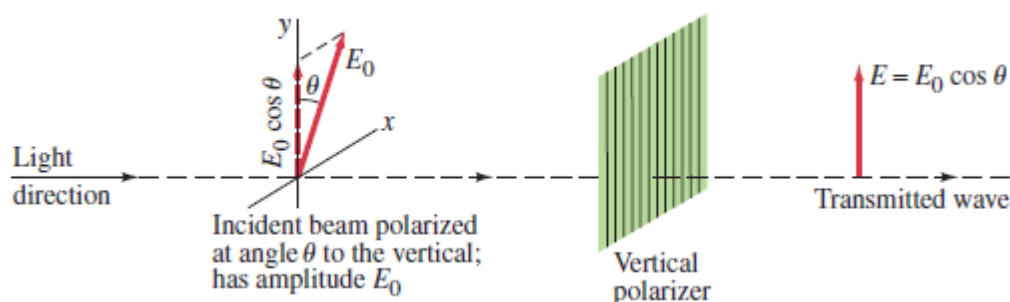


10.6 рasm

Поляроидлар (ютилишдаги кутубланиш)

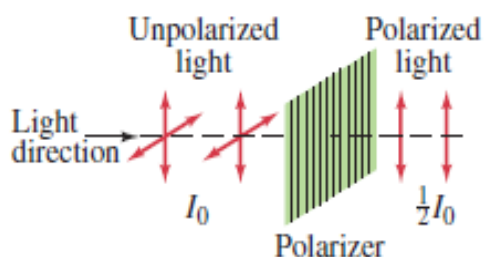
Кутубланмаган ёруғликдан турмалин каби маълум кристаллар орқали ясси кутубланган ёруғлик олиш мумкин. Ёки одатда **поляроид плёнка** кўп қўлланилади. (Поляроид материаллар 1929 йилда Эдвин Ленд томонидан кашф қилинган.) Поляроид плёнкалар бир бирига параллел жойлашган узун комплекс молекулалардан ташкил топган. Бундай поляроид кутубланишнинг бир ориентациясини ўтказишда параллел тиркишлар каби вазифани бажаради. Бу йўналиш поляроиднинг *ўтказиш ўқи* деб аталади. Кутубланиш бу йўналишга перпендикуляр бўлса, одатда ёруғлик поляроидда тўлиқ ютилади.

Поляроидда ютилишни молекуляр сатҳлар билан тушунтирилади. Электр майдони \vec{E} узун молекулаларга нисбатан параллел тебранса молекулалар бўйлаб электронларни ҳаракатга келтиради, уларда иш бажарилади ва энергия узатилади. Бундан, агар \vec{E} молекулаларга параллел тебранса ютилади. Электр майдони \vec{E} узун молекулаларга перпендикуляр бўлса, унда иш бажариш ва энергия узатиш эҳтимоллиги йўқ, шунинг учун ёруғлик поляроиддан эркин ўтади. Поляроиднинг *ўтказиш ўқи* ҳақида гапирганимизда биз поляроиддан ўтган электр майдони \vec{E} йўналишини назарда тутамиз, шунинг учун Поляроид ўқи узун молекулаларга перпендикуляр экан. [10-2 расмдаги сингари параллел молекулалар ўртасида тиркишлар мавжуд деб ўйласак, кейинчалик 10-7 расмда электромагнит тўлқинларда электр майдони \vec{E} учун эмас, балки магнит майдони \vec{B} учун олишимиз керак.]



10.7- Расм. Вертикал поляроид фақат тўлқиннинг (электр майдон) вертикал ташкил этувчисини ўтказиши.

Агар ясси кутубланган ёруғлик нури Поляроидга тушаётган ва ўтказиш ўқи тушаётган кутубланиш йўналишига θ бурчак остида бўлса, ясси кутубланган нур поляроиднинг ўтказиш ўқига параллел бўлади ва E нинг амплитудаси $E_0 \cos \theta$ га камаяди, 10-7 Расм. Шундай қилиб, поляроид фақат ўтказиш ўқига параллел бўлган поляризация (электр майдон вектори, \vec{E}) нинг шу ташкил этувчисини ўтказиши. Чунки ёруғлик нурининг интенсивлиги амплитуданинг квадратига пропорционал бўлади (11-9 ва 22-5 бўлимлар), ясси поляризацияланган нурнинг интенсивлиги кутублагичдан $(E_0 \cos \theta)^2$ га пропорционал равишда ўтади, бу муносабатни Малюс қонуни дейилади,



$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (10-2) \text{ Малюс қонуни}$$

[ясси кутубланган тўлқиннинг интенсивлиги кутублагичдан ўтганда] бу ерда I_0 тушаётган нурнинг интенсивлиги ва θ тушаётган нурнинг кутубланиши билан поляризаторнинг ўтказиш ўқи орасидаги бурчак.

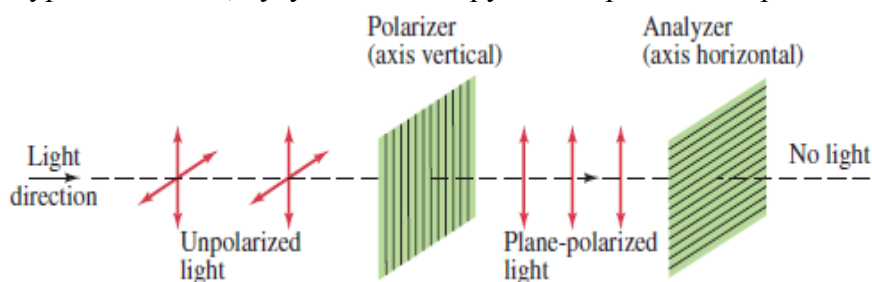
10-8. Расм. Кутубланган ёруғлик бир хил Поляроидни кутублагич сифатида

интенсивликда вертикал ва горизонтал кутубланмаган ёруғликдан кутубланган ташкил этувчиларга эга. Поляризатордан ёруғликни ҳосил қилиш мақсадида қўллаш ўтгандан кейин уларнинг битта ташкил мумкин, бунда ёруғликнинг параллел ўқиға этувчиси йўқолади. Ёруғлик ташкил этувчиси ўтади. интенсивлиги яримга камаяди.

Поляроид анализатор вазифасида (1) ёруғлик кутубланмаган ва (2) кутубланиш текислигини аниқлаш учун ҳам қўлланилиши мумкин. Поляроид унга маълум микдорда ёруғлик уни ўқиға ихтиёрий ориентация билан тушганда анализатор сифатида ишлайди, агар ёруғлик кутубланмаган бўлса; бир жуфт поляроид кўзойнақларининг бир ойнасини лампочкага қараган ҳолда бураганда. Агар ёруғлик кутубланган бўлса, у ҳолда поляроидни бураган пайтда кутубланиш текислиги поляроиднинг ўтказиш ўқиға параллел бўлганда ўтган нур максимум бўлади, перпендикуляр бўлганда эса минимум бўлади. Агар шуни осмонга қараб бажарсак Қуёш йўналишига тўғри бурчак остида осмон нури кутубланганини кўриш мумкин. (Қуёш нури кутубланмаган, лекин поляризатор бўлишидан қатъий назар қуёшга тик қараш мумкин эмас, кўзни шикастлаши мумкин). Агар ёруғлик анализатордан ўтганда поляроид бир ориентация бўйича нолга тушади, кейин ёруғлик 100% кутубланган бўлади. Агар у минимуми ҳосил қилган бўлса, ёруғлик қисман кутубланган бўлади.

Кутубланмаган ёруғлик тасодифий йўналишда кутубланган ёруғликдан ташкил топган. Бу ҳар бир кутубланиш йўналишлари ўзаро перпендикуляр йўналишларда иккита ташкил этувчиларга ажратиш мумкин. Кутубланмаган нури ўртача бир хил қийматга эга ва ўзаро перпендикуляр кутубланган нур деб қарашимиз мумкин. Кутубланмаган нур кутублагичдан ўтганда бир ташкил этувчиси ўтмайди. Шундай қилиб, тушаётган ёруғликнинг интенсивлиги яримга камаяди, сабаби ёруғликнинг ярми ўтмайди: $I = \frac{1}{2} I_0$ (10-8 расм).

Иккита поляроид кесишса, яъни уларнинг кутубланиш ўқлари бир-бирига перпендикуляр бўлса-кутубланмаган ёруғлик ундан бутунлай ўта олмаслиги мумкин. 10-9 расмда кўрсатилгандек, кутубланмаган ёруғлик биринчи поляроид.



10.9.расм.
Кесувчи
поляроидлар
ёруғликни
тўлиқ
ўтказмайди.

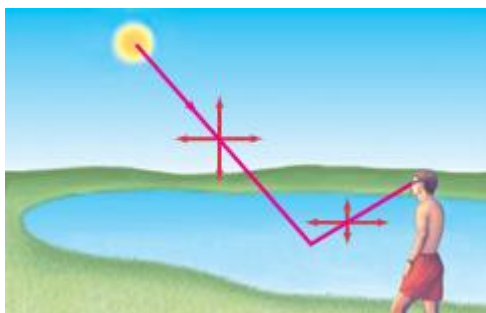
(поляризатор) дан ўтганда кутубланади. Иккинчи поляроид, анализатор унинг бу ташкил этувчисини ўтказмайди, унинг ўтказиш ўқи биринчи поляроидникига перпендикуляр.

Сиз буни қуёш нуридан сақлайдиган полароид кўзойнақлар билан синаб кўришингиз мумкин (10-10 расм). Қуёш нуридан сақлайдиган полароид кўзойнақлар 50% гача кутубланмаган ёруғлик нурини ўтказмайди, чунки уларда кутбланиш хусусияти бор; улар рангларга бўялганликлари учун бунданда кўпроқ нури ютишади. Ҳар қандай йўналишдаги чизикли-кутубланган нур ҳам кесишган полароидлар томонидан тўхтатиб қолинади.



10.10.Расм. Кесишган поляроидлар. Икки қуёш нуридан сақлайдиган поляроид кўзойнак линзалари устма уст тушса, ўқлари бир бирига перпендукляр холда, деярли ҳеч қандай ёпуғлик ўтмайди.

Брюстер қонуни. Қутбланмаган нурдан қутбланган нурни ҳосил қилишнинг бошқа йўли бу акс таъсиридир. Ёруғлик нури металлмас юзага перпендикуляр йўналишдан ташқари исталган бурчак остида келиб урилганда, қайтган нур кўпинча юзага параллел текисликда қутбланади, 10-11 расм. Бошқа суз билан айтганда, юзага перпендикуляр текисликда қутбланиш компоненти юборилади ёки ютилади. Сиз буни қуёш нуридан сақлайдиган полароид кўзойнаклари орқали текис дарёга ёки йўл юзасига кўзойнакларни айлантирган холда синаб кўришингиз мумкин. Кўп ташқи юзалар горизонтал бўлганлиги сабабли, қуёш нуридан сақлайдиган полароид кўзойнаклар ўқлари қайтган нурларнинг горизонтал компонентини йўқотиш мақсадида вертикал кўринишида қилинади, ва шу билан ярқирашни камайтиради.



10-11 расм. Металлмас юзадан қайтган нур, масалан дарёнинг сувининг сокин сатхи, юзага параллел холда қисман қутбланади.



(a)



10-12 расм. Кўлнинг фото расмлари, (а) Барча нурларнинг камера линзалари орқали утиши, ва (б) поларизаторнинг ишлатилиши. Поларизатор сув юзасидан қайтаётган нурни (қутбланган) кўп қисмини ютиш учун қўлланилади, кўлнинг тагидаги хира нурларни ва балиқлар бўлса балиқларни яхшироқ кўришга рухсат беради.

Балиқ овига борадиган одамлар кўл юзасидан акс этадиган ярқироқ нурларни йўқотиш мақсадида Полароид кўзойнақларини тақиб олишади ва шунинг учун ҳам сув тубини тиниқроқ кўришади (10-12 расм).

Қайтган нурнинг қутбланиш қиймати бурчакка боғлиқ бўлади, нормал тушишдаги йўқ қутбланишдан тортиб **қутбланиш бурчаги** θ_p деб аталадиган бурчакда 100% қутбланишгача ўзгаради. Ушбу бурчак чегаранинг иккала томонидаги икки материалнинг синиш индексига боғлиқ:

$$\tan \theta_p = \frac{n_2}{n_1} \quad (10-3a) \text{ Брюстер қонуни}$$

n_1 бу ҳаракатдаги тушаётган нурнинг манбаи бўлмиш материалнинг синиш индекси, n_2 эса акс этувчи чегаранинг буйоғидаги муҳитнинг синиш индекси. Агар нур хавода ҳаракатланса $n_1 = 1$, ва 10-3a тенглама ўзгаради:

$$\tan \theta_p = n \quad (10-3b)$$

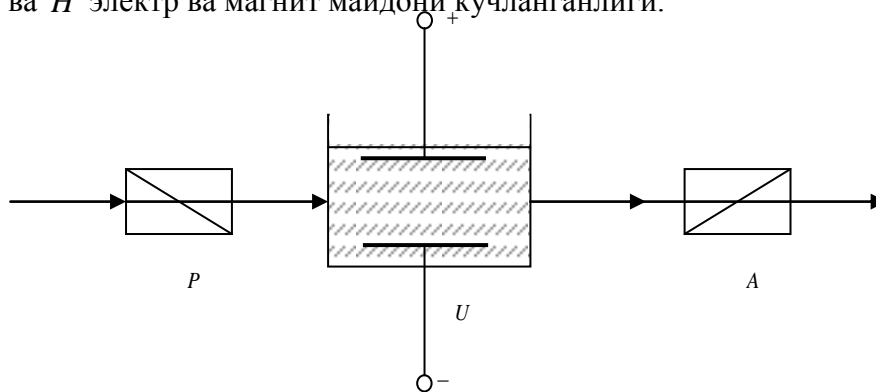
Қутбланиш бурчаги θ_p **Брюстер бурчаги** ҳам дейилади, ва 10-3 а,б тенгламалар Брюстер қонуни дейилади, 1812-йил тажриба асосида ишлаб чиққан Шотландия физиги Девид Брюстер (1781-1868) номига аталган. 10-3 тенгламалар ёруғликнинг электромагнит тўлқинлар назариясидан олинган. Брюстер бурчагида акс этган нур ва синган нур бир бири билан 90° бурчак ҳосил қилади; бу дегани $\theta_p + \theta_r = 90^\circ$, θ_r бу синиш бурчаги.

Сунъий анизотропия. Иккиланиб синиш фақат анизотроп муҳитларда бўлади. Лекин изотроп муҳитларда сунъий усул билан анизотропия ҳосил қилиш мумкин: бир йўналишда сиқиш ёки чўзиш, муҳитларни (қаттиқ жисм, суюқлик ёки газни) электр (Керр эффекти) ёки магнит майдонга киритиш. Келтирилган ҳолатларда жисм анизотроп кристалл хусусиятларга эга бўлиб қолади. Бунда унинг оптик ўқи деформация, электр ва магнит майдон йўналишига параллел бўлиб қолади. Пайдо бўладиган оптик анизотропиянинг меъёрий сифатида оптик ўққа перпендикуляр йўналишдаги n_o ва n_e ларни айирмаси хизмат қилади: $n_o - n_e = k_1 \sigma$ (деформация қилинганда)

$$n_o - n_e = k_2 E^2 \quad (\text{электр майдон таъсир қилинганда})$$

$$n_o - n_e = k_3 H^2 \quad (\text{магнит майдон таъсир қилинганда})$$

k_1, k_2, k_3 лар жисмларнинг хоссалари билан боғлиқ параметрлар, σ механик кучланганлик E ва H электр ва магнит майдон кучланганлиги.



10. 13 расм.

10.13-расмда электр майдон таъсирида юз берадиган Керр эффектани кузатишга мўлжалланган қурилма кўрсатилган. Бунда Р поляризатор, А анализатор, U суюқлик (масалан натробензол) солинган идиш, суюқлик ичига конденсатор жойлаштирилган. Бу конденсаторга юқори кучланиш ($30\div 50$ кВ) берилади. Электр майдони берилмаган пайтда система орқали нур ўтолмайди, Р ва А бир – бирига нисбатан оптик ўқлари перпендикуляр жойлашгани учун. Электр майдони берилганда суюқлик анизотроп муҳитга айланади, натижада нур иккиланиб синади ва анализатордан кейин нур пайдо бўлади. ℓ масофада оддий ва оддий бўлмаган нурлар ўртасида йўл фарқи пайдо бўлади:

$$\Delta = \ell(n_0 - n_e) = k_2 \ell E^2$$

Шунга мувофиқ фазалар фарқи пайдо бўлади:

$$\varphi = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda} = 2\pi B \ell E^2 \quad (10.4)$$

бу ерда $B = \frac{k_2}{\lambda}$ - Керр доимийси.

Керр эффекти техниканинг кўп соҳаларида қўлланилади: нур затвори, овоз ёзишда, катта тезликда расм олишда, оптик локацияда, лазерларда ва ҳоказо.

ТАЯНЧСЎЗВАИБОРАЛАР

Қутбланганёруғлик, тўлавачалақутбланиш, Малюсконуни, ёруғликнингқайтишидақутбланиши, Брюстерконуни, иккиланманурсинишҳодисаси, оддийнуртабиати, ғайриоддийнуртабиати, қутблагичлар.

НАЗОРАТСАВОЛЛАРИ

1. Қутбланганёруғликқандайёруғлик.
2. Иккитақутбланганёруғликкўшилсақандайҳодисарўйберади.
3. Ёруғликнингқайтишивасинишидақутбланишнитушунтиринг.
4. Брюстербурчагиқандайбурчак.
5. Ёруғликиккиланибсинишидақутблаништабиатиқандай.
6. Оддийвағайриоддийнурларнингқандайхусусиятларимавжуд.
7. Малюсконунинитушунтиринг.
8. Суънийқутбланишқандайҳодиса.
9. Қутбланиш бизга ёруғликнинг қайси табиатини тушунтириб беради?
10. Қутбловчи кўзойнакнинг оддий кўзойнакдан афзаллигини тушунтиринг.
- 11.. Иккита кўзойнакнинг қутбловчи ёки қутбловчи эмаслигини қандай айтиш мумкин?

Амалий машғулот

Масала. 60° бурчак остидаги икки полароидлар. Қутбланмаган нур икки Полароид орқали утади; биринчисининг ўқи вертикал жойлашган ва иккинчисиники вертикал ўқдан 60° га бурилган. Утказилган нурнинг интенсивлигини ва ориентирини (йўналишини) аниқланг.

Ечим Биринчи Полароид нурнинг ярмини йўқотади, бу дегани интенсивлик икки марта камаяди:

$I_1 = \frac{1}{2}I_0$. Иккинчи қутублагичга (қутблашни бажарадиган асбоб) етган нур вертикал йўналишда қутбланади ва интенсивлиги хам камаяди:

$$I_2 = I_1(\cos 60^\circ)^2 = \frac{1}{2}I_1$$

Шунинг учун $I_2 = 1/8 I_0$. Утказилган нурнинг интенсивлиги асл нур интенсивлигини саккиздан бирини ташкил этади ва вертикал йўналиш бўйлаб 60° да чизиқли қутбланган.

Масала. Қутбланиш бурчаги. (а) Қандай тушиш бурчагида қуёш нури дарёдан аниқ чизиқли қутбланган ҳолда акс этади? (б) Силиш бурчаги нимага тенг?

Ечим (а) Биз 24-6b тенгламасини $n = 1.33$ билан ишлатамиз, ва $\tan \theta_p$ бизга $\theta_p = 53.1^\circ$ ни беради. (б) Шнелл қонуни орқали

$$\sin \theta_r = \sin \theta_p / n = \sin 53.1^\circ / 1.33 = 0.601$$

бизга $\theta_r = 36.9^\circ$ ни беради.

1. Иккита поляризатор(қутблагич)лар ўзаро 72° да жойлашган. Қутбланмаган ёруғлик уларга тушган, ёруғлик кучининг қандай қисми узатилади?
2. Ҳаво-шиша ($n=1.56$) юза учун Брюстер бурчагини топинг.
3. Қутбланмаган ёруғлик кучини (а) $1/3$ (б) $1/10$ мартага камайтириш учун 2 та Полариодларнинг ўқларини қандай бурчакда жойлаштириш керак.
4. Иккита поляризатор(қутблагич)лар ўзаро 42° да жойлашган. Ҳар бир қутблагичга 21° бурчак остида қутбланган ёруғлик уларнинг ҳар биридан ўтади. Ўтган интенсивлик неча %?
5. 3 та мукамал қутбловчи юзалар паралел равишда ўзаро 2 смдан қилиб жойлаштирилди. Иккинчи юзанинг оптик ўқи биринчисига нисбатан 30° да жойлашган. Учинчисиники биринчисига нисбатан 90° бурчакда жойлашган. Қутбланмаган ёруғлик биринчисига келиб урилади. Ёруғликнинг неча фоизи 3-қутблагичдан ўтади.
6. Ўғирланган деб гумон қилинаётган олмос ёгга ботирилди ва қутбланмаган ёруғлик туширилди. Синган ёруғлик 62° бурчакда бутунлай қутланди. Ёғнинг ёруғлик синдириш кўрсаткичи 1.43. Айтилган у ҳақиқатдан ҳам олмосми.
7. Ўтаётган қутбланмаган ёруғлик максимум бўлиши учун 2 та полароид бир чизиқда жойлаштирилди. Ўтаётган ёруғлик кучи ярим марта камайтириши учун полароидлар қандай бурчакка ўзгартирилиши керак?
- 8.. Сувга ботирилган олмоснинг Брюстер бурчагини топинг.
9. Икки материал чегарасида тўла ички қайтиш критик бурчаги 58° . Бу чегарада Брюстер бурчаги нимага тенг? Иккита жавобни келтиринг (ҳар бир материал учун биттадан).
10. Сув сирти остида келаётган нур қайтиши учун Брюстер бурчаги нимага тенг? Тўла ички қайтиш бурчаги ва сув сирти усти учун Брюстер бурчаги билан солиштиринг.
11. I_0 ёруғлик интенсивлигига эга бўлган қутбланмаган ёруғлик 6 та кетма кет жойлашган қутбловчи юзалардан ўтказилди. Қутбловчи юзаларнинг ҳар бири ўздан олдинчисига нисбатан 35° бурчакда жойлашган. Узатилган нурнинг ёруғлик кучини топинг.
12. Иккита қутблагич бир бирига 48° да жойлаштирилган ва уларга ясси қутбланган ёруғлик тушмоқда. Агар тушган нурнинг фақат 35% улардан ўтган бўлса, тушган нурнинг дастлабки қутбланиш йўналиши қандай бўлган?

ИССИҚЛИК НУРЛАНИШИ

Режа

1. Иссиқлик нурланиши. Абсолют қора жисм.
2. Кирхгоф қонуни.
3. Абсолют қора жисм нурланишининг қонунлари.
4. Планк гипотезаси. Планк формуласи.

Иссиқлик нурланиши. Абсолют қора жисм. Конвекция орқали иссиқлик узатиш учун ва яъни иссиқлик ўтказиш жараёнида аниқ модда бўлиши керак. Ерда ҳаётнинг бўлиши бу қуёш энергиясига боғлиқ. Қуёш билан Ер орасида модда билан тўлмаган бўлиб у моддий бўшлиқ яни фазодан иборат. Энергиянинг бундай узатилиши фақат иссиқлик алмашуви ҳисобига содир бўлади ва у нурланиш деб аталади. Қуёш ҳарорати (6000^0K) (расм 11-1) бўлиб Ер юзаси ҳароратидан анча юқоридир.



Расм 11-1. Қуёш юзасида (6000^0 K) –бу Ер юзидаги ҳароратдан жуда юқоридир.

Бизнинг оловдан оладиган иссиқлигимиз ҳам нурланиш орқали амалга ошади. Мисол учун печни қиздириш жараёнида ҳавонинг қизиган катта қисми конвекция орқали бизга етиб келмасдан труба орқали юқorigа чиқиб кетади. Нурланиш бу электромагнит тўлқиндан иборат бўлиб уни кейинги бобда кўриб чиқамиз

Бу ерда шуни етарлича қайд қилиш керакки, қуёш ёруғлиги кўринадиган ёруғлик бўлиб унда бошқа тўлқин узунликтаги нурлар бўлиб уни инсон кўзи сезмайди.

Тажрибалар кўрсатадики (назария тасдиқлайди) қиздирилган жисм томонидан вақит бирлиги ичида ажралиб чиққан нурланиш абсолют ҳароратнинг тўртинчи даражасига пропорционалдир. Бу шуни англатадики ҳарорати мос равишда 2000 ва 1000 K бўлган икки жисмни таққосласак, биринчи жисм, иккинчи жисмга қараганда $2^4=16$ марта кўп микдорда энергия нурлайди. Етарли даражагача қиздирилган жисмлар ўзидан нур чиқара бошлайдилар. Бундай нурланиш иссиқлик нурланиши деб аталади. Текширишлар шуни кўрсатадики жисмларнинг нурланиши учун уларни қиздириш шарт эмас экан, жисмларнинг ҳарорати $T > 0$ бўлса бас, ҳарқандай нолга тенг бўлмаган ҳароратга эга жисм ўзидан нурланиш чиқараверар экан. Демак, бундай нурланиш ҳамма жисмга ҳос универсал жараёндир. Иссиқлик нурланиши атом ва молекулаларнинг иссиқлик ҳаракати энергияси ҳисобига юз беради. Унинг спектри узлуксиз бўлиб, спектрнинг максимуми температурага боғлиқ. Юқори температурада асосан қисқа тўлқин узунлиги, паст температурада эса асосан катта тўлқин узунлиги электромагнит тўлқинлар нурланилади (инфрақизил нурлар).

Лекин ҳар қандай нур тарқатувчи жисм ўз навбатида бошқа жисмларнинг нурлатган энергияларини ютади, натижада, нур чиқариб ва ютиб, жисм атроф муҳит

билан мувозанатга келади, бу ҳолатда жисм қанча ёруғлик нурлатса шунчасини ютиб туради. Анашуҳолатга мос келган температура мувозанат температураси деб аталади. Иссиқлик нурланишини ифодалаш учун қуйидаги тушунчалар киритилади:

- жисмнинг тўла нур чиқариш қобилияти E – бирлик юзадан 1 сек ичида чиқаётган энергия миқдори, бирлиги $Ж/м^2 \cdot сек$.
- жисмнинг тўла нур ютиш қобилияти A – жисм ютадиган энергиянинг унга тушаётган энергияга бўлган нисбати. A нинг бирлиги йўқ ва у ҳар доим ≤ 1 . масалан, оптик диапазонда Al учун $A=0,1$, Cu учун $A=0,5$, сув учун $A=0,67$. E ва A лар жисмнинг табиатига ва тўлқин узунлигига боғлиқ.
- жисмнинг $\Delta\lambda$ интервалига тўғри келадиган нур чиқариш қобилияти спектрал нур чиқариш қобилияти деб аталади ва у E_λ деб белгиланади. Худди шундай қилиб спектрал нур ютиш қобилияти таърифланади ва у A_λ билан белгиланади.

Ҳар қандай температурада ҳам ўзига тушган энергиянинг ҳаммасини ютадиган жисм **абсолют қора жисм** (а.қ.ж.) деб аталади. А.қ.ж. учун $A_\lambda = A = 1$ А.қ.ж.га оптик диапазонда ўз хоссалари билан қора қуя яқинроқ ($A_\lambda = 0,95$).

А.қ.ж нур ютар экан, ўз навбатида нур ҳам чиқаради. Демак, нур чиқариш ва нур ютиш жараёнлари ўзаро боғлиқдир. Фараз қилайлик икки жисмдан иборат бўлган берк системада бу жисмлар ҳар хил температурага эга ва ўзаро фақат нур ютиш ва нур чиқариш орқали энергия алмашади. Маълум вақтдан кейин улар ўртасида иссиқлик мувозанати пайдо бўлади: ҳар бир жисм вақт бирлиги ичида қанча энергия ютса, шунча энергия нурлатади. Бу жисмларнинг мувозанат температурасидаги нур чиқариш ва нур ютиш қобилиятлари E', E'' ва A', A'' лар билан белгилаймиз. Биринчи жисм иккинчисига қараганда $1 м^2$ юзадан 1 сек ичида n марта кўп энергия чиқаряпти деб ҳисоблайлик (13.1-расм):

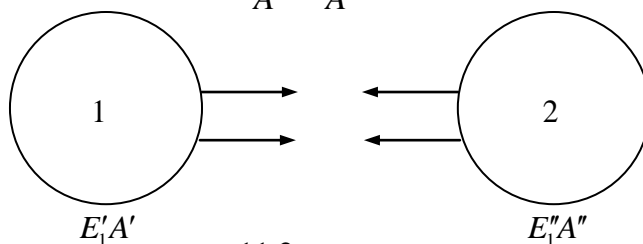
$$E' = nE''$$

Шундай экан, бу жисм ўз навбатида энергияни n марта кўп ютиши ҳам керак:

$$A' = nA''$$

Натижада ҳосил бўлади:

$$\frac{E'}{A'} = \frac{E''}{A''}$$



11.2-расм

Агар берк системада жисмлар кўп бўлса ва улар орасида бир жисм абсолют қора жисм бўлса, у ҳолда қуйидаги муносабат бажарилади:

$$\frac{E'}{A'} = \frac{E''}{A''} = \frac{E'''}{A'''} = \dots \varepsilon \quad (11.1)$$

ε – а.қ.ж. нинг нур чиқариш қобилияти, унинг нур ютиш қобилияти $A=1$. (13.1) ифода Кирхгоф қонуни деб аталади ва у қуйидагича айтилади:

Кирхгоф қонуни.

Берилган температурада ҳамма жисмлар учун уларнинг нур чиқариш қобилиятларнинг нур ютиш қобилиятларига бўлган нисбати ўзгармас миқдор бўлиб, у а.қ.ж. нинг ўша температурадаги нур чиқариш қобилиятига тенг.

Бу қонун жисмларнинг спектрал нур чиқариш ва нур ютиш қобилиятларига ҳам тегишли, ёки $E_\lambda = A\varepsilon_\lambda$

Кирхгоф қонунидан қуйидаги 3 та хулоса чиқариш мумкин:

1. Исталган температурада ҳарқандай жисмнинг нур чиқариш қобилияти унинг нур ютиш қобилиятининг а.қ.ж. нинг нур чиқариш қобилиятига бўлган кўпайтмасига тенг:

$$\begin{aligned} E &= A\varepsilon \\ E_\lambda &= A_\lambda \varepsilon_\lambda \end{aligned} \quad (11.2)$$

2. Ҳарқандай жисмнинг нурчиқариш қобилияти а.қ.ж. нинг нур чиқариш қобилиятдан кичик ($E = A\varepsilon$, $A < 1$ бўлганлиги учун $E < \varepsilon$).

3. Агар жисм қандайдир тўлқин узунлигида нурни ютмаса, у бундай нурни чиқармайди ҳам ($E_\lambda = A_\lambda \varepsilon$, шунинг учун $A_\lambda = 0$ бўлса $E_\lambda = 0$ бўлади).

А.қ.ж. га тегишли яна иккита қонунни келтирамыз: **Стефан–Больцман қонуни.**

Нурланиш энергиясининг қиймати яна нурланувчи жисим кўндаланг кесим юзасига боғлиқ. Вақит бирлиги ичида нурланиш энергияси қуйидагича ёзилади:

$$\frac{Q}{t} = \epsilon \sigma A T^4 \quad (11-3)$$

«Абсолют қора жисмнинг тўла нурчиқариш қобилияти температуранинг тўртинчи даражасига тўғри пропорционал»:

Бу **Стефан–Болтцман қонуни** дейилади, бу ерда σ -универса доимий бўлиб Стефан-Болтцман доимийси дейилади. Унинг сон қиймати

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

Бу ерда ϵ -ўлчамсиз катталиқ бўлиб унинг қиймати 0 ва 1 оралиқда олиниб, нурланиш қобилияти дейилади ва у модданинг хусусиятини характерлайди. Юзаси жуда қора бўлган жисмлар учун ϵ -нинг қиймати 1-га яқин, ялтироқ юзали моддалар учун ϵ қиймати нолга яқин. Умуман олганда σ -нинг қиймати ҳароратга оз миқдорда боғлиқ бўлади.

Ҳар қандай жисм фақат энергия нурлантормасдан балки бошқа жисм нурлатган энергияни ютади ҳам. Агар жисмнинг нурланиш қобилияти ϵ –га, юзаси A ва сирт ҳарорати T_1 га тенг бўлса, у ҳолда жисм вақит бирлиги ичида нурлаган энергияси қуйдагига тенг бўлади: $\epsilon \sigma A T^4$

Жисмнинг атроф муҳит билан ўралган холи учун T_2 ҳароратда вақит бирлиги ичида энергия нурласа у T_2^4 пропорционал бўлади, худди жисм томонидан ютган энергия ҳам T_2^4 га пропорционал бўлади. Шундай қилиб жисм томонидан нурланган натижавий иссиқлик оқими қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\frac{Q}{t} = \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4), \quad (11.4)$$

Бу ерда A -жисм сирт юзаси, T_1 -унинг ҳарорати, ϵ - (T ҳароратда) унинг нурланиш қобилияти ва T_2 - атроф муҳит ҳарорати. Шуни этиборга олиш керакки (14-7) ифоддадан

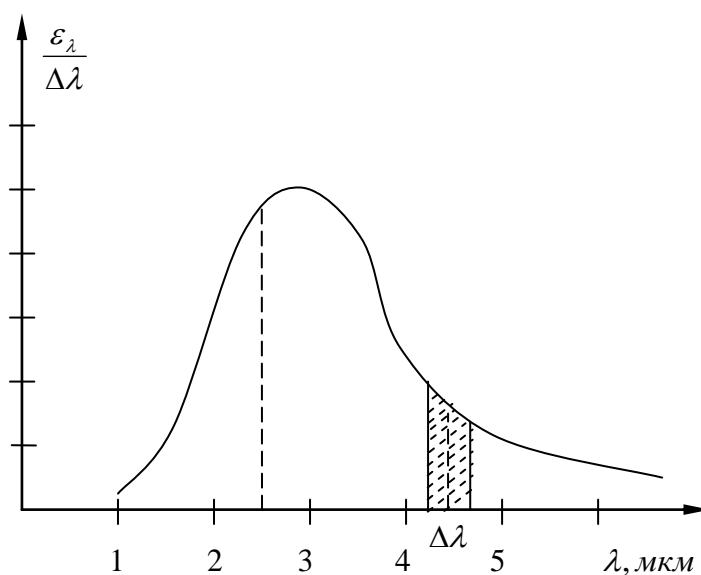
жисм томонидан вақит бирлигида ютган энергия $\epsilon \sigma A T_2$ га тенг деб қабул қилинган. T_2 -дан олдинги пропорционаллик коэффиценти нурланувчи ва ютувчи жисмлар учун бир хил бўлади. Бу далил тажриба натижалари билан мос тушади. Қачонки жисм ва атроф муҳит ҳароратлари тенг бўлса иссиқлик мувозанати вужудга келади бошқача сўз билан айтганда $\frac{Q}{t}$ қиймат $T_1=T_2$ ҳолат учун нолга тенг бўлади. Шундай қилиб жисм қанча кўп микдорда энергия нурласа, шунча кўп микдорда энергия ютади ва аксинча. Қора ва жуда қора жисмлар яхши нурлантирувчи бўлиб деярли бутун энергияни тўлиқ ютади. Шунинг учун ёзда оқ кийим кийиш мақсадга мувофиқдир, чунки оқ жисм фақат энергия нурлантирмасда, кам энергия ютади.

Виннинг силжиш қонуни. «Абсолют қора жисм нурланиш спектрининг максимумига тўғри келадиган тўлқин узунлиги λ_m унинг температурасига тескари пропорционалдир»:

$$\lambda_m \cdot T = b \quad (11.5)$$

Бу қонун Вин қонуни деб аталади b – Вин доимийси. $b = 0,289 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{град}$

Абсолют қора жисм нурланишининг спектри экспериментда 19 асрнинг охирида ўлчаган. А.қ.ж. сифатида ичи бўш ва устида кичик тешиги бўлган сфера, полировка қилинган платинили пластинка ва кўмир ишлатилди. 11.3-расмда температураси 1260°К бўлган а.қ.ж. нинг нурчиқариш қобилияти бўлиб, у экспериментда $\Delta\lambda$ спектрал диапозонда аниқланади. Демак, график ўраб олган юза (у штрихланган) а.қ.ж. нинг тўла нурчиқариш қобилияти ϵ га тенг бўлади. Графикдан кўриниб турибдики, а.қ.ж. нинг 1260°К даги нурланиш максимуми $\lambda_m = 2,4 \text{ мкм}$ га тўғри келар экан.



11.3-расм

Стефан – Больцман ва Вин қонунлари а.қ.ж. нурланишнинг хусусий ҳолларини ифодалайдилар, улар а.қ.ж. нурлатадиган энергиянинг тўлқин узунлиги бўйича тақсимланиши $\epsilon_\lambda = f(\lambda, T)$ ни бераолмайдилар. 19 асрнинг охирларида бу функцияни назарий жиҳатдан чиқаришга уринишлар бўлди, лекин олинган натижалар тажрибага қарама – қарши бўлаверди.

Планк гипотезаси. Планк формуласи. Фақат 1900 йилда немс физиги М.Планк $\varepsilon_\lambda = f(\lambda, T)$ функциянинг тўғри кўринишини топа олди. Лекин у бунинг учун фанга бутунлай янги бўлган тушунчаларни киритди. Унинг асосий фикри гипотезаси қуйидагидан иборат: электромагнит энергиянинг ютиши, нурланиши ва тарқалиши кичик порциялар билан (квант билан) юз беради. Аввал бу жараёнлар узлуксиз равишда юз беради, деб ҳисобланган. Шундай қилиб Планк фанга квант тушунчасини киритди. Демак электромагнит тўлқинни квантлар оқими деб қараш мумкин.

Квант – бу энергиянинг кичик бўлагидир. Ҳар бир квантнинг энергияси частотага тўғри пропорционалдир:

$$\varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (11.6)$$

Бу ерда c – ёруғлик тезлиги, λ - унинг тўлқин узунлиги, h эса Планк доимийси деб аталади ва у $6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с}^1$ га тенг. Бу формула ёрдамида частотаси (тўлқин узунлиги) маълум бўлган ёруғлик квантининг энергиясини ҳисоблаш мумкин. Масалан, яшил нур учун $\lambda = 0,55 \text{ мкм}$ деб олсак, бу нур квантининг энергияси баробар бўлади:

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5,5 \cdot 10^{-7}} \approx 3,6 \cdot 10^{-19} \text{ Ж}$$

Иссиқлик нурланишининг квант табиатини ҳисобга олиб Планк а.қ.ж. нинг спектрал нур чиқарувчи қобиляти учун қуйидаги формулани келтириб чиқарди:

$$\varepsilon_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1} \quad \text{ёки} \quad \varepsilon_\nu = \frac{2\pi \nu^2}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (11.7)$$

Бу формула экспериментга тўла жавоб беради, амалда олинadиган натижалар у билан 100% мос келади. Стефан – Больцман ва Вин қонунлари ҳам шу формуладан келиб чиқади. Планк назарияси асосида А.Эйнштейн 1905 йилда ёруғликнинг фотон (квант) назариясини, 1913 йилда Н.Бор атомлар квант назариясини яратди.

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Иссиқлик нурланиши ходисаси, нур чиқариш қобиляти, нур ютиш қобиляти, абсолют қора жисм, Кирхгоф қонуни, Степан-Больцман қонуни, Виннинг силжиш қонидаси, ёруғлик кванти, квант энергияси, Планк формуласи.

НАЗОРАТСАВОЛЛАРИ

1. Абсолют қора жисм деганда нимани тушунаси.
2. Жисмнинг нур чиқариш ва нур ютиш қобилятларини тушунтиринг.
3. Кирхгоф қонунинг ифодасини ёзинг.
4. Степан-Больцман қонунини тушунтиринг.
5. Виннинг силжиш қонунини таърифланг.
6. Планк назариясининг моҳияти нимада.
7. Планк формуласини ёзинг. У қандай ҳулосага олиб келади.

8. Апельсин соки бор банкани тинимсиз чайқатиб турганда инсонни бажарган иши нимага ўтади?

9. Агар иссиқ жисм совуқ жисмни иситаётган бўлса, иккаласининг ўртасида температура оқими борми? Иккала жисмда температура ўзгариши бир хилми? Тушунтиринг.

10. Агар ҳар хил температурали иккита жисм бир- бирига текизилиб қўйилган бўлса, табиий йўл билан катта ички энергияли жисмдан кичик энергияли жисмга оқиб ўтадими? (В) Агар иккаласининг ички энергияси тенг бўлса ҳам оқиб ўтиши мумкинми? Тушунтиринг.

11. Иссиқ ўлкаларда иссиқни севувчи ўсимликлар ўсади. Аммо шу ўлкаларда қиш кунлари бир неча бор ҳарорат сув музлаш нуқтасидан паст даражага тушиб кетиши мумкин. Тушинтирингчи нима учун ўсимликларни музлашдан сақлаш учун уларни кечкурун суғориш керак.
12. Ер атмосферасининг юқори қатламларида ҳарорат $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ гача кўтарилади. Аммо ҳар қандай тирик мавжудод бу қатламларда пишиб қолиш ўрнига музлаб қолади ва ўлади. Тушинтиринг.
13. Арктика экспедицияларида совукдан сақланиш учун кузатувчилар қор тагига яширинишади. Нима учун шундай қилишади?
14. Нима учун қуруқ қумда юришдан ҳўл қумда юриш осонроқ?
15. Сиз эшитасиз объектнинг юқори иссиқликка эга. Бу унинг температураси юқори эканлигини билдирадими? Тушинтиринг.
16. Печкадаги Иссиқ ҳаво уйни исситиш учун фойдаланилади. Нима учун печкага ҳаво кириш учун тешик бўлиши керак? Агар шу тешикни шкаф тўсиб қўйса?
17. Оддий электр вентелятори ҳавони совутади? Тушинтиринг. Агар совитмаса нима учун уни ишлатиди?
18. Дераза орқали иссиқликни йўқотиш қуйидаги жараёнлар сабабли: 1) Шиша орқали, 2) рака орқали, агар металдан қилинган бўлса, 3) зич ёпилмаган четтидан ҳавонинг ўтиши, 4) нурланишдан. (а) Биринчи учта ходиса: иссиқлик ўтказувчанлик, конвекция ёки нурланишнинг ўтиш механизми нимадан иборат?
19. Қуёшда ётган ёғоч бўлаги шундай ўлчамли металл парчасига нисбатан кўпроқ иссиқлик ютади. Аммо ёғочга нисбатан металл парчаси иссиқроқ. Тушинтиринг.
20. Ер юзаси тунда агар ҳаво булут бўлгандан очиқ бўлганда тезроқ совиydi. Нима учун?
21. Махсус кўрпалар (одеял) юпқа ялтироқ (металл қоплама) пластик пленкадан иборат. Тушинтирингчи, у қўзғалмас одамни иссиқлигини сақлаб туриш учун ёрдам беради.
22. Тушинтирингчи, океан қирғқларида жойлашган шаҳарларда, шу кенгликка ичкарида жойлашган шаҳарларга нисбатан одатдагига нисбатан “экстримал” (об- ҳавонинг ўзгариши) ҳароратлар кам.

АМАЛИЙ МАШҒУЛОТ

Масала 11-1. Нурланиш билан совутиш. Спортчи ечинган ҳолда кийим алмаштириш хонасида ўтрибди у ерда девор 15°C ҳароратга эга. Боланинг қанча миқдорда нурланиш ҳисобига иссиқлик йўқотишини ҳисобланг, агар $\epsilon=0.70$ ва тана ҳарорати 34°C бўлса. Майдонни 1.5 м^2 деб олинг.

Ҳисоблаш: Бизда қуйидаги формуладан фойдаланиб ҳисоблаймиз.

$$\begin{aligned}\frac{Q}{t} &= \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \\ &= (0.70)(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4)(1.5 \text{ м}^2)[(307 \text{ K})^4 - (288 \text{ K})^4] = 120 \text{ W}.\end{aligned}$$

Масала 11-2. Иккита чай кружкаси - керамикли кружка иссиқлик ўтказувчанлиги $\epsilon=0.75$ ва ялтироқ кружка иссиқлик ўтказувчанлиги $\epsilon=0.10$ бўлиб уларда 95°C ҳароратли 0.75 л чай бор.

А) Ҳар бир идишда вақит бирлиги ичида йўқотган иссиқликни баҳоланг?

Б) Ҳар бир идишдан 30 минут вақитдан кейин қанча миқдорда иссиқлик тушишини баҳоланг?

Иссиқлик йўқотиш нурланиш ҳисобига деб ҳисоблаб, атроф муҳитнинг ҳароратини 20°C деб олинг?

Ечиш. А) 0.75 л ли чай кружкаси қирраси 10 см бўлган кубга яқин деб олиб унинг сирт юзаси асосини ҳисоблаш мумкин. $5 \times (0.1 \text{ м})^2 = 5 \times 10^{-2} \text{ м}^2$ га тенг бўлади. Вақит бирлиги ичида йўқотган энергия тахминан қуйидагига тенг бўлади.

$$\frac{Q}{t} = \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \\ = \epsilon (5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) (5 \times 10^{-2} \text{ м}^2) [(368 \text{ K})^4 - (293 \text{ K})^4] \approx \epsilon (30) \text{ W},$$

Ёки 20 Вт га яқини керамикли ($\epsilon=0.70$) вафақатгина 3 Вт ялтироқ кружкага ($\epsilon=0.70$) га тўғри келади.

Б) Бошланғич ва охириги ҳароратни ҳар бир куружкада тушишини баҳолаш учун солиштирма иссиқлик сиғими тушинчасини қўлаймиз ва (0.70) кружкаларнинг ўзининг ҳиссасини инобатга оламиз. (0.75 л сувнинг массаси 0.75 кг. $1.0 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3 = 1 \times 10^{-3} \text{ м}^3$ ва $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$). 14.2 формула ва 14-1 жадвални инобатга олиб қуйидагига эга бўламиз:

$$\frac{Q}{t} = mc \frac{\Delta T}{t} \\ \frac{\Delta T}{t} = \frac{Q/t}{mc} \approx \frac{\epsilon (30) \text{ J/s}}{(0.75 \text{ kg})(4186 \text{ J/kg} \cdot \text{C}^\circ)} \approx \epsilon (0.01) \text{ C}^\circ/\text{s}.$$

Бундан 30 мин (ёки 1800 с) дан кейин керамик идишда ҳарорат 12°C га, ялтироқ идишдан 2°C га тушишини топамиз. Ялтироқ идиш керамик идишга қараганда афзаллироқдир. Реаль шароитда конвекция ва иссиқлик ўтказувчанлик нурланишга қараганда катта рол ўйнайди.

1. Бошланғич температураси 12°C бўлган 3 кг сувни иссиқлигини 8200 Ж бўлиш учун температурасини қанчага кўтариш керак?

2. 34 кг сувни температурасини 15°C дан 95°C гача кўтариш учун қанча иссиқлик миқдори керак?

3. Ғаввос океанга шўнғиганда унинг танаси ва кийими орасида, 0,5 мм қалинликда сув қатламани ҳосил бўлади. Фараз қиламиз, ғаввосни танасини қоплаган ғаввос кийими умумий майдони 1 м² ва денгиз сувининг ҳарорати 10°C га тенг. Ғаввосни танасини 35°C га иситиш учун қанча энергия (1 конфет - 300 ккал) керак бўлади?

4. Ўртача актив одам бир кунда 2500 ккал (энергия кетказди) истеъмол қилади(а) бу жоулар да қанча? (б) бу кВт соатда қанча?

5. Британия иссиқлик бирлиги (Btu) Британия бирликлар системасида иссиқлик миқдори бирлигидир. 1 Btu 1 фунт сувни 1°F га кўтариш учун керак бўладиган иссиқлик миқдори.

1 Btu = 0,252 Ккал = 1055 Ж эканлигини кўрсатинг.

6. Массаси 1300 кг бўлган автомобиль тормоз бериб тезлигини 90 км/с дан нолгача секинлаштирганда қанча миқдор иссиқлик (килокалорияда) ҳосил қилади?

7. Сув иситкичи 7500 кал/с иссиқлик ишлаб чиқаради. Бир соат ичида 12°C дан 42°C гача қанча сувни иситиш мумкин?

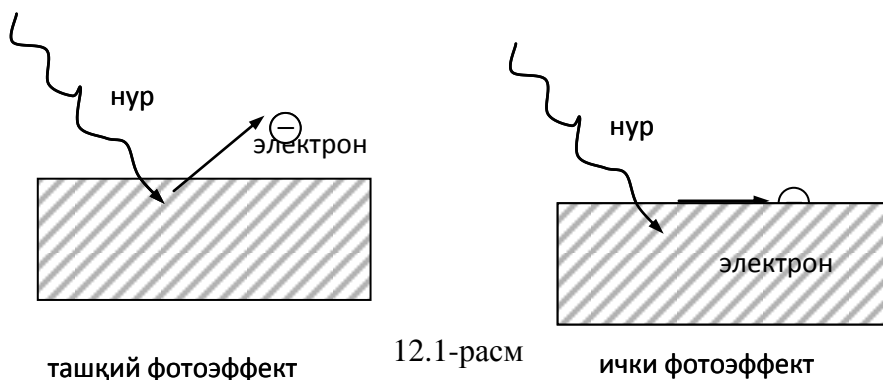
8. Унча катта бўлмаган қуввати 375 Вт бўлган иситгич. 250 мл сувни 15°C дан 75°C гача иситиш учун қанча вақт кетишини ҳисобланг.
9. Жиноят жойида суд терговчиси эшикда қолиб кетган 62 г қўрғошин ўқ урилганда тўлиқ эриганлигини қайд қилади. Агар қўнинг бошланғич ҳарорати хона ҳароратидек (20°C) бўлса, пистолет ўқининг тезлиги қанча?
10. Массаси 64 кг бўлган фигурист 7,5 м/с тезлик билан музда ҳаракатланиб ва тўхтади. Агар муз 0°C ва ишқаланиш туфайли пайдо бўлган 50% иссиқликни муз ютса, у ҳолда қанча миқдордаги муз эриган?
34. Муз кубиги ҳарорати – 85°C совитгич камерасидан совитгич камерасидан олинди ва ҳарорати 20°C бўлган 310 г суви бор 85 г ли калориметрга жойлаштирилди. Охирги ҳарорат 17°C бўлди. Муз кубиги массаси қанча?
11. Массаси 55 г бўлган ўқ 250 м/с тезликда ҳаракатланиб 0°C муз блокига киради ва тинч ҳолатга келади. Ўқнинг ҳарорати ўзгармас бўлган шартда, тўкнашиш натижасида қанча муз эрийди?
12. 14-8 масалада кучли шамол бор ва ташқаридаги ҳарорат – 5°C деб, ойнанинг иссиқлик ўтказувчанлиги ҳисобига бўладиган иссиқлик йўқотишдаги бирлик вақт ичидаги иссиқлик оқимини коэффицентини ҳисобланг.
13. Диаметри 2 см узунлиги 56 см бўлган мис стерженини бир учини 460°C ҳароратда ушлаб турилади иккинчи учини эса 22°C сувга солинган. Стержен бўйлаб иссиқлик ўтказувчанлик коэффицентини ҳисобланг.
14. (а) Радиуси 18 см бўлган вольфрам шардан 20°C ҳароратда, қандай қувват (энергия) нурланади? (нурланиш қобиляти $\epsilon = 0,35$) (б) агар шар деворлари ҳароратини – 5°C да ушлаб турадиган хонада бўлса шардан чиққан натижавий иссиқлик оқими нимага тенг бўлади?
15. Қалинлиги 1 см, юзасини майдони 1 м^2 бўлган 0°C муз парчасини Қуёшда эритиш учун қанча вақт керак бўлади? Қуёш нурлари вертикал бўйича 35° бурчак остида тушади ва музнинг нурланиш қобиляти 0,050 тенг.
16. Теринин иссиқлик ўтказувчанлиги. Агар ҳароратлар фарқи $0,50^{\circ}\text{C}$ бўлса, иссиқлик ўтказувчанлик ҳисобига тери ости капилляридан тери юзасига иссиқлик оқими қанча масофага кўчади? Тери юзасининг майдони $1,5\text{ м}^2$ ва 150 Вт иссиқлик оқими ажралади деб ҳисобланг.
17. Деворининг қалинлиги 14 см ва ҳамма томонлари 4 м бўлган иккита хона. Бир хонадаги 100 Вт ли лампочкалар ҳисобига хона ҳарорати 30°C , бақасида эса 10°C . Температура фарқини ушлаб туриш учун 100 Вт лампочкалардан қанча керак?
1. Электр лампочканинг қуввати 100 Вт бўлиб қалинлиги 0,5 мм ва радиуси 3 см бўлган колбадан 95 Вт иссиқлик чиқазади. Шиша лампочканинг ички ва ташқи юзасидаги температуралар фарқи нимага тенг?
18. Деворнинг қалинлиги 1,5 см ва ўлчамлари 25 см х 35 см х 55 см бўлган мустаҳкам ёпилган пенополистирол яшикка солинган 0°C ҳароратдаги 8,2 кг муз қанча вақтда эриб кетади? Фараз қиламиз, яшикдан ташқаридаги ҳарорат 34°C тенг ва пенополистиролнинг иссиқлик ўтказувчанлиги ҳавоникидан икки баробар катта.

ФОТОЭФФЕКТ ҲОДИСАСИ

Режа

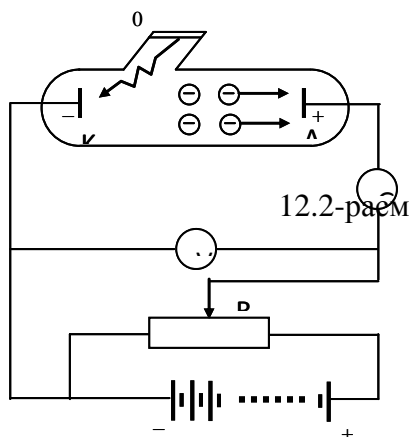
1. Фотоэффект ҳодисаси ва унинг қонунлари.
2. Эйнштейн формуласи.
3. Фотон. Фотонларнинг энергияси ва массаси.
4. Комптон эффекти.

Фотоэффект ҳодисаси ва унинг қонунлари. Фотоэффект деб нур таъсирида электронларнинг ўз атомларидан ёки молекулаларидан ажралиб чиқиб кетишига айтилади. Агар электрон жисмдан ташқарига чиқиб кетса, бундай жараён ташқий фотоэффект деб аталади. (1887 йилда Герц кашф этган ва 1888 йилда А.Г.Столетов экспериментда текширган). Агар электрон нур таъсирида ўз атомидан алоқани узиб чиқиб кетса-ю, лекин жисмнинг ичида қолса («Эркин» электрон сифатида), бундай жараён ички фотоэффект деб аталади (1873 йилда америкалик физик У. Смит кашф қилган).



Одатда ташқий фотоэффект металлларда кузатилади (12.1- расмга қаранг).

Металдан қилинган икки электрод (А – анод ва К - катод) ичидан ҳаво сўриб олинган трубка ичида жойлаштирилиб, катодга минус потенциал ва анодга плюc потенциал берилади. Бундай шароитда схемада ток пайдо бўлмайди, чунки занжир берк эмас. Агар 0 ойна орқали катодга ёруғлик тушурилса ундан электронлар отилиб чиқади ва анодга қараб йўналади. Натижада занжирда ток ҳосил бўлади (фототок). Бу схема фототок кучини (G гальванометр билан) анод ва катод ўртасига берилган V кучланишга ва 0 ойнадан тушадиган нур интенсивлигига қандай боғлиқ эканлигини текширишга имкон беради (12.2-расмга қаранг).



Тадқиқотлар фотоэффектнинг қуйидаги қонунлари борлигини кўрсатади:

1. Фототокнинг тўйинган қиймати $I_{\text{тўй}}$ (нур таъсирида металдан 1 сек ичида отилиб чиқаётган электронларнинг максимал сони) нур оқими Φ га тўғри пропорционал:

$$I_{\text{тўй}} = k\Phi \quad (12.1)$$

k – метал юзининг фотосезгирлиги деб аталади.

Φ – нур оқими деб бирор бир юзадан 1 сек ичида ўтадиган электромагнит энергиясига айтилади.

2. Фотоэлектронларнинг тезлиги нурнинг частотаси ошиши билан ортаборади, лекин нурнинг интенсивлигига боғлиқ эмас.

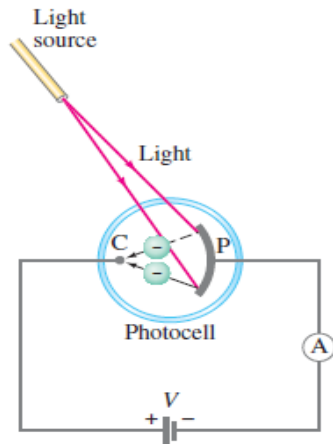
3. Нурнинг частотаси маълум «қизил чегара» деб қаралган қийматдан катта бўлсагина фотоэффект кузатилади ва бу ҳодиса нурнинг интенсивлигига боғлиқ эмас.

1905 йилда Эйнштейн томонидан махсус нисбийлик назарияси ишлаб чиқилди, Эйнштейн ўз ғояларини квант гипотезаси билан умумлаштириб ёруғлик назариясини янги талқинини ишлаб чиқди. Планк гипотезаси тебранувчи атом энергияси ҳисобидан жисм ўзидан квантланган энергия $E = nhf, n = 1, 2, 3, \dots$ нурлайди. Молекуляр тебраниш энергияси $E = nhf, n = 1, 2, 3, \dots$ бўлиб ўзидан ёруғлик чиқарса энергияси камайиб бошқа квант ҳолатга $E = (n - 1)hf, n = 1, 2, 3, \dots$ ўтади. Энергиянинг сақланиш қонунига асосан нурланган ёруғлик кванти энергияси

$$E = hf, \quad (12-2)$$

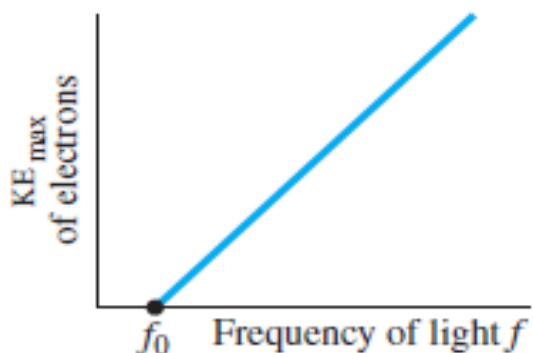
Барча ёруғлик радиацион манбалардан келиб чиқади, бу ғояга кўра ёруғлик заррачалар оқими ёки фотонлар деб аталади, тўлқин шартини бажарса Максвелл электродинамикаси орқали тушинтириш мумкин. Ёруғликнинг фотон назариясида классик ғоялардан кескин воз кечилди. Эйнштейн ёруғлик квант назариясига фотоэлектрик эффект устида олиб борган ўлчашларни таклиф этди. Қайсики, метал сиртига тушган ёруғлик метал таркибидан электронларни уриб чиқаради, бу ҳодиса фотоэлектрик эффект деб аталади. 12-3 расмда бу тажриба қурилмасини кўриш мумкин.

12-3 расм. Фотоэлектрик эффект



Метал қоплама P ва ундан кичикроқ метал қоплама C шиша трубкага жойлашган бўлиб уни фотоэлемент деб аталади. Электродлар расмда кўрсатилганидек амперметр орқали ЭЮК га уланган. Агар қоронғу бўлса амперметр нолни кўрсатади, аммо метал қоплама P га етарли частотадаги ёруғлик туширилса занжир орқали ток ўтаётганлигини кўриш мумкин.

Ёруғлик таъсирида электронлар учиб чиқиб C қопламага келиб тушади ва занжирдан ток ўта бошлайди. Ёруғлик таъсирида электронларнинг метал сиртидан учиб чиқишини ёруғлик электромагнит тўлқин назарияси орқали тушинтириш мумкин. Электр майдон кучи таъсирида электронлар метал сиртидан уриб чиқарилади. Эйнштейннинг таъкидлашича ёруғлик тўлқин назарияси ҳам фотон назарияси ҳам фотоэлектрик эффект турли металллар учун турлича бўлар экан. Мисол учун 12-4 расмда бир модда учун уриб чиқарилган электронларнинг максимал кинетик энергияси E_{max} ни ҳисоблаш мумкин.



20-4 расм. Кинетик энергия ва ёруғлик частотаси орасидаги боғланиш

Электродларга уланган ЭЮК ни йўналишини ўзгартириб ўлчаш ишларини олиб боориш мумкин, бу ерда Р-манфий, С-мусбат электродлар. ЭЮК нинг манфий кутбини Р электродга, мусбат кутбини эса С электродга уланса тез электронлар таъсирида кучланиш кам бўлса ҳам занжирдан ток ўта бошлайди.

Аксинча уланса занжирдаги ток нолга тенг бўлади, яъни электронлар етарли кинетик энергияги эришмайди. Бу тўхтатувчи потенциал, тормозловчи кучланиш дейилади.

$$E_{\max} = eU_0 \quad (12-3)$$

Энди эйнштейннинг фотон назариясидан тўлқин назариясига ўтамиз ва шу орқали ўрганамиз.

Ёруғликни тўлқин назариясида монохроматик ёруғликни оламиз. Ёруғлик тўлқини учун иккита асосий тушунча частота ва интенсивликни қабул қиламиз. Бу иккала катталиқнинг ўзгариши қуйидаги натижани беради:

1. Агар ёруғлик интенсивлиги катта бўлса, уриб чиқарилган электронлар сони ортади ва максимал кинетик энергияси ҳам ошади, агар электр майдон ортса электронлар сони ортади ҳамда уларнинг максимал тезлиги ошади.

2. Ёруғлик частотаси электронлар максимал кинетик энергиясига таъсир этмайди.

Ёруғлик фотон назариясида умуман бошқача талқин қилинади. Фотонлар интенсивлиги ортса фотонлар сони ортади, фотонлар сони ортса ҳар бир фотон энергияси ва частотаси ўзгармай қолади. A_{ch} – чиқиш иши дейилади. Агар $hf > A_{ch}$ бўлса электронлар метал сиртидан учиб чиқади ва кинетик энергия олади.

$$hf = A_{ch} + E_{\max} \quad (12-4)$$

Бу формула фотоэлектрик эффект учун Эйнштейн формуласи дейилади.

Агар ёруғлик интенсивлиги ортса уриб чиқарилган электронлар сони ортади, бунда ҳар бир фотон энергияси ўзгармайди, демак ҳар бир электрон максимал кинетик энергияси ҳам озгармайди.

1. Агар ёруғлик частотаси ортса электронларнинг максимал кинетик энергияси чизиқли ортади (12-4 расм).

2. Ёруғлик интенсивлиги қанча катта бўлмасин частотаси кам бўлса бирорта ҳам электрон учуб чиқмайди.

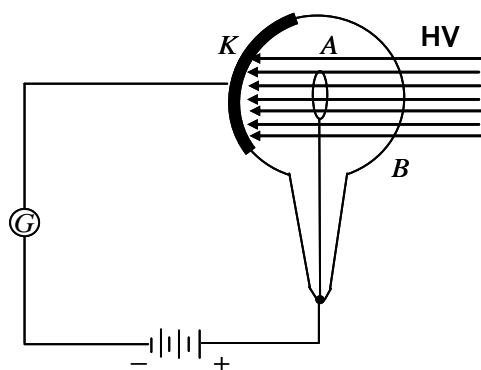
Бу фикрлардан қайсидир ёруғлик фотон назарияси бошқаси тўлқин назарияга асосланади. 1913-1914 йилларда Милликин бир неча тажрибалар ўтказди. Натижа эса тўлалигича Эйнштейннинг фотон назариясини тасдиқлади. Бошқа ўтказилган тажрибалар ҳам ёруғликни фотон назариясини тасдиқлайди. Агар ёруғлик интенсивлиги етарличи кичик бўлса кечикиш содир бўлади, электрон етарлича энергия ютгандан сўнг чиқиш

ишини бажариб электрон эмиссия кузатилади. Фотоннинг частотаси етарлича катта бўлса ҳеч қандай кечикиш бўлмайди, бу эйнштейн фотон назарияси орқали тўлиқ тасдиқланади.

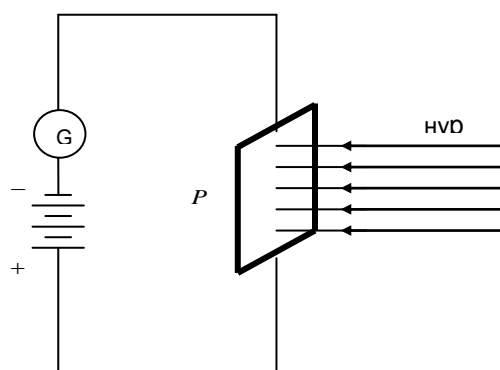
Жадвалда баъзи бир металллар учун «қизил чегара» тўлқин узунлиги λ_0 ва чиқиш ишлари A нинг қийматлари келтирилган:

Метал	λ_0 (мкм)	A (эВ)
Платина	0,235	5,29
Вольфрам	0,276	4,50
Рух	0,290	4,19
Торий	0,364	3,41
Натрий	0,552	2,25
Цезий	0,620	1,89
Вольфрам юзида цезий пленкаси	0,913	1,36

Фотоэффектга асосланиб ҳар хил қурилмалар ясалган. Улардан бири вакуум фотоэлементи(12.5-расмга қаранг). Ҳавоси сўриб олинган B баллоннинг ички юзасига метал пленкаси ётқизилса, у катод K ролини бажаради, металлдан қилинган ва баллоннинг марказига ўрнаштирилган ҳалқа A анод вазифасини бажаради. Агар катодга ташқаридан нур юборсак, ундан электронлар отилиб чиқади. Уларни анодга берилган мусбат потенциал ўзига тортади ва натижада фототок ҳосил бўлади.



12.5-расм

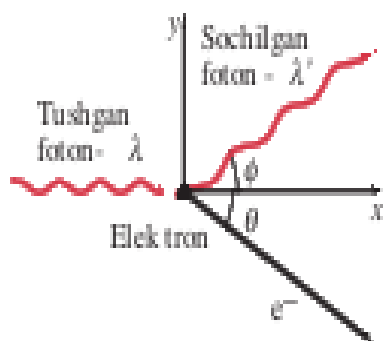


12.6-расм

Ички фотоэффект асосан яримўтказгичларда кузатилади. 20.6-расмда кўрсатилган схемада P – яримўтказгич пластинка бўлаб унга нур тушмаганда занжирда G орқали ўтайдиган ток жуда кичик бўлади, чунки яримўтказгичнинг қаршилиги анча катта. Лекин пластинкага нур тушса занжирда ток кескин равишда ортади. Бунинг сабаби шуки, яримўтказгичга нур тушганда у электронларни ўз атомларидан ажратиб эркин электронларга айлантиради ва натижада яримўтказгичнинг электр ўтказувчанлиги ортади (қаршилиги камаяди).

Комптон эффекти

Фотелектрик эффект ва йигирманчи аср бошларида ўтказилган бошқа тажрибалар фотон назариясини тасдиқлади. Комптон эффекти 1923 йилда А.Х. Комптон (1892-1962) томонидан кашф қилинган. Комптоннинг мақсади қисқа тўлқинли (Рентген нурлари) турли материаллардан ўтганда тирли бурчакларда сочилишини ўрганиш эди расм 12-7. Комптон сочилган тўлқин узунлиги тушган тўлқин узунлигидан катта ва энергия юқолишини топди. Комптон натижа фотон назариясига асосланади ва материал таркибидаги электронлар билан тўқнашади.



12.7-расм

Комптон эффекти

Комптон эффекти формуласи қуйидагича:

$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \phi) \quad (12-5)$$

Бу ерда m_0 – электрон массаси, $\frac{h}{m_0 c}$ – ёруғлик ўлчови ҳисобланиб электрон учун Комптон

тўлқин узунлиги дейилади. Тушган фотонлар қайтишда ϕ – бурчак остида сочилади. 20-5 формула Комптон томонидан 1923 йил ишлаб чиқилган. Тўлқин назарияси шуни кўрсатадики, тушган электромагнит тўлқин частотаси ва сочилган тўлқин частотаси бир-хил бўлади. Агар сочилган тўлқин бирор бурчак остида қайтса у ҳолда частота ўзгаради. Комптон эффекти ёруғликнинг фотон назариясини экспериментал асосини ташкил этади.

Комптон эффектидан суяк касалликлари остеопорозисни диагноз қилишда фойдаланиш мумкин. Қисқа тўлқинли гамма ва рентген нурланишли радиоактив моддалар суякда сочилади.

Сочилган нурланиш интенсивлиги электронлар зичлигига тўғри пропорционал, электронлар зичлиги суяк зичлигини бидиради, суяк зичлигининг камлиги остеопорозис касаллигидан дарак беради.

Фотон. Фотонларнинг энергияси ва массаси. Биз биламизки, Эйнштейннинг нисбийлик назариясига биноан, массаси ва энергияси ўзаро қуйидагича боғланган:

$$W = mc^2 \quad (12.6)$$

Бу формулани ёруғлик квантига ишлатамиз. Фотоннинг энергияси $W = h\nu$ бўлганлиги учун ёзишимиз мумкин:

$$h\nu = m_\phi c^2 \quad \text{ва} \quad m_\phi = \frac{h\nu}{c^2} \quad (14.5) \quad m_\phi - \text{фотоннинг массаси}$$

Фотоннинг тезлиги c бўлганлиги учун унинг импульси тенг:

$$m_\phi c = \frac{h\nu}{c} \quad (12.7)$$

Фотоннинг массаси жуда кичикдир. Оптик диапазондаги нур фотонининг массаси тахминан $\approx 4 \cdot 10^{-36}$ кг га тенг, лекин γ – нур учун унинг массаси $\approx 2 \cdot 10^{-30}$ кг га тенг ва электроннинг массасидан ҳам кўп. Демак, частотаси катта тўлқинларнинг (γ – ва ренген нурларининг)

фотонлари яхшигина заррачага ўхшаб қоладилар. Бундай фотонлар электронга сезиларли даражада туртки беришлари мумкин. Буни Комптон – эффектда кузатиш мумкин (20.7-расмга қаранг).

Фотон энергияси, массаси ва импульси ва электрон-позитрон жуфтлигининг ҳосил бўлиши

Фотон релятивистик зарра; у ёруғлик тезлигида ҳаракатланади. Фотоннинг массаси, импульси ва энергиясини махсус нисбийлик назарияси формулалари орқали

ҳисоблаш мумкин. Фотон массаси $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{g^2}{c^2}}}$ формула орқали аниқланади. Агар фотон

тезлиги $g = c$ бўлса массаси нолга тенг бўлади. Энергияси $E = mc^2$ чексиз, шу билан бирга фотон ҳеч қачон тинч ҳолатда бўлмайди, импульси эса $p = \frac{E}{c}$.

$E = hf$ дан фотон импульси ва энергияси орасидаги боғланиш $p = \frac{h}{\lambda}$.

Фотон энергия нурлайди ва электрон позитрон жуфтлигини ҳосил қилади. 20-8 расмда электрон ва позитроннинг туғилиши кўрсатилган. Бу жараён жуфтликларнинг туғилиши дейилади ва фотон йўқолиши кузатилади. Жуфтликларнинг туғилиш Эйнштейннинг $E = mc^2$ формласига тўлиқ тўғри келади. Диққат қиладиган бўлсак, фотон битта электрон ҳосил қилмайди бу зарядларнинг сақланиш қонунига зид келади.

Электрон-позитрон жуфтлигининг ҳосил бўлиши бўш фазода туғилмайди, бунда энергия ва импульс бир вақтда сақланмайди.

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Фотоэффект ҳодисаси, фотоэффект турлари, Столетов тажрибаси, Эйнштейн формуласи, фотоэффект қонунлари, қизил чегара тушунчаси, фотонлар, Комптон эффекти, электрон позитрон жуфти.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Фотоэффект қандай ҳодиса. Унинг қандай турлари мавжуд.
2. Фотоэффект кузатиладиган тажриба схемасини изоҳланг.
3. Фотоэффект қонунларини таърифланг.
4. Эйнштейн томонидан фотоэффект учун таклиф этилган ифодани ёзиб, тушунтиринг.
5. Ички фотоэффект қандай ҳодиса.
6. Фотоннинг массаси қандай аниқланади.
7. Комптон эффекти қандай ҳодиса.
8. Жисмларнинг энергия нурлантираётганлигини нима учун қоронғуда кўрмаймиз?
9. Нима учун совғачилар ноодатий ярқирайдиган эмас кундузи бриллиантларнинг жиловланишини афзал кўради?
10. Бир метал ўрнига бошқа метал олинганда фотоэффект натижасида тўлқин узунлик ошди. Бу икки метал чиқиш иши ҳақида нима дейиш мумкин?
11. Ультрабинфша нур терини куйдиради. Нима учун ёруғлик нури терини куйдирмайди?

12. Фотоэффект ҳодисасини тушинтиришда корпускуляр ёки тўлқин назария орқали тушинтиринг.
13. Нуқтавий ёруғлик манбаини қараймиз. Нуқтавий манбадан узоқлашган сари ёритилиш қандай ўзгаради? Бунини тўлқин, корпускуляр назария орқали тушинтиринг.
15. Электрон-вафотон фарқини тушинтиринг.

Амалий машғулот учун топшириқлар

1. Электроннинг металдан чиқиш иши 2.3 эВ бўлса ёруғлик энг катта тўлқин узунлигини аниқланг.
2. Барий учун чиқиш иши 2.48 эВ. Метал сирти тўлқин узунлиги 480нм бўлган ёруғлик билан нурлантирилган бўлса, чиққан электронларнинг максимал кинетик энергиясини ҳисобланг. Электроннинг тезлиги қанчага тенг бўлади?
3. Тўлқин узунлиги 480нм бўлган ултрабинафша нур метал сиртига тушмоқда. Бунда электронларнинг максимал кинетик энергияси 0.85 эВ. Чиқиш иши нимага тенг?
4. Энергия $E = 1.24 \cdot 10^{-6} / \lambda$ формула ёрдамида ҳисобланишини исботланг.
5. Интенсивлиги $1300 \frac{W}{m^2}$, тўлқин узунлиги 550нм бўлган Қуёш нурлари ер сиртига тушмоқда. $1sm^2 / s$ га неча фотон тўғри келади?
6. Метал таркибидаги электрон нурланиши натижасида тўлқин узунлиги 550нм бўлган ёруғлик нурлади. Агар метал сирти 480нм, 280нм бўлган нурлар билан ёритилган бўлса электронларнинг максимал кинетик энергиясини топинг.
7. Қуввати 100Вт бўлган лампа энергиясининг 3% ини ёруғлик нури кўринишида тарқатади. (550нм). Диаметри 4мм қрачиқ лампадан 10км узоқликда бўлса унга бир секундда неча фотон келиб тушади?
8. Метал сиртига 230нм тўлқин узунлигидаги нур тушиши натижасида кучланиш холдан 1.64В гача ошди. Чиқиш иши нимага тенг?
9. Рентген трубкасида электроннинг тормозланиши натижасида рентген нури ҳосил бўлади, рентген нури тўлқин узунлиги $\lambda_0 = \frac{hc}{eV}$ формула орқали ҳисобланишини исботланг.
10. $E_{\max} = eV_0$ формулани исботланг. Агар W_e – эмиттер учун чиқиш иши, W_k – коллектор учун чиқиш иши бўлса, $E_{\max} = eV_0 - (W_e - W_k)$ формула ўринли эканини исботланг.
11. Комптон эффектига мувофиқ 0.1нм тўлқин узунлигидаги фотон эркин электронга тўқнашиб тескари йўналишда қайтди. Энергиянинг сақланиш қонунига мувофиқ қайтган нур тўлқин узунлиги ва электроннинг кинетик энергиясини аниқланг.
12. Энергия ва импульснинг сақланиш қонунидан қайтган нур учун Комптон эффектига мувофиқ тўлқин узунлиги λ' қуйидаги формула орқали ҳисобланишини исботланг.

$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \phi)$$

Лаборатория иши

ФОТОЭФФЕКТ ҚОНУНЛАРИНИ ТЕКШИРИШ

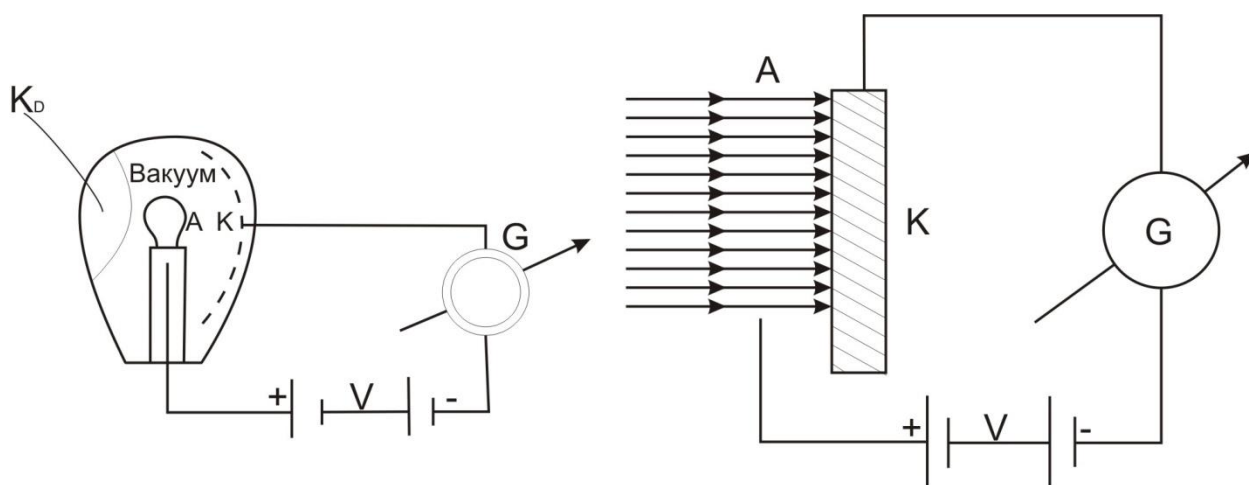
Ишининг мақсади: фотоэффект ходисасини физик мазмуни билан танишиш ва фотоэлемент хоссаларини ўрганиш.

Керакли асбоблар ва буюмлар: оптик таглик, эталон лампа, микроамперметр, фотоэлемент, лампали вольтметр, рангли фильтлар.

НАЗАРИЙ ҚИСМ

Ёруғлик таъсирида модда сиртидан электронларнинг уриб чиқарилишига фотоэлектрик ходисаси ёки ташқи фотоэффект дейилади. Учиб чиққан фотоэлектронлар туфайли вужудга келган (хосил бўлган) электр ток фототок дейилади. Ташқи фотоэффект асосан металлларда ва металл оксидларида кузатилади. Мазкур фотоэффектдан ички ва вентилли фотоэффектлар мавжуддир. Ички фотоэффект ярим ўтказгичларда ва диэлектрикларда кузатилади. Бунда электронлар ёруғлик энергиясини ютиб, валент зонадан ўтказувчанлик зонасига ўтади (боғланган ҳолатдан эркин ҳолатга ўтади).

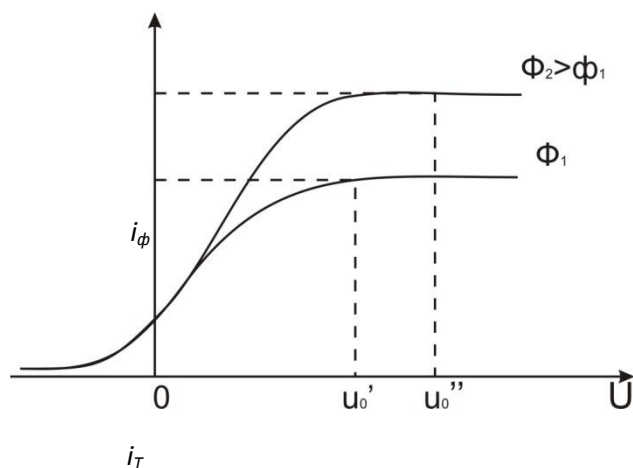
Икки тур электр ўтказувчанликка (электрон ва тешик ўтказувчанликка) эга бўлган ярим ўтказгичлар чегарасига ёки металл билан ярим ўтказгич чегарасига ёруғлик тушиши натижасида электр юритувчи куч пайдо бўлиш ходисаси вентилли фотоэффект дейилади. Фотоэффект ходисаси биринчи бўлиб рус олими А.Г.Столетов томонидан батавсил текширилган. Фотоэффектнинг қонуниятларини ўрганиш учун 1-расмда тасвирланган қурилмадан фойдаланилади.



1-расм

Анод ва катодга эга бўлган хавоси сўриб олинган шиша баллонинг деворлари ёруғлик ўтказмаслиги учун қорайтирилган. Ток манбаининг манфий кутби катодга уланган бўлиб, катодга ёруғлик фақат махсус кварц ойна билан қопланган дарча орқали

тушади. Ёруғлик таъсирида катоддан ажралиб чиққан электронлар катод анод оралиғидаги майдонда тезланиб анодга етиб боради. Натижада анод занжирида пайдо бўлган токни сезгир гальванометр G қайд қилади. Занжирдаги вольтметр V катод ва анод орасида кучланишни ўлчаш учун, реостат R эса бу кучланишни ўзгартириш учун хизмат қилади. Мазкур қурилма ёрдамида фототокнинг катод анод оралиғидаги кучланишга боғлиқлигини кўрсатувчи $I_{\phi}(u)$ график фототокнинг вольт ампер характеристикаси (ВАХ) дейилади. Тушуётган ёруғлик оқимининг икки қиймати учун ВАХ 2-расмда тасвирланган.



2-расм

ВАХ дан кўринишича, катод анод оралиғидаги кучланиш $U_{\phi 0}$ га тенг бўлгани ҳам фотоэлектронлар анодга етиб бориб фототокни ҳосил қилади. Кучланиш ортиб бориши билан фототокнинг қиймати ҳам ортиб боради, яъни анодга етиб бораётган фотоэлектронлар сони кўпайиб боради. Лекин анод катоднинг маълум бир кучланишдан бошлаб, берилган ёруғлик оқими учун фототокнинг қиймати ўзгармас бўлиб қолади. Фототокнинг бу қиймати тўйиниш токи дейилади. Катоддан ажралиб чиққан электронларнинг барчаси анодга етиб келиши натижасида пайдо бўлган ток қиймати тўйиниш фототоки дейилади. тўйиниш фототоки ёруғлик оқимига мутаносибдир, яъни қанча кўп ёруғлик тушса, шунчалик кўп электронлар ажралиб чиқади (2- расмда $\Phi_2 > \Phi_1$). Ёруғлик таъсирида катоддан ажралиб чиқаётган электронлар ҳар хил бошланғич тезликларга эга. Шунинг учун катод анод оралиғидаги майдон тормозловчи бўлганда ҳам (анод манфий катод мусбат потенциалга эга) анодга етиб келувчи электронлар мавжуддир. Тормозловчи майдон потенциал энергияси энг катта бошланғич тезликка эга электроннинг кинетик энергиясига тенг бўлган кучланишнинг қийматида фототок йўқолади, яъни анодга электронлар етиб келмай қолади. Кучланишнинг бу қиймати тўхтатиш кучланиши U_T дейилади:

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = eU_T \quad (1)$$

бу ерда $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл электроннинг заряди. Фототокнинг вольт ампер характеристикасини ўрганиш натижасида фотоэффектнинг қуйидаги қонунлари аниқланган:

1. Муайян фотокатодга тушаётган ёруғликнинг спектрал таркиби ўзгармас бўлса, фототокнинг тўйиниш қиймати ёруғлик оқимига тўғри мутаносибдир, яъни:

$$I_{\phi} = j \cdot \Phi \quad (2)$$

бунда I_{ϕ} фототок, j мутаносиблик коэффициентлари бўлиб, у фотоэлементнинг интеграл сезгирлиги дейилади, $[j] = \frac{\text{мкА}}{\text{люмен}}$; Φ - ёруғлик оқими.

2. Муайян фототокдан ажралиб чиқаётган фотоэлектронлар бошланғич тезликларининг максимал қиймати $V_{\text{мак}}$ ёруғлик интенсивлигига боғлиқ эмас. Ёруғликнинг частотаси ортиб бориши билан фотоэлектронларнинг максимал тезлиги ҳам ортиб боради.
3. Хар бир фотокатод учун бирор “қизил чегара” мавжуд бўлиб, ундан каттарок тўлқин узунликка эга ёруғлик таъсирида фотоэффект вужудга келмайди. $\lambda_{\text{к}}$ нинг қиймати ёруғлик интенсивлигига мутлақо боғлиқ эмас, у фақат фотокатод материалининг химиявий табиатига ва сиртнинг ҳолатига боғлиқ.
4. ёруғликнинг фотокатодга тушиши билан фотоэлектронларнинг ҳосил бўлиши орасида сезиларли вақт ўтмайди.

Юқорида зикр этилган қонунларнинг фақат биринчисигина ёруғликнинг электрмагнит тўлқин назарияси асосида тушунтирилади. Аммо қолган учта қонунни бу назария тушунтира олмайди. Фотоэффект ҳодисасини тушунтириш учун Эйнштейн М.Планк гипотезасидан фойдаланибгина қолмай, балки уни ривожлантирди, ҳамда унинг фикрига кўра: ёруғлик квантлар тарикасида нурланибгина қолмай, балки ёруғлик энергиясининг тарқалиши ҳам, ютилиши ҳам квантланган бўлади. Демак, металл сиртига тушаётган ёруғликни квантлар оқими деб тасаввур қилиш керак экан. Бунда хар бир ёруғлик кванти энергияси қуйидагига тенг бўлади:

$$\varepsilon = h\nu \quad (3)$$

ифодада ε ёруғлик кванти (фотон) энергияси, ν ёруғликнинг тебраниш частотаси, h Планк доимийси, у $6,62 \cdot 10^{-34}$ ж.с. Энергиянинг сақланиш қонуни қўллаб Эйнштейн фотоэффектни тушунтирди. Бунда металл сиртига тушаётган фотоннинг энергияси уларнинг ўзаро таъсирлашуви натижасида электрон энергиясига айланади. Агар шу энергия чиқиши катта бўлса ($\nu \cdot h > A$), фотоэффект рўй беради. Энергиянинг қолган қисми металлдан ташқарига чиққан фотоэлектроннинг кинетик энергиясига айланади. Шу фикрни математик тарзда қуйидагича ёзиш мумкин:

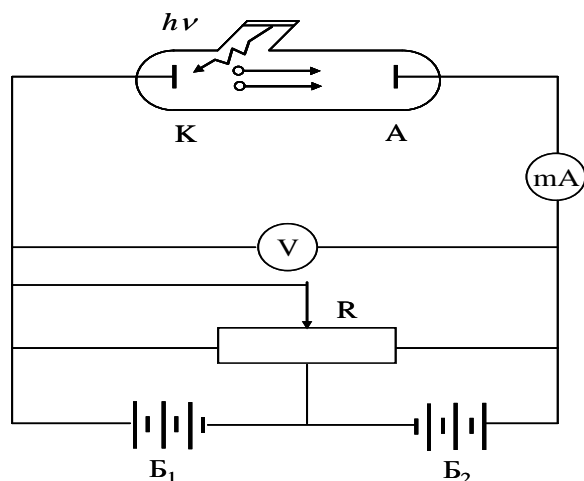
$$h\nu = A + \frac{m\nu_{\text{мак}}^2}{2} \quad (4)$$

ифодани фотоэффект учун Эйнштейн формуласи дейилади. Эйнштейннинг мазкур формуласи ёрдамида фотоэффектнинг барча қонунларини тушунтириш мумкин. 4 формулага кўра, фотоэффект рўй бериши учун

$$h\nu = A \quad (5)$$

бўлиши кифоя. Мазкур тенглик ёрдамида фотоэффектнинг қиизл чегарасини тушунтириш мумкин. Қизил чегара тушуётган ёруғлик фотоннинг частотасига боғлиқ бўлиб, унинг интенсивлигига асло боғлиқ эмас (интенсивлик деганда бирлик юзага тушаётган фотонлар

сони тушунилади). Кўпчилик металллар учун қизил чегара спектрнинг инфра қизил қисмида жойлашаган бўлади. Ишқорий металллар учун эса у ёруғликнинг кўринувчи қисмида жойлашганлиги туфайли фотоэлементларда фотокатод ишқорий металллардан ясалади. Фотоэффект асосланган қурилма фотоэлемент дейилади (3-расм).



3-расм

Ичидан хавоси сўриб олинган кварц шишадан ясалган баллон фотоэлемент баллони фотоэлемент қобиғини ташкил қилади. Баллон ичида халқа кўринишида металл сим кавшарланган бўлиб, у анод вазифасини бажаради. Шиша баллоннинг ички сиртининг бир қисми цезий elementi атомлари ёки бирор бошқа бир элементнинг оксидлари билан қопланган бўлади. Мазкур юпқа қатламга сим кавшарланган бўлиб, у шиша баллондан ташқарига чиқариб қўйилади. Бу сим эса ток манбаининг манфий қутбига уланади. Металлнинг юпқа қатлами катод вазифасини бажаради. Катодга ёруғлик оқими тушиши учун катод рўпарасида баллон деворида кичик дарча қолдириб, баллоннинг қолган қисми ёруғлик ўтқаймайдиган парда билан қопланади. Фотоэлементлар ҳозирги замон техникасида ва турмушда овозли кинода, фотоъелеграфда, узоқдан бршқа сисемаларда ва ҳ.к. ларда кенг қўлланилади.

Фотоэлементнинг сезувчанлигини ошириш учун баллон босими 1 Па атрофида бўлган инерт газ билан тўлдирилади. Фотоэлектронлар инерт газ атомларига ўралиб уларни ионлаштириши натижасида ток қиймати ортади. Бундай фотоэлементларда катод анод орасидаги кучланиш маълум қийматдан ортмаслиги керак, акс холда, газда мустақил газ разряди рўй бериб фотоэлементни ишдан чиқаради. Бу холда тўйиниш фототоки кузатилмайди.

Фотоэлементнинг хоссаларини текшириш

Ишни бажариш тартиби

1-машқ. Ёруғлик оқими ўзгармас (Φ_{const}) бўлганда фототок ($i_{\text{ф}}$) қийматининг анод кучланишига ($U_{\text{а}}$) боғлиқлигини текшириш.

1. Фотоэлемент оптик тагликда ёруғлик манбаидан $l \approx 15$ см узоқликда ўрнатилади.

2. Ёруғлик манбаига кучланиш берилади ва у тажриба давомида ўзгартирилмасдан сақланади.

3. Схема ўқитувчи томонидан текширилгандан сўнг УИПк1 (универсал ток манбаи) уланади. Потенциометр ёрдамида анод кучланиши 0 дан 150 В гача оширилиб борилади. Кучланиш 10 вольтдан оширилганида фототок қийматининг ўзгариши ўлчанади. Кейин тажриба тескари йўналишда амалга оширилади: кучланиш 150 дан 0 В гача камайтирилади. Бунда ҳам кучланишнинг ҳар бир 10 В га камайганида, фототок ўзгариши ёзиб борилади ва 1- жадвалга ёзилади.

№	l м	$U_{\text{а}}$ кучланиш ортганда (В)	$I_{\text{ф}}$ мкА	Кучланиш камайганда $U_{\text{а}}$ (В)	$I_{\text{ф}}$ мкА	$I_{\text{ф}}$, ўрт мкА
1						
2						
3						
4						
5						
6						

4. Абсцисса ўқига $U_{\text{а}}$ қийматини, ордината ўқига $I_{\text{ф}}$ ўрт. Фототок қийматини қўйиб, анод кучланиши билан фототок ўртасидаги боғланиш графиги чизилади.

2-машқ.

Ўзгармас кучланишда ёруғлик оқими билан фототокнинг

$I_{\text{ф}}$ боғланишини ўрганиш.

1. Фотоэлементга 150 В анод кучланиши берилади ва у тажриба охиригача ўзгартирилмасдан сақланади.
2. Фотоэлемент ёруғлик манбаидан 15 см дан 60 см гача узоқлаштирилади. Ҳар бир 5 см силшишга мос келган фототок $I_{\text{ф}}$ қиймати ёзиб борилади.
3. Фотоэлемент 60 см дан 15 см гача лампага яқинлаштирилади ва яна ҳар бир 5 см камайтиришдаги фототок $I_{\text{ф}}$ қиймати ёзиб борилади. Бунда лампанинг ёруғлик кучи $I_{\text{к}25}$ шам деб олинади
4. l нинг ҳар бир қиймати учун Φ нинг қийматлари $\Phi_{\text{к}}^{IS}/l^2$ формуладан ҳисоблаб топилади. Бунда S фотокатод юзаси (4 см^2), I лампанинг чўғлантириш кучланиши $U_{\text{н} \approx 220 \text{ В}}$ бўлгандаги ёруғлик кучи.
5. 2 формула ёрдамида фотоэлементнинг интеграл сезгирлиги (j) I нинг барча қийматлари учун ҳисобланади.

6. Олинган тажриба натижалари 2-жадвалга ёзиб борилади:

№	U (В)	l_1 узоқлаштриш (м)	l_2 яқинлаштриш (м)	I_{ϕ} l_1 да (мкА)	I_{ϕ} l_2 да (мкА)	I_{ϕ} ўрт. (мкА)	j $\frac{\text{мкА}}{\text{лм}}$	Δj
1								
2								
3								
4								
5								

7. Олинган маълумотлар асосида ёруғлик оқими (Φ) билан фотокток ўртасидаги боғланиш графиги чизилади. Графикдан фойдаланиб, бурчак тангенсининг қиймати хисобланади ва фотоэлементнинг сезгирлиги топилади ва тажрибадан олинган натижаси билан солиштирилиб кўрилади.

НАЗОРАТ УЧУН САВОЛЛАР

1. Ташқи ва ички фотоэлектрик ходисасини тушунтиринг.
2. Фотоэффект қонунларини таърифланг.
3. Планк формуласини ёзинг ва физик маъносини тушунтиринг.
4. Фотоэффект учун Эйнштейн формуласини ёзинг ва унинг физик маъносини тушунтиринг
5. Фотоэффектнинг қизил чегараси нима ва у қандай аниқланади?
6. Фотоэлементнинг сезгирлиги деб нимага айтилади ва у қандай бирликда ўлчанади? Фотоэлемент қандай тузилган?
7. Газ тўлдирилган фотоэлемент вакуумли фотоэлементдан нима билан фарқ қилади?

ВОДОРОД АТОМИНИНГ НУРЛАНИШ СПЕКТРИ.

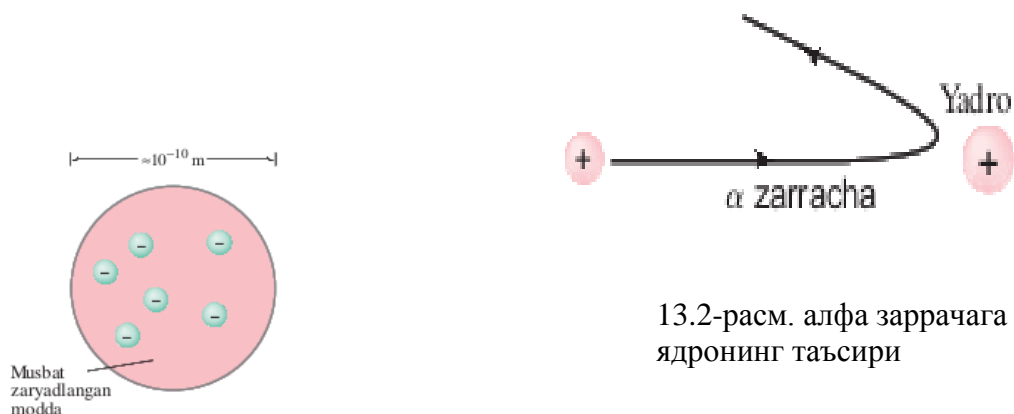
РЕЖА

1. Водород атомининг нурланиш спектри.
2. Резерфорд тажрибаси.
3. Атомнинг ядро модели.
4. Бор постулатлари.
5. Франк-Герц тажрибаси.
6. Лазерлар ҳақида тушинча.

XX-асрнинг бошларига келиб маълум бўлдики, ҳарқандай атом таркибига электрон кирар экан. Лекин нейтрал бўлганлиги учун электроннинг манфий заряди қандайдир бошқа заррачаларнинг мусбат заряди билан компенсация қилиниши керак.

Томсон модели. 1897 йилда инглиз физиги Ж. Томсон $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ га тенг манфий зарядланган ва массаси $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ бўлган, электрон деб аталувчи заррани кашф қилди. Тажрибалар, жумладан, атомларнинг ионлашуви бу зарранинг атом таркибига киришини тасдиқлади. Чунки электрнейтрал атом ўз таркибига кирувчи зарра – электронни йўқотганда ёки уни қўшиб олганда ионга айланади. Агар атом таркибида манфий зарядланган зарра – электроннинг манфийлиги маълум бўлса, у ҳолда атомда яна нима бўлиши мумкин, деган савол туғилди. Табиийки, электронларнинг зарядига тенг бўлган мусбат заряд мавжуд. Акс ҳолда атом электр жихатдан нейтрал бўлмас эди. Айнан шундай мулоҳазалар юритган Ж. Томсон 1903 йилда атомнинг тузилиши ҳақидаги ўз моделини таклиф қилди. Томсон моделига мувофиқ, атом массаси тескари тақсимланган $10 \cdot 10^{-10}$ катталиқдаги мусбат зарядлардан иборат шар сифатида тасавур қилинади 13.1-расм. Унинг учун эса ўз мувозанат вазиятлар (электронлар) мавжуд бўлиб, мусбат ва манфий зарядларнинг йиғиндиси ўзаро тенг. энди бу моделнинг тўғрилигини тескарисини унинг ичига нигоҳ ташлаш керак эди. Бошқа инглиз физиги Д. Резерфорд шу вазифани бажаришга бел боғлади.

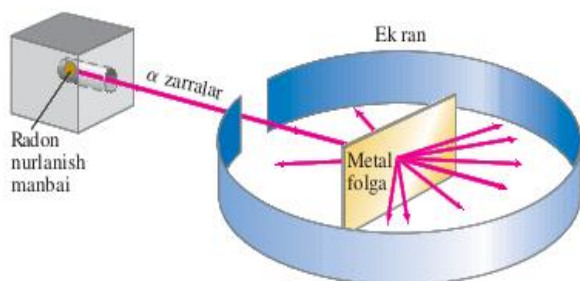
Жисмнинг атом тузилиши ҳақидаги тасаввурлар 1900 йилга келиб аксарият олимлар томонидан қабул қилинган. 1890 йилда электрон кашф этилгандан сўнг, физиклар атомни ички тузилишга эга электронларни эса унинг таркибий қисм сифатида тасаввур қилганлар 13.1. расм. Ушбу бобнинг қолган қисми ва кейинги бобда атом тузилиши ҳақидаги замонавий тасаввурлар эволюцияси ҳамда у билан ҳамбарчас боғлиқ квант назариясининг ривожланиши тўғрисида сўз юритилади.



13.2-расм. алфа заррачага ядронинг таъсири

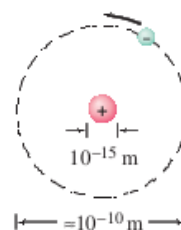
13.1-расм. Атомнинг Томсон модели

1911 йилда эрнест Резерфорд (1871-1937) ҳамкасблари билан бирга ўтказган тажриба натижалари Ж.Ж.Томсон моделини инкор этди расм 13.3. Ушбу тажрибаларда мусбат зарядланган альфа зарралар дастаси юпка металл (олтин) фолгага йўналтирилган. (Уша вақтга қадар топилган альфа зарралар бир қатор радиоактив моддалар томонидан чиқарилади. Кейинчалик альфа зарралар ионлашган гелий атомлари эканлиги аниқланди, $+2e$ зарядга эга). Томсон моделидан келиб чиққан ҳолда, альфа зарралар катта бурчакларга оғмаслиги керак, чунки электронлар алфа зарраларга нисбатан кичик массага эга ва альфа зарралар йўлида итариб юборадиган катта хажмдаги мусбат зарядларга тўқнашмайди. Резерфорд томонидан олинган экспериментал натижалар ушбу тасаввурларга зид бўлди 13-3 расм. Кўпгина альфа зарралар фолгадан эркин ўтган. Бошланғич ҳаракат йўналишидан оған альфа зарраларнинг бир қисми жуда катта бурчакларга, айрим ҳолларда 180 градус бурчаккача оғади. Резерфорднинг фикрича мусбат зарядланган альфа зарралар фақат фазонинг жуда кичик соҳасида мужассамлашган катта массали мусбат заряд туфайли содир бўлиши мумкин 13.4.расм.



13.3 расм. Резерфорд тажрибаси.

13.4расм. Атомнингпланетар модели



Резерфорд тахминича, атом атрофида бирор масофада жойлашган электронлар ва кичик лекин кучли мусбат зарядланган ядродан (атомнинг $99,9\%$ массаси тўпланган)

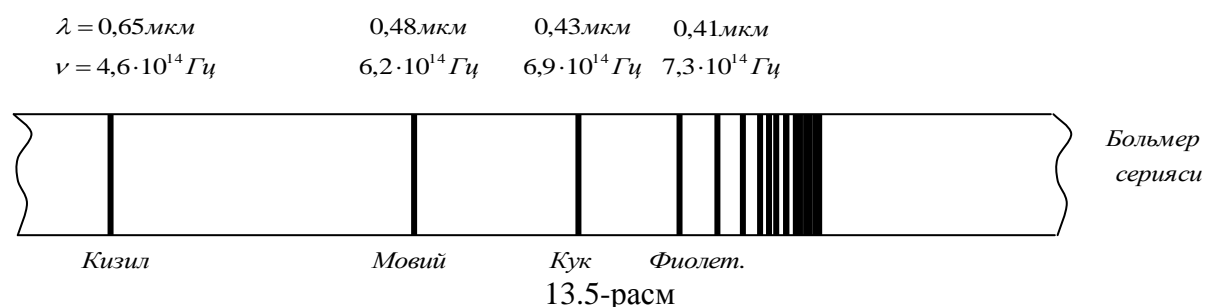
ташқил топган. Электронлар ядро атрофида айланиши керак эди (Куёш атрофида ҳаракатланадиган сайёралар каби), чунки ҳаракатда бўлмаса, электр тортишиш туфайли ядро устига тушар эди. Резерфорд ҳисобига кўра, ядро ўлчами 10^{-15} : 10^{-14} м тартибида бўлиши керак. Кинетик назарияга ва айнан эйнштейн томонидан ўтказилган броун ҳаракати анализига асосан атом ўлчами 10^{-11} деб баҳоланган. Бу шундан далолат берганки, электронлар ядродан 10000 дан 100000 ядро энигача масофада бўлиши керак, яъни атомнинг асосий қисмини бўш фазо ташқил этади.

Резерфорднинг планетар модели атом тузилиши ҳақидаги замонавий тасаввурлар йўлидаги муҳим қадам бўлди. Бироқ у такомиллашган модел эмас эди ва кейинчалик биз кўриб утадиган айрим муайян муаммолар ечими топилмаган.

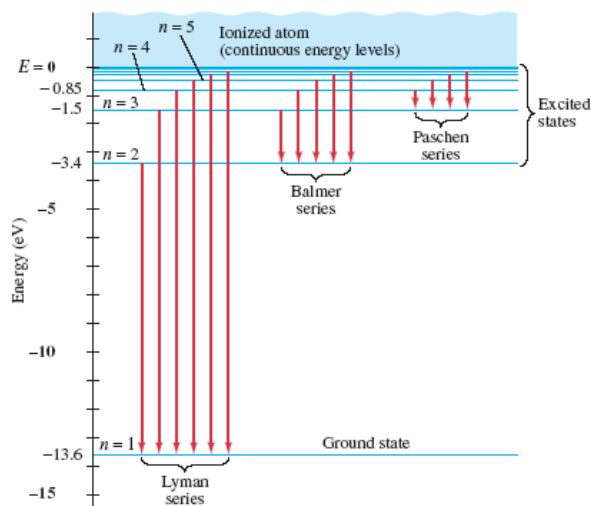
Лекин Резерфорднинг атом модели классик физика қонунларига зиддир. Электрон ядро атрофида тезланиш билан айланади, демак у узлуксиз равишда энергия чиқариб ядрога кулаб тушиши керак, бунда атомдан чиққан нур спектри ҳам узлуксиз ва кенг бўлиши керак. Лекин биз биламизки, атомларнинг спектри чизиқли бўлади. Текширишлар шуни кўрсатадики, ҳар бир газнинг ўзига ҳос спектри бўлади. Яна маълум бўладики, спектрал чизиқларни маълум группаларга (серияларга) бўлиб чиқиш мумкин экан. Мисол тариқасида водород атомининг нурланиш спектрини кўриб чиқамиз. 1885 йилда Швейтсария физиги Балмер бу спектрда оптик диапазонда қуйидаги серияни топди:

$$\nu = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right); \quad (n = 3, 4, 5, \dots) \quad (13.1)$$

$R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ сек}^{-1}$ - Ридберг доимийси. Бу формула сериядаги чизиқлар частотасини билдиради (13.5 расмга қаранг).



Водороднинг спектрида яна бир нечта серия бор. Улардан бирини 1906 йилда инглиз физик олими Лайман очди (ултрабинафша қисмда), бошқасини (инфракизил диапазонадагисини) 1908 йилда немис физиги Пашен очди.



Булар қуйидагилар:

$$\nu = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right); \quad (n = 2, 3, 4, \dots) \text{ - Лаймон серияси} \quad (13.2)$$

$$\nu = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right); \quad (n = 4, 5, 6, \dots) \text{ - Пашен серияси} \quad (13.3)$$

$$\nu = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right); \quad (n = 3, 4, 5, \dots)$$

Балмер серияси

Нурланиш спектрининг чизикли бўлиши атомларнинг энергияси маълум порциялар (квантлар) билан ютиш ёки нурлатишни билдиради. Демак, атом маълум (дискрет) энергетик ҳолатларда туради, у нур ютиш ёки нур чиқарса бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтади. Ана шу хулоса асосида 1913 йилда Дания физиги Н.Бор ўзининг атом тузилишининг квант назариясини яратди. Бу назария асосида 3 та постулат (Бор постулатлари) ётади:

1. Атомдаги электронлар маълум қийматли радиусларга эга орбиталарда ҳаракат қилиши мумкин.

Бу орбиталар стационар орбиталар деб аталади ва улар айланаётган электроннинг ҳаракат миқдорини моменти $\frac{h}{2\pi}$ га бўлинадиган қийматга эга.

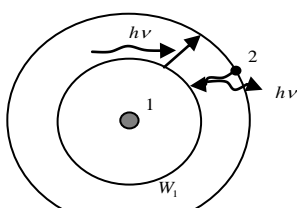
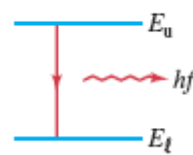
$$mvr = n \frac{h}{2\pi} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (13.4)$$

бу ерда m - электрон массаси, v - унинг тезлиги, r - орбита радиуси, n - квант сони, h - Планк доимийси.

2. Электронлар ўз орбиталарида айланиб турар эканлар улар нур ютмайдилар ҳам, нурлатмайдилар ҳам.

3. Электрон бир стационар орбитадан иккинчи стационар

орбитага ўтганда нур кванти ютилади (ёки нурланади).



Бу квант энергияси атомнинг шу икки орбитадаги

энергиялари W_1 ва W_2 ларнинг айирмасига тенг:

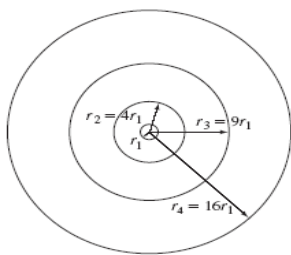
$$h\nu = W_1 - W_2 \quad (13.5)$$

Демак, атомнинг ютаётган ёки нурлатаётган ёруликнинг частотаси умумий ҳолда тенг бўлар экан:

$$\nu = \frac{W_{\Pi} - W_m}{h} \quad (13.6)$$

бу ерда $n > m$.

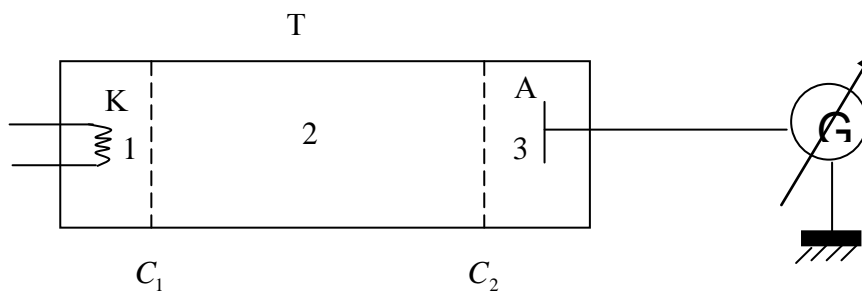
Бор посулотлари Резерфорднинг моделини сақлаб қолди ва унинг камчиликларини йўқотди.



13.6-расм

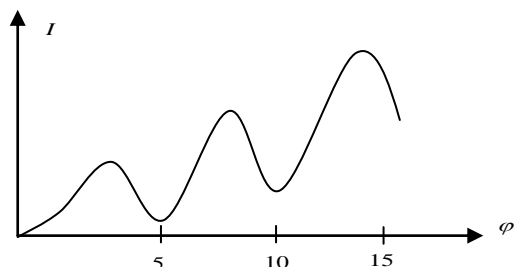
Франк – Герц тажрибаси.

Г. Герц 1913 йилда атомларнинг энергиялари дискрет қийматлари эга бўлишини тажрибада исбот қилдилар (13.7-расм).



13.7-расм

Т трубкадан ҳаво сўриб олиниб, унинг ичига кичик босмли (13 Па) симоб парлари киритилади. Трубка ичида К катод, иккита C_1 ва C_2 сетка ва А анод жойлашган. C_1 сеткага катоддан чиқувчи электронларни тезлатувчи потенциал берилади, анод ва C_2 сетка орасига 0,5 В га яқин кичик тормозловчи потенциал берилади. 1 – соҳада тезлатилган электронлар 2 – соҳага қириб симоб атомлари билан тўқнашадилар. Тўқнашгандан сўнг, энергиясининг кўпини йўқотмаган электронлар анодга етиб борадилар.



13.8-расм

Ноэластик тўқнашувда симоб атоми қўзалиши мумкин. Бор назариясига биноан атом дискрет энергияни ютсағниа қўзғалади. Агар ҳақиқатдан ҳам атомларда дискрет ҳолатлар бўлса, у ҳолда электронларнинг энергияси маълум қийматга эришганда симоб атомлари

энергияни ютиши мумкин. 15.6-расмда анод токининг тезлатувчи потенциалга болиқлиги кўрсатилган. Кўриниб турибдики, C_1 сеткада потенциал 4,86 В га етгунча ток ошиб боради, потенциал 4,86 В га етганда ток кескин равишда камаяди.. Бундай манзара потенциал қиймати 9,72 В ва 14,58 В бўлганда ҳам қайтарилади. Бунинг сабаби қуйидагича: 1-соҳада 4,86 В билан кучайган электронларнинг энергияси симоб атомини биринчи қўзғалган ҳолатга (орбитага) ўтказиш учун етарли бўлади ва атомга урилганда электронлар ўз энергияларини йўқотадилар ва уларнинг қолган энергиялари анодга етиб олиши учун етмайди, шунинг учун ток кескин камайиб кетади. Бу тажрибада Франк ва Герц биринчи марта атомларнинг дискрет энергетик ҳолатлари борлигини исбот қилдилар. Симоб учун 4,86 эВ – энг кичик ютилиши мумкин бўлган энергия квант эканлиги ҳам кўрсатилди. Бу тажрибада Бор назарияси ўзининг исботини топди.

ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯСИ

Кириш. Лазер – Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – (усиления света в результате вынужденного излучения) – Мажбурий нурланиш туфайли ёруғликнинг кучайиши – Олтин квант генератори.

Ёруғликнинг кучайиш ғалаёини А.Эйнштейн башорат қилган. Ёруғликнинг ўша пайтларида маълум бўлган ютилиш ва ўз-ўзидан нурланиш жараёнларидан ташқари яна резонанс квантлар чиқариш жараёни ҳам бўлиши кераклигини ва бу ёруғлик квантлари қўзғолон атом ёки молекула билан таъсирлашиб, ўзига мос квантли ёруғлик ҳосил қилиши мумкинлигини айтган ва шу туфайли ёруғлик квантлари қўзғолон атоми ёки молекула билан таъсирлашиб, ўзига мос квантли ёруғлик ҳосил қилиши мумкинлигини айтган ва шу туфайли ёриғлик кучайишини ҳисоблаб чиққан.

Квант системаларда ёруғликнинг ютилиши ва чиқарилиши.

Ёруғликнинг тўлқин табиатидан маълумки, у маълум бир частота ν ва тўлқин узунлиги билан таърифланади.

$$\lambda = c/\nu \quad (13.7)$$

c - ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги.

Электромагнит тўлқинлар частотаси кенг диапазонда бўлгани учун, уни одатда бир неча соҳаларга бўлинади.



13.9-расм. Электромагнит тебранишларни частота ва тўлқин узунликларининг спектрлари. З-товуш частотаси, ВЧ (ЮЧ)- юқори частоталар, СВЧ (ЎЮЧ)- ўта юқори

частоталар, ИК- спектрни инфракизил оралиғи, В- кўринадиган бўлими, УФ- ультрабинафшали спектр, Р- рентген нурланиши, γ-квантлар.

Электромагнит тўлқинларнинг энергетик характеристикаси – уларнинг электромагнит энергиясининг хажмий зичлиги ҳисобланади.

$$\tilde{\rho} = \int \rho_v d\nu = \frac{(E^2 + H^2)}{8\pi} \quad (13.8)$$

ρ_v – частотавий нурланишнинг хажмий зичлиги Дж/(см³Гц).

E ва H-тўлқиннинг электрик ва магнит майдонларининг ўрта квадратик кучланганлиги.

Электромагнит тўлқинларнинг модда таъсири унинг интенсивлиги I билан белгиланади. Электромагнит майдон ва I ўзаро қуйидагича боғланишга эга

$$E = \sqrt{\frac{4\pi I}{\epsilon}} = \alpha_0 \sqrt{I} \quad (13.9)$$

Одатда ёруғлик квант энергиясини $U=h\nu$ кўринишида белгилаш қулайроқ. h - Планк доимийси $6,6 \cdot 10^{-19}$ Дж. Бундай белгилашлар туфайли монохроматик ёруғлик интенсивлиги

$$I = h\nu n_p c \quad (13.10)$$

n_p -фотонлар зичлиги. У ҳолда спектрал зичлик

$$\rho_v = 8\pi\nu^2 kT / c^3 \quad (13.11).$$

Тажрибаларда бу ифода $h\nu < kT$ ($k=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/к; $T=300$ к) бўлгандагина тўғри бўлишини

кўрсатди (ν -жуда кичик) $\rho_v = \frac{8\pi\nu^2}{c^2} \cdot \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$ (13.12) формула эса барча ν ёки λ ларда

тажриба натижаларини жуда тўғри ифода этар экан (Планк формуласи).

А.Эйнштейн 1916 йили шу формулани квант тасаввурлар асосида исботлаш учун квант системаларда бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтишда одатдаги ўз-ўзидан ва нурланишсиз ўтишлардан ташқари мажбурий нурланишли ўтишлар бўлиши кераклигини айтди. Квант системаларда электромагнит тўлқинлари таъсирида мажбурий ўтишлар ҳам бўлиши мумкин.

Инверс тўлдирилган мухитлар ҳосил қилиш.

Лазерларда фотонлар ютилиш туфайли йўқолиши ва мажбурий нурланишда пайдо бўлишини ифодаловчи тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{dn_p}{dt} = c \frac{dn_p}{dx} = \sigma_2 c N_2 n_p - \sigma_{12} c N_1 n_p \quad (13.13)$$

N_1 ва N_2 - ϵ_1 ва ϵ_2 ҳолатлардаги заррачалар зичлиги. Аввалгиларни ҳисобга олиб

$$\frac{dn_p}{dt} = \sigma_2(N_2g_1 - N_2g_1)n_p = kn_p \quad (13.14)$$

кўринишида ёзиш мумкин. Бундаги

$$K = \sigma_2(N_2g_1 - N_2g_1) \quad (13.15)$$

актив муҳит коэффиценти дейилади.

$$n_p \sim I \text{ бўлгани учун } \frac{dI}{dx} = \sigma_0 k I \quad (13.16)$$

деб олиш мумкин.

$k > 0$ бўлса муҳитда барча ёруғлик кучаяди.

$k < 0$ бўлса яъни $N_2g_1 - N_2g_1$ да ёруғлик сусаяди.

Демак, ёруғликнинг кучайиши фақат N муҳитдаги энергетик сатҳларда термодинамик мувозанат бўлмаган, юқоридаги сатҳ пастдагига нисбатан кўпроқ тўлдирилган бўлганда вужудга келади. Бундай муҳит инверсион тўлдирилган муҳит дейилади.

Оптик усулда – ёруғлик ёрдамида ишчи қисмида оптик заррачалар юқориги сатҳга чиқарилади.

Газ разряд усулида – газ разряди ёрдамида заррачалар фаоллиштирилади ва улар бошқа заррачалар билан тўқнашиб инверс муҳит ҳосил қилади.

Газодинамик усул – юқориги ва пастки энергетик сатҳларнинг релаксация вақтлари ҳар хил бўлганда, қиздирилган жисм кескин кенгайтирилганда тўлдирилиш фарқи юзага келади.

Кимёвий усулда инверс ҳолат номувозанатий кимёвий реакциялар туфайли вужудга келади.

Квант кучайтиргичлар Мажбурий ўтишлар, бошқача қилиб айтганда электромагнит тўлқинларни кучайтириш демакдир. Лазерларни актив қисми бу асосан ёруғликни кучайтиргич бўлиб, ишлаш принципи электрон кучайтиргичга ўхшашдир. Бу кучайтириш асосан тўлқинни резонанс муҳитдан ўтганда юз беради. Муҳитни кучайтириш коэффиценти $0 < K$ ва бошланғич интенсивлик I_0 деб олсак, x масофани ўтишидаги

$$\frac{dI}{dx} = K(x)I(x) \quad (13.17)$$

I ни ортиши билан K ни ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда

$$\left(1 + \frac{I}{I_0}\right) = K_0 dx \quad (13.18)$$

$x=0$ да $I = I_0$ бўлган ҳолат учун интегралласак

$$\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) + \left(\frac{I}{I_s}\right) - \left(\frac{I_0}{I_s}\right) = K_0 x \quad (13.19)$$

бу тегламани $\left(\frac{I}{I_0}\right)$ ни ҳар хил қийматлари учун расмда келтирилган. Бундан кўринишича $I \ll I_0$, $I_0 \ll I_s$ ва мажбурий кучланиш заррачалар нисбатига сезиларли таъсир этмаётганда бу боғланиш экспотенциал характерга эга

$$I(x) = I_0 \exp K_0 x \quad (13.30)$$

Мажбурий ўтишлар эҳтимоллиги ($\propto I_s$) ни активлашган сатҳни синдириш эҳтимоллиги ($\propto I_s$) га нисбати билан белгиланувчи когерент нурланиш самарадорлиги бу ҳолда катта эмас. $\left(\frac{I}{I_s}\right)$ ни ортириш билан мажбурий нурланиш орта боради ва $I \gg I_s$ да кўзғатиш энергияси ($\sim I/(I+I_s)$) тўласи билан нурланиш энергиясига айланади.

Оптик квант генераторлар (лазерлар) Квант кучайтиргичдан фарqli равишда квант генераторлари нурланиш манбалари ҳам ҳисобланади. Оптик квант генераторлар индустирланган квант ўтишлари мавжудлиги натижасида ҳосил бўлган электромагнит тебранишларни кучайтирувчи мусбат қайта боғланишли ўз-ўзидан тебраниш тўлқинлари ҳосил қилувчи система (ёки лазер) ҳисобланади. Генерация учун зарур бўлган қайта боғланиш лазернинг актив муҳитини шу муҳит хусусиятларига мос ҳолдаги электромагнит тўлқинлар ҳосил қилувчи ҳақиқий резонаторга жойлаштириш йўли билан ташкил этилади. У ҳолда резонатордаги ички йўқотишлар $\chi \approx 2L_a\beta_0$

Бу системада тебранишлар ҳосил қилиш манбайи актив муҳитдаги заррачаларнинг кўзғалиши туфайли ўз-ўзидан нурланиш ҳисобига бўлади. Ҳосил бўлган квантлар актив муҳитда ўзига ўхшаган мажбурий электромагнит тебраниш квантларини вужудга келтиради. Резонатор чегараларидан қайтган нурлар бошқа мажбурий ўтишлар ҳосил қилиб квантларни кўпайишига олиб келади.

Қаттиқ жисмлар асосидаги лазерлар. Қаттиқ жисмлар лазерларда электроактив киришма атомлари мавжуд бўлса, уларни ионлари энергетик сатҳларини ёруғлик (оптик) нурлари ёрдамида инверс тўлдириш ҳосил қилинади. Қаттиқ жисмларда ўтиш элементлари ва нодир ер атомлари киришма атомларининг тўлмаган ички электрон қобикларининг бўлиши ва уларни энг сиртқи электрон қобиғи билан экранланган ҳолда бўлиши бу номларни инверс тўлдиришни осонлаштиради. Бундай лазерлар самарали ишлаши учун улар:

- Катта кучайтириш коэффициентига эга бўлиши;
- Оптик жихатдан бир жинсли;
- Механик мустахкам ва иссиқликка чидамли;

- Технологик ишловларга қулай;
- Оптик нурлаштиришга мойил;
- Катта ўлчамли актив қисмлар тайёрлаш имконига эга;
- Иссиқлик ўтказувчанлиги юқори бўлиши керак.

Бу талабларга жавоб берувчи актив элементлар сони чекланган бўлгани учун қаттиқ жисмли лазерлар турлари ҳам чекланган. Амалда кўпроқ рубин, ойна ва иттрий - амоминийли гранатдан ясалган лазерлар ишлатилади.

Яримўтказгичли лазерлар. Яримўтказгичли асосидаги лазерларда нурланиш электрон ва ковакларнинг рекомбинацияси туфайли юз беради. Бунинг учун яримўтказгич модда тақиқланган соҳасида энергия сатҳлари ҳосил қилиш керак. Бу сатҳларни инверс тўлдириш учун куйидаги усуллардан фойдаланилади.

1. р-п ўтишни тўғри йўналишда улаб ток ташувчиларни (киритиш) қилиш;
2. Яримўтказгични кучли когерент электронлар дастаси билан нурлантириш орқали кўзғотиш;
3. Ярим ўтказгични кучли когерент электромагнит ёруғлик квантлари билан кўзғотиш ~ оптик дамлаш;
4. Кучли электр майдони эффектидан фойдаланиб кўплаб ток ташувчиларни (лавинный) кўзғотиш ёки туннел ўтиш ҳосил қилиш; Амалда кўпроқ инжекция усулидан фойдаланилади.

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Атом спектрлари, Бальмер формуласи, Резерфорд тажрибаси, Резерфорд формуласи, Резерфорднинг атом модели, Бор постулатлари, Франк-Герц тажрибаси, лазерлар.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Водород атомнинг нурланиш спектри қандай хусусиятга эга.
2. Томсон модели.
3. Резерфорд тажрибасини тушунтиринг.
4. Резерфорд формуласи
5. Ундан қандай хулосага келиш мумкин.
6. Бальмер формуласи
7. Бор постулатларини таърифланг.
8. Лаймон ва Пашен серияси
9. Франк-Герц тажрибасини изоҳланг.
10. Бу тажрибадан ва Бор назариясидан қандай хулосага келинади
11. Макпоскопик ўлчамдаги кузатувда Планк диомийси қандай бўлади?
12. Резерфорд планетар моделида электроннинг ҳаракатини тушинтиринг.
13. Қуйидаги моддалардан қайсилари чизикли ёки узлуксиз спектр ҳосил қилади? Газ, суюқлик, қаттиқ жисм.
14. Ҳаводаги кислород нима учун ёруғлик чиқармайди?
15. Қуёшда кислород борми?
16. Хона температурасидаги водород газини нурланиши кузатилганда фақат Лайман сериясидаги ютилиш чизиклари кузатилади. Нима учун бошқа сериялардаги ютилиш чизиклари кузатилмайди?
17. Бор назарияси ва Резерфорд атом модели орасидаги фарқни кўрсатинг.
18. Гелий атомидаги иккита электрон ядрога яқин ёки узокда бўла оладими?
19. Нима учун водородда битта элестрон бўлсада спектрида жуда кўп чизиклар кузатилади?
20. Водород атоми спектри Балмер сериясида кузатилади, Лайман ва Пашен сериялари ҳақида нима дейиш мумкин?

АМАЛИЙ МАШҒУЛОТ УЧУН МАСАЛАЛАР

1. Резерфорд тажрибасида альфа заррачалар кинетик энергияси 4.8МэВ . Заррачалар олтин атоми ядросига қандай масофагача яқинлашиши мумкин?
2. Водород атоми ва электрон асосий ҳолатдан эластик тўқнашув бўлиши учун максимал кинетик энергиясини аниқланг.
3. Иккинчи Балмер серияси тўлқин узунлигини аниқланг.
4. Икки қарра зарядланган Литий учун ионизация энергиясини ҳисобланг.
5. Водород атоми учун ионизация энергияси берилиши учун қандай максимал тўлқин узунлигидаги ёруғлик билан нурлантирилиши керак?
6. Водород атоми учун биринчи ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтганда унинг массаси қанчага ўзгаради?
7. Водород атоми электрони асосий ҳолатда бўлгандаги кинетик ва потенциал энергияларини ҳисобланг.
8. Уйғонган водород атоми радиуси 1мм . Бор орбитаси ўлчами учун қандай квант сони тўғри келади?
9. Водород атоми электрони ва ядроси орасидаги гравитацион ва электр ўзаро таъсирларни ҳисобланг.
11. Водород атоми электрони ядроси билан фақат гравитацион ўзаро таъсирда бўлса, у ҳолда биринчи Бор радиуси нимага тенг бўлади.

МИКРОЗАРРАЧАЛАРНИНГ ТЎЛҚИН ТАБИАТИ

РЕЖА

1. Микрозаррачаларнинг тўлқин табиати.
2. Зарра-тўлқин дуализми.
3. Де-Бройл формуласи.
4. Электронлар дифракцияси.
5. Шреденгер тенгламаси.
6. Нанотехнология ҳақида умумий тушинча.

Бор назариясидан ҳам такоминроқ назарияни яратиш олимларни тўлқин техникаси билан боғлиқ ғояларга мурожат қилишга ундади. Бунинг асосий сабаби, нурланишнинг корпускуляр – тўлқин дуализмидир. Бизга маълумки, фотон тушунчаси киритилгандаёқ унинг энергияси ва частотаси орасидаги $E = h\nu$ муносабат ёзилиб, фотон мавжۇтлрттни ўзи бевосита дуализм билан боғлиқлигига асос солинган эди. Агар фотон шундай хусусиятга эга экан, унда бошқа зарралар, жумладан, электрон ҳам шундай корпускуляр – тўлқин дуализми хусусиятига эга эмасми, деган савол туғилади.

Унинг фикрича, нафақат фотон, балки электрон ва бошқа зарралар ҳам корпускуляр хоссалар билан бир қаторда, тўлқин хоссаларга ҳам эгадирлар.

Элементар заррачалар тўғрисидаги дастлабки тасаввурларимиз классик механика ва электродинамик кузатишлар натижасидир, бироқ атом тузилишини ўрганиш бу тасаввурларнинг етарли эмаслигидан дарак беради.

Француз олими Луи-де-Бройль (1923 й.) кўп йиллар давомида ёруғлик ходисаларни ўрганишда, унинг корпускуляр хусусиятларини эътибордан четда қолдирилгани каби, заррачаларнинг хоссаларини ўрганишда, тўлқин хусусиятларига назар қилмай, қайтадан хатога йўл қўймадикмикин? Корпускуляр-тўлқин дуализми нафақат ёруғлик фотонларигагина хос хусусият бўлмай, табиатдаги барча заррачалар (электрон, протон, нейтрон ва материянинг бошқа зарралари)га ҳам хос универсал хусусиятдир, деган ғояни илгари суради. Бу ғояга кўра, ҳар қандай микрообъектларга бир томондан тўлқинларга хос хусусият мос келса, иккинчи томондан корпускуляр хусусиятлар мос келади ва улар қўйидагича жадвалда кўрсатилган фундаментал катталиклар билан характерланади.

Корпускулалар

Энергияси: $E = h\nu = \frac{P^2}{2m}$

Импульси: $P = \frac{h\nu}{c} = k\hbar$

Массаси:
 $m = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{\hbar\omega}{c^2}$

Тўлқинлар

Частотаси: $\nu = \frac{E}{h} = \frac{mc^2}{h}$

Тўлқин узунлиги: $\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{2\pi\hbar}{P}$

Тўлқин сонни: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

Микрообъектларнинг бу икки корпускуляр-тўлқин хоссалари орасидаги микдорий муносабатларни қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

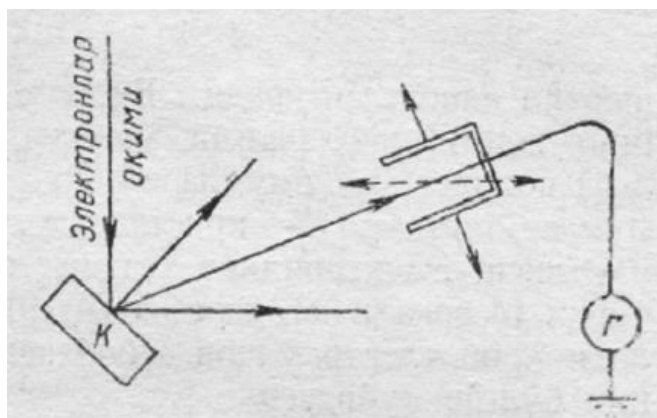
λ - де-Бройль тўлкин узунлиги деб юритилади. Тинч ҳолатда массага эга бўлган, тезлиги ёруғлик тезлигидан кичик заррачалар учун де – Бройль тўлкин узунлиги:

$$\lambda = \frac{h}{m\vartheta}$$

Шуни алоҳида қайд қиламизки, де-Бройль гипотезаси бутун сон марта квантлашган электрон орбиталарига стационар бўлади деб Бор назариясини асослаб берди.

$$\left. \begin{aligned} 2\pi r &= n\lambda_0 = n \frac{h}{m\vartheta} \\ m\vartheta r &= n \frac{h}{2\pi} = n\hbar \end{aligned} \right\}$$

Кўп ўтмай Джермер ва Дэвиссон (1927й.) никелнинг табиий кристаллидан сочилган электронларнинг дифракциясини кузатишга мувофиқ бўлдилар. Моноэнергетик электронлар оқими структураси олдиндан яхши ўрганилган никель кристаллига тушади. (14.1 –расм) Ҳар хил бурчак остида дифракцияланган электронлар махсус сезгир гальванометр орқали қайд қилинади.



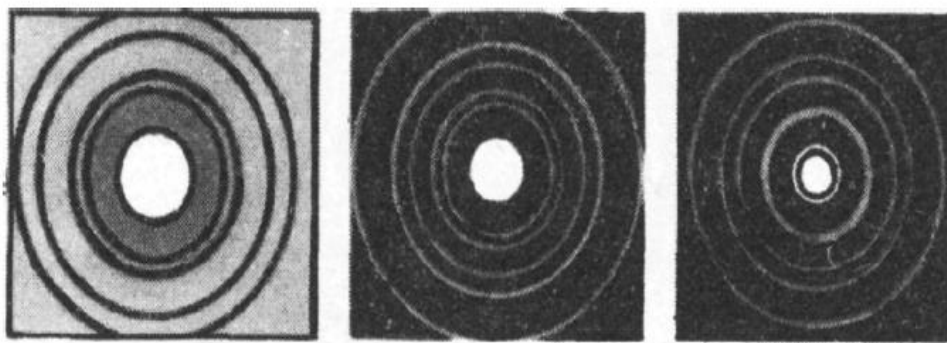
14.1. расм

Энергияси eU -бўлган майдонда тезлатилган электронлар учун де-Бройль тўлкин узунлиги

$$\lambda_D = \frac{h}{m\vartheta} = \frac{h}{m\sqrt{2\left(\frac{e}{m}\right)U}} = \frac{U}{\sqrt{2meU}} = \frac{12.25}{\sqrt{U}} \text{ \AA}$$

Потенциаллар айирмаси 54 В бўлганда де-Бройль тўлкин узунлиги $\Delta\lambda$, дифракцион тах шартига кўра, Вульф-Брег формуласидан олинган натижалар билан мос тушиб, де-Бройль гипотезасини нихоятда тўғри эканлигини тажрибада тасдиқланади. Джермер ва Дэвиссон сўнг, Тартаковский, Томсонлар электронларнинг қалинлиги 10-5 см

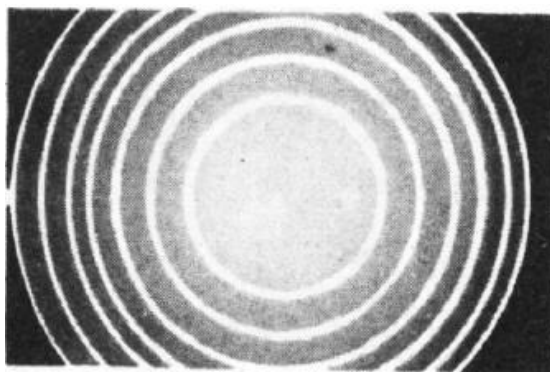
бўлган ҳар хил металллардан сочилишини Дебай-Шеррер усули билан кузатдилар. Рентген нурларининг алюминий пластинкадан (14.2а-расм), электронларнинг олтин (14.2б-расм) ва мис (14.2в-расм) пластинкалардан ўтганда дифракцион манзара тасвирланган.



14.2. расм а,б,в.

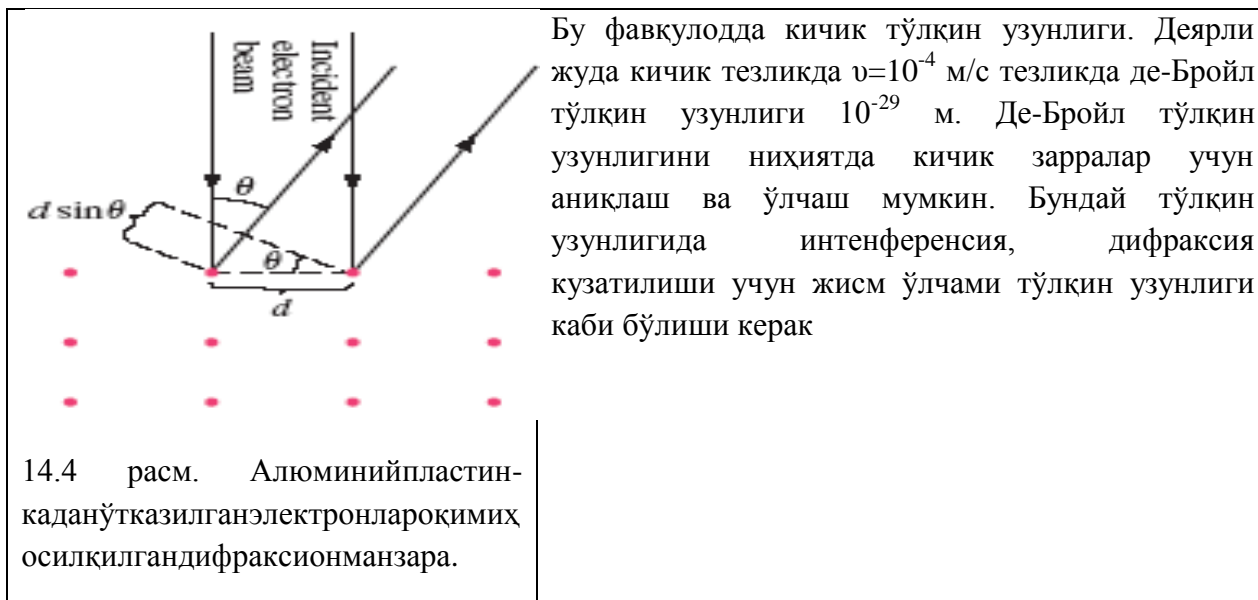
Фабрикант, Биверман ва Сушкинлар (1949й.) қурилма орқали кетма-кет ўтган

электронларнинг дифракция ҳодисасини кузатдилар. Узоқ экспозиция давомида олинган дифракцион манзара бошқа йўллар билан олинган (фотон, электронлар оқими ва хоказолар орқали) дифракцион манзаралардан мутлоқа фарқ қилмайди. (14.3 – расм)



14.3. расм

Бу эса тўлқин хусусият ҳар бир электронга хос эканлигидан дарак беради. Штерн ва унинг сафдошлари атом-молекулалар ҳам дифракция ҳодисасини вужудга келтиришини аниқладилар. Юқоридагилардан келиб чиқиб, моддаларни ташкил этган заррачалар, қарама-қарши (корпускуляр тўлқин) жиҳатларни умумлаштирган диалектик бирлик деган тўхтамга келамиз.



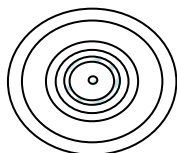
Агар тўлқин узунлиги 10^{-30} м дан кичик бўлса жисм ёки тиркиш ноаниқликка олиб келади, шунинг учун оддий жисмларнинг тўлқин табиатини аниқлаб бўлмайди.

Агар элементар заррача электрон ҳақида гапирилатган бўлса, унинг де-Бройл тўлқин узунлиги тахминан 10^{-10} м атрофида бўлади.

Кристалдаги атомлар орасидаги ўртача масофа ҳам 10^{-10} м атрофида бўлганлиги сабабли рентген нурланиши учун бу Кристал дифракцион панжара вазифасини бажара олади. Бу тажрибани К.Девиссон ва Л. Жермерлар амалга оширган. Шу йилларда Ж.П.Томсон бошқа тажрибадан фойдаланиб электронлар дифракциясини аниқлади (14.4 расм). Худди шундай кейинги ўтказилган тажрибаларда протонлар, нейтронлар ва бошқа заррачаларнинг тўлқин хусусиятига эга эканлиги намоён бўлди.

Шундай қилиб ёруғликнинг корпускуляр-тўлқин дуализми фақат ёруғлик учун эмас моддий жисмлар учун ҳам ўринли. Материя таркиби, шу билан бирга электронлар корпускуляр ва тўлқин кўринишга эга. Корпускуляр-тўлқин дуализми очикча намоён бўлмайди.

Қуйидагича савол туғилади: “Электрон нима?” Ж. Ж. Томсон томонидан ўтказилган тажрибада зарраларнинг магнит майдон таъсирида оғиши кузатилган. Бу тажрибадан олиган натижаларни таҳлил қилган ҳолда уларнинг манфий зарядли зарралар экани аниқланди ва уларга электрон деб ном берилди. Ҳеч ким электронни тўғридан-тўғри кўрган эмас. Фақат расмда электронларни манфий зарядли шарча сифатида қаралади.

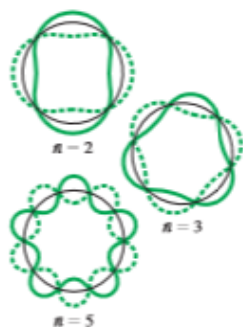


Электронлар корпускуляр ва тўлқин характерга эга шунинг учун электронлар тўлқин ва зарра хусусиятларини намоён қилади ва ўтказилган тажриба натижаларига қараб таркиби ҳақида гапириш мумкин. Бертран Рассел фикрича электрон бу мантиқий конструкциядир.

14.5-расм

Луи-Де-Бройл гипотезасининг атомларда қўлланилиши

Бор назарияси табиатда катта аҳамиятга эга. бор назарияси яратилгандан сунг 10 йил ўтгач де-бройл унинг асосларини кашф қилди. олдинги бўлимларда таъкидланганидек, де-бройл заррачаларнинг табиатда тўлқин хусусиятларини ҳам ҳамойиш қилишини тушинтирди ва бу тажриба натижаларига асосан мақуullanган 14.6.расм.



Электронларнинг тўлқин табиати бодород атоми учун бор назариясини тушинтириш имконини берди.

луи-де-Бройл заррача массаси m ҳаракат тезлиги v бўлса унинг тўлқин узунлиги учун қуйидаги формулани ёзиш мумкин

14.6.расм Айланада икки, уч ва беш тўлқинлар жойлашган. Бу ерда n -квант сонлар.

Де-Бройл ҳисоблашича атомдаги ҳар бир электрон кўндаланг тўлқин ҳосил қилади. 15-бобда кўрсатилгандек скрипка ёки гитарани чалганда ҳар хил тўлқин узунлигидаги тўлқинлар ҳосил бўлади. бу тўлқинлар тугуни охирида сўнмайди, улар ўзини гармоник резонанслар каби намоёиш этади. барча қолган тўлқинлар бир-бири билан интерференцияланади, амплитудаси кескин камаяди. Электронлар бор назарияси бўйича айлана бўйлаб ҳаракатланади, де-бройл назариясига кўра айланма кўндаланг тўлқин сифатида ҳаракатланади. агар тўлқин ёпиқ келса интерференция натижасида тўлқин тезда сўнади. орбитадаги тўлқин узунликлар бутун сондаги қийматларни қабул қилади. айланма бор орбитаси радиуси r_n бўлса айлана узунлиги $2\pi r_n$ бўлади.

$$2\pi r_n = n\lambda, n = 1, 2, 3, \dots$$

$$\lambda = h / m v \text{ ни ўрнига қўйсак, } 2\pi r_n = \frac{nh}{mv}, \text{ ёки } m v r_n = \frac{nh}{2\pi}$$

Асосан бу шарт энергия ва орбитанинг дискрет қийматларини қабул қилишини англатади. де-бройл гипотезаси бор моделида орбита ва ҳолатни квантланганлигини тушинтиради.

Бошқа томондан электронлар тўқин табиатда фақат резонанслаган кўндаланг тўлқин сифатида намоён бўлади.

демак, корпускуляр-тўлқин дуализми атом тузилишини яққол тасаввур этишда муҳум аҳамиятга эга.

Бор моделига кўра электрон айланма орбита бўйлаб ҳаракатланади. бошқа томондан, заррача айланма ҳаракатида амплитудали айланма тўлқин ҳосил қилади.

Водород ва бир электронли ион учун тажриба ҳулосасига кўра бор назарияси яхши тушинирилади. кўпелектронли атомлар учун бу назария мубаффақиятли эмас. бу муаммони ҳал қилишни кейинг бода кўриб чиқамиз. кейинги бобда элестрон қобиқ ҳақида сўз юритилади. бу янги назария- квант механикаси деб номланиб фундаментал механизмлари, асосий физик жараёнлар кўриб ўтилади.

Квант механикасининг бошланишида квант гипотезаси, молекуляр тўлқинларнинг квантланиши қисқа $E = h\nu$ қисқа бутун сон бўлиши билан изоҳланади: $E = nh\nu$ (н-бутун сон). бу гипотеза интенсивлик тақсимланиши, юқори температураларда қора жисм нурланиш спектрини тушинтиради.

Эйнштейн шундай ҳисоблайди: заррачаларнинг квант ёруғлик чиқариши ва ютилиши фотонлар деб аталади ва унинг энергияси $E = h\nu$ га тенг.

Эйнштейн ёруғликнинг фотон (корпускуляр) назариясини тажриба юли билан исботлаб фотоефект ҳодисасини кашф этди. фотон назарияси шуни тасдиқлайдики, ҳар бир фотон етарлича энергияга эга ва улар моддадан электронларни уриб чиқаради. учиб чиққан электронларнинг максимал кинетик энергияси тушаётган ёруғлик частотасига чизикли боғланган. ёруғликнинг фотон назарияси комптон эффектини исботлайди ва элестрон-позитрон жифтлигини туғилишини ҳам тушинтиради.

Корпускуляр-тўлқин дуализмидан шуни англаш мумкинки, ёруғлик ва модда ҳам тўлқин ҳам заррача хусусиятларини намоён қилади. моддий жисм тўлқин узунлиги $\lambda = \frac{h}{m\vartheta}$, бу ерда $m\vartheta$ – жисм импульсе дейилади. қўшилиш принципи тасдиқлайдики, ёруғлик табиатини тўлиқ анланса, материя тўлқин ва корпускуляр кўринишни бирга қабул қилади.

Авваламбор атомнинг томсон модели, сўнгра резерфорднинг планетар модели кашф қилинди. резерфорд тажрибасида алфа зарраларнинг олтин атомининг мусбат зарядли ядросига тўқнишуви натижасида тескари томонга оғиши кузатилгандан сўнг зарядланган ядро атрофида манфий ишорали зарядланган электронлар айланма орбита бўйлаб ҳаракатланиши маълум бўлди.

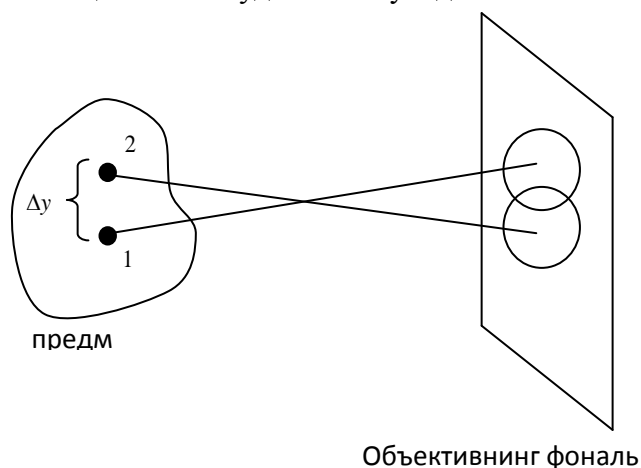
Атомнинг чизикли спектрини, атомнинг бор моделини тушинтириш учун постулатлар ишлаб чиқилди. 1) электронлар квантланган импульс моменти билан фақат аниқ орбитада ҳаракат қилиши мумкин. 2) электрон статсионар ҳолатда нур чиқармайди. 3) электрон нурлаган фотон энергияси бошланғич ва охириги ҳолатдаги энергиялар фарқига тенг. 4) электроннинг импульс моменти $L = nh/2\pi$ га тенг, бу ерда н-бутун сон бўлиб квант сони дейилади. де-бройл гипотезаси кўра квантланган бор орбитаси корпускуляр-тўлқин дуализмига асосланади.

Дифракция тўлқин жараёнларига тегишли хосса бўлганлиги сабабли, биз айтишимиз мумкинки, демак табитда электромагнит тўлқинлари билан бир каторда электрон тўлқинлари ҳам бор экан. Улар кристалларда, рентген нурлари каби дифракция берадилар. Шуниси диққатга сазоворки, рентген нурларининг дифракция учун чиқарилган Вулф-Брегг формуласи электронлар дифракцияси учун ҳам ишлар экан: дифракцион манзарага асосланиб Вулф – Брегг формуласидан топилган электрон тўлқиннинг узунлиги Де – Бройл формуласидан топилган тўлқин узунлигига тенг бўлиб чиқди. (16.1) формуладан электрон микроскопида ишлатиладиган электронларнинг тўлқин узунлигини топамиз. Бундай электронларнинг тезлиги тахминан 140000 км/с бўлади электроннинг

$$\text{массаси } m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg. У ҳолда: } \lambda = \frac{h}{m\nu} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ ж} \cdot \text{сек}}{9,1 \cdot 10^{-34} \text{ кг} \cdot 1,4 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{сек}}} \approx 5 \cdot 10^{-6} \text{ мкм}$$

Демак, электрон микроскопдаги электрон тўлқин узунлиги оптик микроскопдаги ёрулик тўлқин узунлигидан (0,5 мкм) 100000 марта кичик экан. Анна шунинг учун ҳам электрон микроскопнинг ажрата олиш қобилияти жуда катта бўлади.

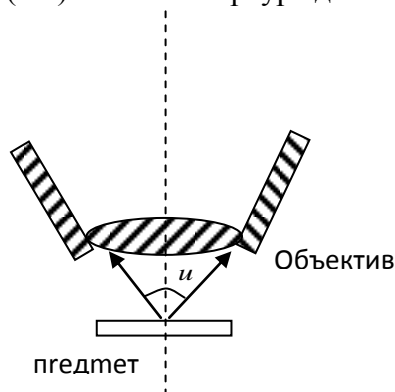
14.7-расм



Бир – бирдан алоҳида – алоҳида бўлиб кўринадиган икки нукта орасидаги минимал масофа Δy ажрата олинadиган масофа деб аталади. Оптик приборнинг ажратаолиш қобилияти деб $R=1/\Delta y$ қийматга айтилади. Микроскоп учун;

$$\Delta y = 0,61 \frac{\lambda}{n \sin \frac{u}{2}} \quad (16.2)$$

бу ерда n предмет ва объектив ўртасидаги муҳит синдириш кўрсаткичи, λ - тўлқин узунлиги, u - опертюра бурчаги, $\sin(u/2)$ - сонли опертюра деб аталади.

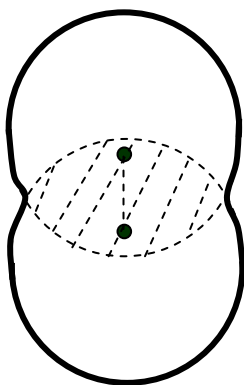


14.8-расм

Ҳар қандай оптик асбобнинг кириш тешиги объектив бўлади. Ана шу тешикдан предметдан келаётган тўлқин ўтганда дифракция ҳодисаси юз беради ва предметнинг ҳар бир нуктаси нукта бўлиб эмас, ёритилган диск ва унинг атрофида ёру ва қорону ҳалқалардан иборат манзара бўлиб кўринади. Агар кузатилаётган нукталар бир – бирига яқин бўлса, уларнинг дифракцион манзаралари (тасвирлари) (объективнинг фокал текислигида) бир – бирининг устига тушиши мумкин (14.8 расмга қаранг)

Предметнинг 1 ва 2 нукталари қачон бир – бирдан ажраган ҳолда кўринади? Бунинг учун уларнинг дифракцион тасвирларидаги ёру дисклари бир – бирларининг устига чиққан жойларининг размери диск радиусининг ўлчамларидан катта бўлиши мумкин эмас. Агар дискларнинг бир – бирини қоплаган жойларининг ўлчами диск радиусидан катта бўлиб қолса, у ҳолда микроскопда бу икки нукта бир – бирдан ажратилмайди, биз уларни битта яхлит нуктта сифатида кўрамиз (14.9 расмга қаранг).

Расм 14.9



Электрон микроскопда сонли опертур кичик бўлади у тахминан 0,05 га тенг. (16.2) формуладан фойдаланиб энди электрон микроскоп учун ажратиладиган масофа Δy ни топамиз:

$$\Delta y = 0,61 \frac{\lambda}{n \sin \frac{u}{2}} = 0,61 \frac{5 \cdot 10^{-12} m}{0,05} \approx 6 \cdot 10^{-11} m = 6 \cdot 10^{-9} sm = 6 \text{ \AA}$$

(оптик микроскоп учун $\Delta y \cong 3000 \text{ \AA}$).

Биламизки атомнинг размери $1 \div 1,6 \text{ \AA}$ атрофида, демак электрон микроскопда атом ва молекулаларни алоҳида – алоҳида қилиб кўрсатиш мумкин. Умуман олганда де – Бройл тўлқинлари ҳар қандай микро ва макрозаррачаларга тегишлидир. Лекин, агар жисмнинг массаси катта бўлса, бу тўлқинларнинг узунлиги шу қадар кичик бўладики, уларни ҳатто сезиб ҳам бўлмайди. Масалан, массаси $m = 9 \text{ г}$ ва тезлиги $v = 400 \frac{m}{s}$ бўлган ўқнинг де – Бройл тўлқинининг узунлиги баробар бўлади.

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34}}{9 \cdot 4 \cdot 10^{-1}} \approx 2 \cdot 10^{-34} m$$

Бундай тўлқин узунлигини табиатда ҳеч қандай асбоб билан ўлчаб бўлмайди, ўқ эса ўзининг тўлқин хоссасини ҳеч қандай намоён қилаолмайди.

Шредингер тенгламаси. XX асрнинг бошларида атом дунёсининг ичида бўладиган жараёнларни классик физика (Ньютон механикаси) ифодалаб (тушунтириб) бераолмаслиги маълум бўлди. Микрозаррачаларнинг бир пайтда ҳам тўлқин ҳам корпускуляр хоссага эга бўлишини классик физика тушунтириб бераолмади.

Микродунёдаги жараёнларни тўғри тушуниш учун микрозаррачаларнинг харакатига эҳтимоллик нуктаи назардан қараш қабул қилинади. 1927 йилда В. Гейзенберг шундай фикрга келди: микрозаррачаларнинг координатасини ва импульсини бир пайтда бир хил аниқлик билан аниқлаш мумкин эмас. Гейзинбергнинг ноаниқлик муносабатига биноан микрозаррача бир пайтда аниқ координата ва аниқ импульсга эга бўлиши мумкин эмас, уларнинг ноаниқлиги қуйидаги муносабатга бўйсунди.

$$\begin{aligned} \Delta x \cdot \Delta P_x &\geq h \\ \Delta y \cdot \Delta P_y &\geq h \\ \Delta z \cdot \Delta P_z &\geq h \end{aligned} \quad (16.3)$$

(16.3) формулани бошқача ёзамиз; $\Delta x \cdot \Delta v_x \geq \frac{h}{m}$

Демак, масса қанчалик катта бўлса координата ва тезликнинг ноаниқлиги шунчалик кичик бўлиши мумкин, демак бу заррача троектория тушунчасини шунчалик катта

аниқлик билан ишлатиш мумкин. Мисол учун массаси $m = 10^{-12} \text{ kg}$ ва размери 10^{-6} m бўлган заррачани олайлик. Унинг координатаси размерининг 0,01 қисмига тенг аниқлик билан берилган бўлсин ($\Delta x \approx 10^{-8} \text{ m}$). Унда тезликнинг ноаниқлиги

$\Delta v_x = \frac{h}{m\Delta x} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34}}{10^{-8} 10^{-12}} = 1,6 \cdot 10^{-14} \text{ m/s}$, демак ноаниқлик жуда кичик ва у заррачанинг аниқ траектория бўйича қиладиган ҳаракатига таъсир қилмайди.

Микрозаррачаларнинг тўлқин табиатини ҳисобга олиб 1926 йилда М-Борн уларнинг ҳаракатини тўлқин функцияси билан ифодалашни таклиф этди.

Тўлқин функцияси $\Psi(x, y, z, t)$ заррачанинг корпускуляр ва тўлқин хоссалари ҳақидаги ҳамма информацияни ўз ичига олади. Заррачанинг бирор dv ҳажмда эҳтимоллиги тенг бўлади:

$$dW = |\Psi|^2 dv \quad (16.4)$$

Физик маънога тўлқин функциянинг ўзи эмас, унинг модулининг квадрати эга бўлади:

$$|\Psi|^2 = \Psi\Psi^*$$

1926 йилда Э.Шредингер микрозарраларнинг ҳаракатини ифодаладиган тўлқин тенгламасини таклиф этди:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \Psi + U(x, y, z, t) \Psi = i\hbar \frac{d\Psi}{dt}$$

бу ерда $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, m -заррача массаси, Δ -Лаплас оператори $\left(\Delta \Psi = \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} \right)$ i –

мавҳум сон $= \sqrt{-1}$; $U(x, y, z, t)$ - заррачанинг тортишиш майдонидаги потенциал энергияси.

Тўлқин функциясини қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$\Psi(x, y, z, t) = \Psi(x, y, z) e^{i\left(\frac{E}{\hbar}\right)t}$$

У холда $\Psi(x, y, z, t)$ учун Шредингер тенгламаси стационар ҳолатлар учун қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$\Delta \Psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \Psi = 0 \quad (16.5)$$

Бу тенглама ҳолатлари вақтга боғлиқ бўлмаган ҳарқандай заррачаларнинг ҳаракатини ифодалайди.

Нанозаррачаларнинг физик хоссалари

Илмий адабиётда кўпинча «нанозаррача» сўзининг ўрнига «кластер» сўзи ишлатилади. Кластер деганда икки ёки ундан кўп молекулалар бирлашиб ҳосил қилинган структурани тушунилади. Кластер кичик бўлиши ҳам, ёки гигант масштабда ҳам бўлиши мумкин, унинг ўлчами 1 нм дан 1000 нм гача бўлиши мумкин. Кластерларнинг турлари кўп бўлади, уларга мисол сифатида фуллерен молекулаларини ва нанотрубкаларни келтириш мумкин. Бу китобчада биз «нанозаррача» сўзи билан иш кўрамиз, нанотехнологиянинг фундаментида ётган қонунларни ўрганиш учун шу сўз бизга етарлидир, лекин керак бўлганда «кластер» сўзи ҳам ишлатилади.

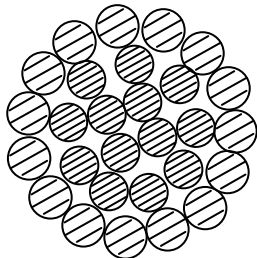
Нанозаррачаларнинг ўзига хос (специфик) хоссаларга эга бўлишининг сабаблари кўп, биз уларни икки гуруҳга бўламиз:

1. Нанозаррачаларнинг очик юзаси ва бир жинсли бўлмаган материалларни ажратиб турувчи чегара юзасининг катта роли

2. Модданинг атом – молекуляр тузилишида дискретлиликнинг яққол намоён бўлиши ва наноҳажмда ўлчамли квант эффектлари

Нанозаррачалар юзасининг роли

Заррачани шарча деб қарасак, унинг юзасидаги юпқа қатламдаги атомлар сонининг улуши α заррачанинг радиуси камайган сари ошаверади, чунки:



$$\alpha \approx \frac{S}{V} \approx \frac{R^2}{R^3} = \frac{1}{R} \quad (\text{С-заррачанин юзаси, В- унинг ҳажми, Р-унинг радиуси})$$

Бундан ташқари яна биламиз-ки, юзадаги атомларнинг хоссалари модда ичидаги (ёки ҳажмдаги) атомларнинг хоссаларидан фарқ қилади, чунки бу атомлар атрофдагилар билан ҳажмдагиларга қараганда бошқачароқ боғланган: юза атомлари бир тарафдан, ҳажм атомлари эса тўрт тарафдан боғланган.

Юзадаги атомлар боғларининг бир қисми бўш (эгалланмаган) бўлганлиги учун атомлар орасида реконструкция юз бериши ва у ерда бошқача тартиб ўрнатилиши мумкин. Юзада яна атроф муҳитдан ютилган атом ва молекулалар, оксид пленкалар бўлиши мумкин.

Агар атом нанозаррачанинг қиррасида, чуқурлик ёки дўнг жойида жойлашса (у ерларда координатон сон кичик бўлади), у ҳолда бу заррачанинг кимёвий ва каталитик фаоллигини оширади.

Электронларнинг очиқ юза билан таъсирлашуви юзада махсус юза ҳолатларини (Тамм ҳолатларини) келтириб чиқаради, дефектларнинг таъсирлашуви эса тақиқланган зонада локаллашган электрон ҳолатларини юзага келтиради.

Айтилганлар ва яна бошқа сабаблар юзадаги юпқа бир қатламни модданинг янги бир ҳолати деб аташга фундаментал асос бўлаолади. Қаттиқ жисмнинг юзасини ўзига хос алоҳида бир дунё деб аташ мумкин, унда қаттиқ жисм хоссаларидан ташқари яна суюқлик ва газ хоссалари ҳам намоён бўлиши мумкин. Яна шуни айтиш керак-ки, заррачанинг юзи унинг ичидаги дефектларни ўзига тортиб олиш хусусиятига эга, бошқача айтганда юза ҳажмдаги дефектларни ўзига тортиб (сўриб) олиш кучига эга, у шу билан заррача ичини дефектлардан тозалайди, уни янада такомиллаштиради.

Заррачанинг юзаси ҳақида гап юритилар экан, унинг хоссаларини белгилаб берадиган процесс ҳақида – унсур атом ва молекулаларнинг адсорбцияси ҳақида ҳам алоҳида айтиб ўтишимиз керак. Биламиз-ки, монокристалларнинг тоза юзаси юқори вакуумда олинади.

Агар юзадаги монокатламда $10^{15} \frac{\text{ат}}{\text{см}^2}$ та атом бор десак, оддий шароитда адсорбция қилинган атомларнинг монокатлами деярлик бир зумда ҳосил бўлади. Газларнинг кинетик назариясига кўра, Р босимда 1 см^2 юзага 1 сек ичида М массага эга бўлган газ атомларининг урилишлар сони қуйидаги ифода билан аниқланади

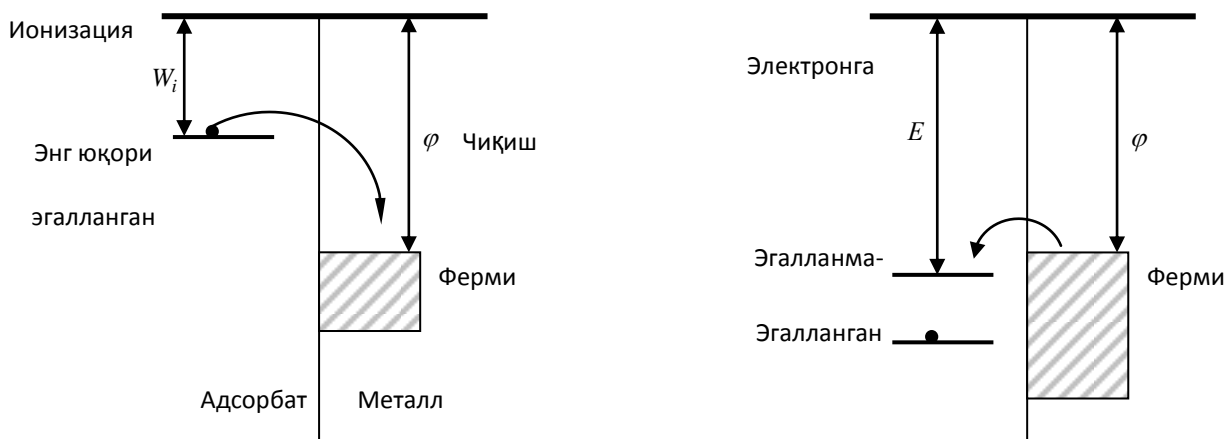
$$N = \frac{P}{\sqrt{2\pi M k T}}$$

Бу ерда k – Больцман доимийси. Хона хароратида $H=2 \cdot 10^{19} \text{ П/М}^{1/2} \text{ см}^2 \text{ сек}^{-1}$. Агар босимни $P=10^{-6} \text{ Па}$ (10^{-8} Торр) ва $M=20 \div 30$ деб ҳисобласак юза $10^2 \div 10^3$ секунд ичида бир моноқатлам газ қатлами билан қопланар экан. Демак, вакуумни янада чуқурроқ қилинса, масалан 10^{-9} торр қилинса, бундай босимда бир неча ойлар давомида адсорбция кузатилмаслиги мумкин.

Адсорбция икки турли бўлади – физикавий ва кимёвий. Физикавий адсорбцияда молекулалар юза билан Ван –дер –Ваальс кучлари билан боғланадилар, кимёвий адсорбцияда (хемосорбцияда) – кимёвий реакциялар ёрдамида. Адсорбция бўлаётган атом юза билан электрон алмашилиб ионизация бўлиши мумкин (расм 14.10):

Зоналар назарияси бўйича, агар атомнинг электрон билан эгалланган энергетик ҳолати қаттиқ жисмнинг Ферми ҳолатидан юқори бўлса, атомдаги электрон қаттиқ жисмга ўтади ва атом мусбат ионга айланади. Лекин атомнинг эгалланмаган ҳолати Ферми ҳолатидан пастроқ бўлса, у ҳолда электрон қаттиқ жисмдан атомга ўтади ва у манфий ионга айланади. Бундай процессларнинг эҳтимоллиги атом ва қаттиқ жисм ўртасидаги барьернинг баландлигига боғлиқ.

Кластерларнинг (нанозаррачаларнинг) кўпгина хоссаларини анализ қилишда оддий термодинамик модель уларнинг бир қанча муҳим хоссаларини чуқурроқ тушунишга имкон бериши маълум. Биз бу ерда термодинамиканинг нанокластерларни ўрганиш учун керак бўладиган энг минимал тушунчалари ҳақида информация бериб ўтамыз.

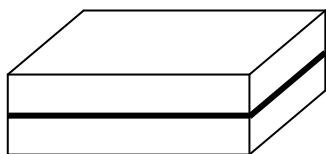


Расм 14.10. Адсорбция бўлаётган атомнинг энергетик ҳолатлари.

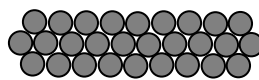
Квантавий ўлчам эффектлар ва асосий наноматериаллар.

Агар нанозаррачадаги атомлар сони чегараланган бўлса, дискретликнинг заррача хоссаларига бўлган таъсири яққол сезилади. Бундай заррачаларга классик назария билан ёндашиб бўлмайди. Шу билан бирга атомлар орасидаги кичик масофа ва ўзаротаъсир эркин атом назариясини ҳам қўллашга имкон бермайди. Атомларнинг бир коллектив бўлиб таъсирлашиши нанозаррача хоссаларининг атомлар сони N га боғлиқ бўлиб қилишига олиб келади. Кўпинча атомлар сони маълум «сехрли» сонларга тенг бўлганда электр, оптик, кимёвий ва бошқа хоссаларда «резонанс» (кескин) ўзгаришлар юз беради. Масалан, металлларнинг гексагонал – марказлашган кристаллида бу «сехрли» N сонлар қуйдаги қаторни ҳосил қилади: 1, 13, 55, 147, 309, 561 ва ҳ.к. Ҳар бир цифра тўғри шаклли ва устки қатлами тўлган заррачани билдиради. Бундай заррачалар одатда турғун бўлади ва тез – тез учраб туради.

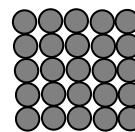
Кичик ўлчам ва кичик температурада ўзига хос квант ўлчам эффекти кузатилади. Улар квант ўраларда, квант симларда, квант халқаларда, квант нуқталарда яхши кузатилади:



Квант ўра



Квант сим



Квант нуқта

Буларда де –Бройл тўлқин узунлиги уч ўлчамларнинг (х,й,з йўналишда) камида биттасидан катта бўлади, бошқача айтганда электроннинг тўлқин функцияси чегараланган ва деформация қилинган бўлади. Қуйида биз адабиётда тез-тез учрайдиган бир нечта нанозаррачалар (нанокластерлар) ҳақида қисқача тўхталиб ўтамиз.

1985 йилда Х. Крото ўзининг ҳамкасблари билан «Натуре» журналида илмий мақола чоп этди ва унда 60 ва 70 тадан углерод атомидан иборат янги кластерлар олиш (синтез қилиш) методи ҳақида хабар берди. Тез орада маълум бўлди-ки, топилган кластер сфероид топологиясига эга бўлган индивидуал молекула экан. Бу молекулага фуллерен деб ном қўйилди. Бунинг сабаби шунда-ки, америкалик архитектор Р.Б. Фуллер беш–ва олтибурчак шаклдаги формалардан тузилган гумбазлар қурган экан ва бу гумбазлар топилган углерод кластерлари шаклини қайтарар экан. Фуллеренларнинг кашф этилиши ва уларнинг тадқиқ қилиниши 1996 йилда кимё бўйича Нобель мукофоти билан тақдирланди. Тез орада фуллеренлар ва у билан «кондош» структуралар (нанотрубкалар ва ҳ.к.) ХХИ аср материалларининг асосига айланиши мумкинлиги маълум бўлди ва бу молекулаларни синтез қилиш методлари устида иш олиб бориш дунё масштабида қизиқ кетди.

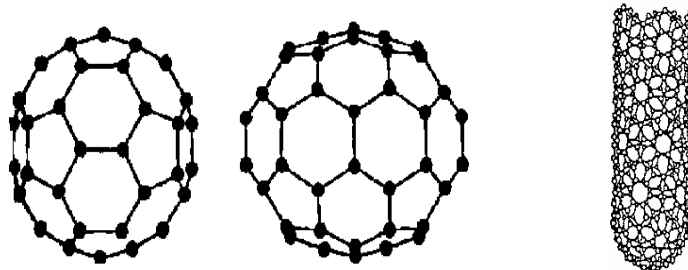
Фуллеренлар нимаси билан қизиқиш уйғотмоқда? Углерод атомларидан тузилган графит ва олмосдан нима билан фарқ қилади? Графит – юмшоқ, шаффоф бўлмаган материал, электр токини яхши ўтказди, олмос эса шаффоф материал, диэлектрик ва жуда қаттиқ. C_{60} деб белгиланадиган ва 60 та углерод атомидан тузилган фуллерен молекуласи 20 та олтибурчакдан ва 12 та бешбурчакдан тузилган, уларнинг учларида углерод атоми жойлашган (расм 14.11). Уларнинг ҳаммаси бир – бирига эквивалент, ҳар бир углерод атоми учта қўшни углерод атоми билан ўзаро боғланган.

Натижада C_{60} фуллерен молекуласи футбол коптогининг покрывкасига ўхшаб қолади ва 0,7нм диаметрға эга бўлди. C_{70} молекуласи эса регби коптогини эслатади.

Кимёвий нуқтаи назардан фуллерен молекуласидаги углерод атомлари sp^2 –гибридизацияланган ҳолатда бўлади ва улар ўзаро σ - боғ билан боғланган. Қолган валент электронлар делокализация бўлади ва иккиланган π - боғни ташкил этади.

Фуллерен молекуласининг нормал тебраниш частоталари $250 \div 1600 \text{ см}^{-1}$ диапазонида жойлашган. C_{60} молекуланинг $H=3n-6=3 \cdot 60-6=174$ та фундаментал тебраниш частотаси бўлиши керак, лекин унинг юқори симметрияга эга эканлиги туфайли 46 та частота бўлади. Шулардан 4 таси инфрақизил спектрда, 10 таси комбинацион сочилиш спектрида кўринади, қолганлари симметриянинг тақиклаши бўйича кўринмаса керак.

C_{60} молекула, юқори симметрияга эга бўлганлиги ва ҳамма σ - боғлар берк бўлганлиги учун, иссиқликка жуда чидамлидир (инерт муҳитда 1700° K гача). Шунга қарамасдан унинг ичига ҳар хил атомларни, ҳаттоки кичкина молекулаларни жойлаштириш мумкин, ҳосил бўлган системани эндоэдрал комплекслар деб аталади. Ташқарисида кимёвий реакциялар ёрдамида ҳар хил группаларни унинг юзасига улаш мумкин. Бундай комплекслар фан ва техникада ҳар хил функцияларни бажариши мумкин.



Расм 14.11. C_{60} , C_{70} фуллерен ва бир деворли нанотрубка молекулалари.

1991 йилда япон олими С. Ииджима электрдуга таъсирида ҳосил қилинган графит парида нанотрубкаларни топгандан кейин углерод наноструктураларга бўлган қизиқиш янада ошиб кетди. Уларнинг энг оддийлари ва тадқиқот – амалиёт учун катта қизиқиш уйғотганлари бир деворли нанотрубкалар бўлиб чиқди (расм 14.11).

Бу трубкаларнинг ҳам деворлари учларида углерод атомлари жойлашган олтибурчаклардан тузилган.

Углерод нанотрубкалари ичи бўш цилиндр шаклида бўлиб, диаметри $0,5 \div 2 \text{ нм}$ ва узунлиги бирнеча ўн мкм гача бўлиши мумкин. Хозирги пайтда улардан катталиги нанометрларга тенг бўлган электрон қурилмалари қурилмоқда. Яқин келажакда нанотрубкалардан ҳар хил приборларнинг, шу жумладан компьютерларнинг керакли элементлари ясалабошланади. Натижада информацияни ёзиш зичлиги ўзининг назарий чегара қийматигача етиб боради (битта молекулага бир бит) ва компьютерлар деярли чегараланмаган хотирага ва ишлаш тезлигига эга бўлиб қоладилар.

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Де-Бройл гипотезаси, зарраларнинг тўлқин узунлиги, частота, микрозарра, Девиссон-Джермер тажрибаси, микрозарралар-тўлқин сифатида, Шредингер тенгламаси, нанотехнология.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Де-Бройл илгари сурган ғояни тушунтиринг.
2. **Луи-Де-Бройл гипотезасининг атомларда қўлланилиши**
3. Элементар зарра (электрон) тўлқин узунлиги қандай аниқланади.
4. Де-Бройл назарияси исботланган тажрибани изоҳланг.
5. Электрон дифракцияси қандай амалга ошади.
6. Микрозарраларнинг икки хил табиати мавжудлигини қандай изоҳлаш мумкин.
7. Гейзинберг ноаниқлик принципини тушунтиринг.
8. Шредингер тенгламасини изоҳланг.
9. Лазертехнологияси.
10. Квант кучайтиргичлар

ВОДОРОД АТОМИНИНГ КВАНТ НАЗАРИЯСИ.

РЕЖА

1. Водород атомининг квант назарияси.
2. Квант сонлари.
3. Паули принципи.
4. Менделеевнинг элментлар даврий жадвали.

Водород атоми ядросининг (протоннинг) атрофида битта электрон айланиб туради, унинг заряди битта элементар манфий заряд q га тенг, протоннинг заряди мусбат q га тенг. Электроннинг орбитасини айлана деб ҳисоблаймиз.

Электронни орбитада ушлаб турувчи марказга интилма куч Кулон кучидир. Шунинг учун ёзиш мумкин:

$$\frac{m\nu^2}{R} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 R^2} \quad (15.1)$$

m – электроннинг массаси, ν – унинг тезлиги, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$ электр доимийси. Бу

тенгламани $m\nu R = n \frac{h}{2\pi}$ шарти билан биргаликда ечса электрон айланиб туриш мумкин бўлган статсионар орбиталарнинг радиуси келиб чиқади:

$$R_n = n^2 \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m e^2} \quad (15.2)$$

Бу ерда $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ - квант сони деб аталади. Ядрога энг яқин орбитанинг радиусини $n = 1$ ҳисоблаймиз:

$$R_1 = 1^2 \frac{(6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})^2 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{м}}}{3,14 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}} \approx 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 0,53 \cdot 10^{-8} \text{ см} = 0,53 \text{ \AA}$$

(15.2) формулада n дан бошқа ҳамма катталиклар ўзгармас сонлардир. Шунинг статсионар орбиталарнинг радиуслари бир – бирига $1:4:9:16:\dots = 1^2:2^2:3^2:4^2:\dots$ нисбатда бўлади.

Энди атомдаги электроннинг тўла энергиясини аниқлаймиз. Бу энергия электроннинг кинетик ва потенциал энергияларининг йииндисидан иборат:

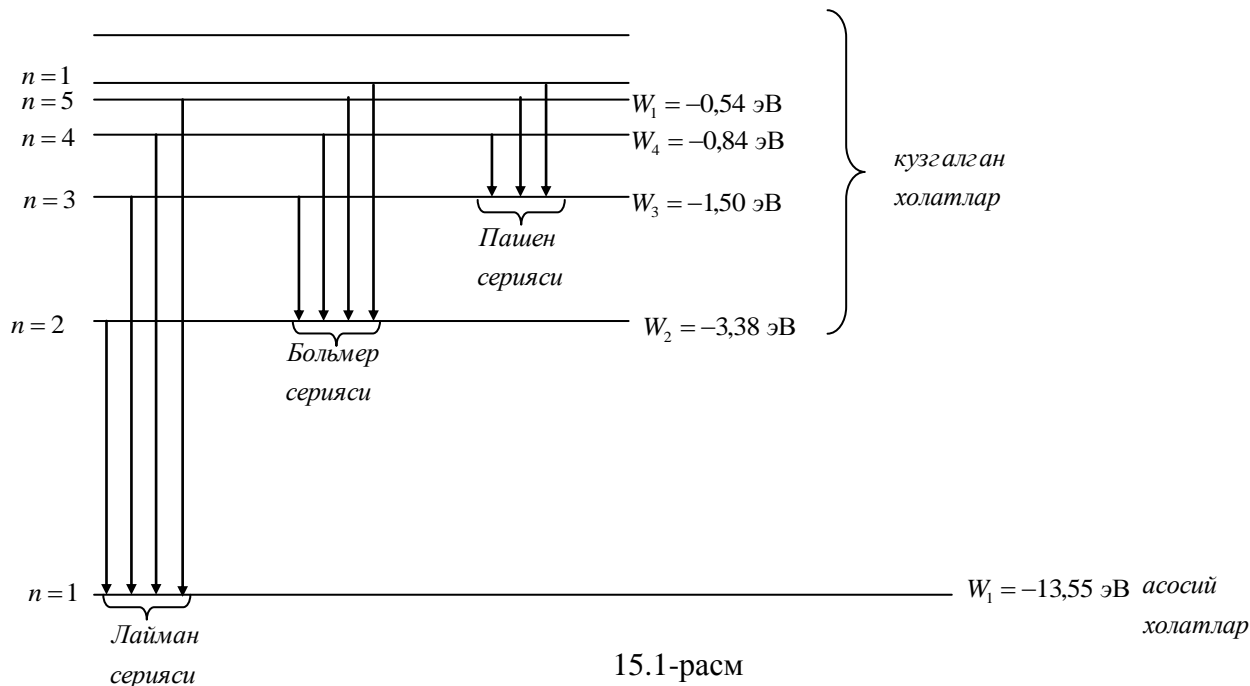
$$W_T = W_K + W_\Pi = \frac{m\nu^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 R} = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 R} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 R} = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 R} \quad (15.3)$$

Демак, электроннинг тўлиқ энергияси манфий бўлиб, абсолют қиймати бўйича кинетик энергияга тенг экан. (15.3) га (15.2) даги радиус қийматларини қўйиб ҳосил қиламиз:

$$W_T = -\frac{1}{n^2} \frac{me^4}{8\varepsilon_0 h^2} \quad (15.4)$$

Электроннинг биринчи орбитасида ($n=1$) энергиясини шу формула бўйича ҳисобланади. $W_T = -\frac{1}{1^2} \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ k})^2}{(6,6 \cdot 10^{-31} \text{ J} \cdot \text{s})^2 \cdot \left(8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}\right)^2} = -21,68 \cdot 10^{-14} = -13,5 \text{ eV}$

Статсионар орбиатадаги электроннинг тўлиқ энергияси атомнинг энергетик ҳолати деб аталади. Расмда (15.4) формулага асосан водороднинг ҳисобланган энергетик ҳолатлари келтирилган.



15.1-расм

(17.4) формулага асосан n ошган сари атомнинг энергияси ошаборади. W_T - манфий бўлганлиги учун унинг абсолют қиймати камайса у ошган бўлади. $n \rightarrow \infty$ бўлганда W_T ўзининг максимал қийматига $W_T = 0$ эришади.

(15.4) формуладан фойдаланиб атомнинг нурлатадиган ёрулиги частотасининг формуласини чиқарамиз:

$$\nu = \frac{W_n - W_0}{h} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \left[-\frac{1}{n^2} - \left(-\frac{1}{n_0^2} \right) \right] = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{n_0^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (15.5)$$

бу ерда n ва W - бошланич ҳолатининг квант сони ва энергияси n_0 ва W_0 - охириги ҳолатининг квант сони ва энергияси.

$R = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}$ катталик Ридберг доимийси деб аталади. (15.5) формула энди бошқача ёзилиши мумкин:

$$\nu = R \left(\frac{1}{n_0^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (15.6)$$

бу формула $n_0 = 1$ ва $n = 2, 3, \dots$ учун Лайман сериасини $n = 2$ ва $n = 3, 4, 5, \dots$ учун Балмер сериясини беради. Борнинг квант назарияси физиканинг ривожланишида муҳим рол ўйнади. У водород атоми спектрининг мураккаб структурасини тушунтириб беради. Лекин бу назария бошқа атомларни тушунтираолмади. Бунинг учун квант назарияси янада ривожлантиришди ва бу ривожланиш квант механикасининг яратилиши билан якунланади. Бу фан атом ва молекулаларнинг ҳамма хоссаларини тушунтириб беради.

Н. Бор назариясининг чегараланганлигининг сабаби шундайки, у ўзининг принципларига ҳар доим ҳам содиқ бўлмайди: квант хоссаларига асосланган бу назария электроннинг ҳаракатини ифодалаш учун классик механика қонунларидан фойдаланади. Бу эса нотўри, чунки атомдаги электрон оддий классик заррача эмас. Агар бу электронга Гейзенбергнинг ноаниқлик принципини ишлатсак бунга қаноат ҳосил қиламиз. Атомдаги электроннинг тезлиги тахминан $10^6 \frac{m}{s}$ атрофида, демак бу тезликни ўлчашдаги ноаниқлик бу қийматдан катта бўлиши мумкин эмас, бошқача айтганда ноаниқлик $\Delta v = 10^6 \frac{m}{s}$ бўлиши керак. У ҳолда Гейзенберг принципига асосан:

$$\Delta X = \frac{h}{2\pi m \Delta v} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34}}{2\pi \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^6} \approx 10^{-8} sm.$$

Лекин $10^{-8} sm$ - бу атомнинг ўлчовидир. Демак электрон координатасининг ноаниқлиги атомнинг ўлчамларига тенг экан. Бу ҳолда электроннинг тугган ўрни ёки траекторияси деган тушунчалар йўқолади

Квант сонлари. Квант механикаси электроннинг атрофидаги аниқ ўринни белгилайди, бунинг ўрнига у электроннинг фазонинг у ёки бу қисмида бўлиш эҳтимоллигини белгилайди. Бошқача айтганда, электрон атомнинг ҳажми бўйича ёйилган бўлади, гўёки булутсимон бир заррага айланади. Замоनावий квант механикасида электроннинг ҳолати битта эмас, тўртта квант сони билан белгиланади:

1. Бош квант сони n , қиймати 1 дан ∞ гача ўзгаради.
2. Орбитал квант сони l , қиймати 0 дан $n-1$ гача ўзгаради, (n та қиймат)
3. Магнит квант сони m_l , қиймати $-l$ дан $+l$ гача ўзгаради ҳаммаси бўлиб $2l+1$ та қийматга эга бўлади.
4. Спин квант сони m_s , фақат иккита қийматга эга бўлади: $+1/2$ ва $-1/2$;

Квант сонларини хисоблаш

S P d f

1. Главное К.Ч. $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ (по Э.У.)
2. Побочное или орбитальное или азимутальное К.Ч.
 $l = \text{от } 0 \text{ до } n - 1$ (где n -главное К.Ч.)
 $l_s = 1 - 1 = 0$ $l_p = 2 - 1 = 1$
 $l_d = 3 - 1 = 2$ $l_f = 4 - 1 = 3$
3. Магнитное К.Ч. $m_l = 2l + 1$ $m_l = \text{от } -l \text{ до } +l \text{ включая } 0$
4. Спиновое К.Ч.

The diagram illustrates the filling of orbitals for different subshells (s, p, d, f). It shows the number of orbitals (2l+1) and the possible magnetic quantum numbers (ml) for each subshell. Arrows indicate the addition of spin (S) to the magnetic quantum number (ml) to determine the total number of states.

s subshell: $l_s = 0$, $m_{l/s} = 2 \times 0 + 1 = 1$. The orbital is represented by a single box with two vertical lines inside, indicating two possible spin states.

p subshell: $l_p = 1$, $m_{l/p} = 2 \times 1 + 1 = 3$. The orbitals are represented by three boxes, each with two vertical lines inside, indicating two possible spin states for each orbital.

d subshell: $l_d = 2$, $m_{l/d} = 2 \times 2 + 1 = 5$. The orbitals are represented by five boxes, each with two vertical lines inside, indicating two possible spin states for each orbital.

f subshell: $l_f = 3$, $m_{l/f} = 2 \times 3 + 1 = 7$. The orbitals are represented by seven boxes, each with two vertical lines inside, indicating two possible spin states for each orbital.

Arrows point from the $m_{l/f}$ values to the spin values $S = +1/2$ and $S = -1/2$, showing how the total number of states is determined.

Квант сонлари электроннинг эга бўлиши мумкин бўлган энергияларининг қийматларини белгилайди. Электронларнинг энергетик сатхлар бўйича тақсимланиши икки принципга асослангандир:

1.Паули принципи: атомда 4 та квант сони бир хил бўлган электрон бўлмайди.

2. Энергиянинг минимум принципи: электронларнинг энергетик сатхлари бўйича тақсимланиши атом энергиясининг минимуми бўлишига тегишли бўлади.

	H																	He	
2s	Li	Be																	
3s	Na	Mg																	
4s	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5s	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6s	Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7s	Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg								
4f			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	D	
5f			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	T	

Паули принципи бўйича берилган энергетик сатҳда $2n^2$ та электрон бўлиш мумкин.











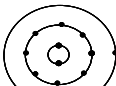
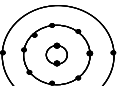




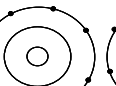

Менделеевнинг элементлар даврий системаси. Паули принципи Менделеевнинг даврий жадвалини тушунишга ёрдам беради. Бунинг учун Менделеев кимёвий элементнинг тартиб номери Z ни киргазди. Z ядродаги протонлар сонига ёки атомдаги ҳамма электронларнинг сонига тенг. Агар элементларни Z сони ошишига қараб жойлаштирсак, элементлар хоссаларининг даврий равишда ўзгаришини кўриш мумкин. Бундан ташқари электрон қаватлари (орбиталари) деганда тушунча киритилди ва улар K, L, M, N, \dots харфлар билан белгиланди (17.2-расмга қаранг). Берилган қаватда кўпи билан $m = 2n^2$ та электрон бўлиш мумкин. Демак, K – қаватда 2 та, L – қаватда ($n = 2$) 8 та M – қаватда ($n = 3$) 18 та ва ҳ.к. Электрон бўлиши мумкин.



17.2-расм

15.3-расмда биринчи учта даврни ҳосил қилувчи элементлар кўрсатилган.

Электронлар нукта билан кўрсатилган. Даврлар Рим рақамлари билан ифодаланган.

	Группалар								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Д а в р л а р	I							II	
									
	1H							2He	
	II								
		3Li	4Be	5B	6C	7N	8O	9F	10Ne
	III								
		11Na	12Mg	13Al	14Si	15P	16S	17Cl	18Ar

15.3-расм

Келтирилган расмдан кўриниб турибдики, атомдаги электронларнинг умумий сони (ядронинг заряди) элементнинг номерига тенг, қатламдаги электронларнинг сони давр номерига тенг, энг ташқи қатламдаги электронларнинг сони эса группа номерига тенг.

Маълумки, битта группага тегишли элементлар (масалан, H, Li, Na, K, Ra, Cs – биринчи группа) бир – бирига ўхшаш хоссаларига эгалар. Бу элементларнинг ташқи қатламида бир хил сонда электронлар бўлади ва бу электронлар валент электронлар деб аталади. Атомлар хоссаларининг даврий равишда қайтарилиб туриши валент электронлари сонининг даврий равишда қайтарилиб туриши билан болиқдир.

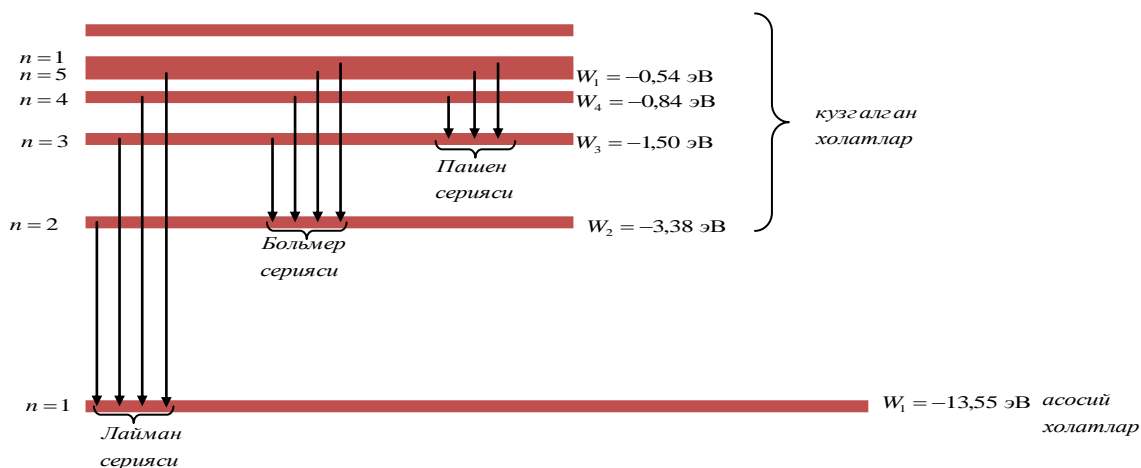
ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Водородатоми, электрон, дискрет, энергиянинг узлуклилиги, бошквантсони, азимуталквантсони, спинквантсони, Паулипринтсипи.

НАЗОРАТСАВОЛЛАРИ

1. Шредингер тенгламасини водородатоми учун ечиш қандай натижага олиб келади.
2. Бош квант сони қандай мазмунга эга.
3. Азимутал квант сони нимани ифодалайди. Магнит квант соничи.
4. Электрон спини қандай физик хусусиятга эга.
5. Паули принтсипини таърифлаб тушунтиринг.
6. Квант механикаси принтсиплари асосида Менделеев даврий системасини қандай тушунтирилади.

Статсионар орбитадаги электроннинг тўлиқ энергияси атомнинг энергетик ҳолати деб аталади.



ЯДРО ФИЗИКАСИ

Режа

1. Атом ядросининг тузилиши.
2. Ядро массаси ва боғланиш энергияси.
3. Масса дефекти. Радиоактивлик.
4. Ядровий реакциялар.
5. Ядроларнинг бўлиниши.
6. Занжир реакциялар.

Ядро физика.

XX асир бошларида Резерфорд тажрибаси натижасига асосан атом марказида мусбат зарядланган зарра мавжудлигини тасдиқлади. Квант назариясининг пайдо бўлиши атомнинг тузилиши ва электрон қобикларни тушинтиришга ҳаракат қилди ва атом ядросини ўрганишга қришилди. Бу бобда биз ядро физикаси ҳақида қисқача маълумот берамиз

XX асир бошларида физикларда муҳим муаммо мавжуд эди:

Атом ядроси тузилишга эгами ва бу қандай бўлиши мумкин? Ядро мураккаб тузилишга эга бўлиб ва унинг тузилишида анча ноаниқликлар мавжуд то ҳозирги кунгача. Шунга қарамасдан 30-йилларнинг бошларида атом ядросининг модели ишлаб чиқилган бўлиб ҳозиргача кенг қўламда қўлланилади. Бу моделга асосан ядро протон ва нейтронлардан ташкил топган. (Эсдан чиқармаслик керакки, бу зарралар тўлқин табиатига эга.) Протон ўзида содда ядро вадорот атомини мужассамлаган. У мусбат зарядга эга ($+e = +1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл) ва масси

$$m_p = 1.67262 \times 10^{-27} \text{ kg.}$$

Нейтроннинг мавжудлигини англиялик физик Джеймс Чедвик(1891 —

1974) тамонидан 1932йилда ақиқланди, зарядга эга эмас нейтрал зарра ($q = 0$), уни ўзининг номи ҳам тушинтиради. Нейтрон массаси протон массасига мос келади:

$$m_n = 1.67493 \times 10^{-27} \text{ kg.}$$

Нейтронлар ва протонлар атом ядросининг асосий ташкил этувчилари ҳисобланади, ва уларни нуклонлар деб атайди.

Вадород атом ядроси битта протондан ташкил топган, қолган элементлар атом ядролари протон ва нейтронлардан иборатдир. Ҳар хил ядролар нуклидлар деб аталади. Ядрогаги протонлар сони атом номерини билдиради ва Z билан белгиланади. Умумий нуклонлар сони A билан белгиланади ва атом массани билдиради. Бундай аталишига сабаб шундаки алоҳида нуклон массаси ядро массасига яқиндир. Элементда 7- протон ва 8-нейтрон бўлса, $Z = 7$ ва $A = 15$. Ядрога нейтронлар сони қуйдагича топилади $N = A - Z$.

Берилган нуклидларни характерлаш учун фақат A ва Z ни кўрсатиш етарлидир. Химявий элементларни қуйдагича белгилаш қабул қилинган ${}_Z^AX^A$.

Бу ерда X - химивий элемент белгиси (Даврий жадвалда), A -масса сони, Z -атом номери. Мисол учун, N азот атомини билдиради, бу атом 7 протонлар ва 8 нейтронлардан иборат бўлиб умумий нуклонлар сони 15 та. Нейтрал атомларда ядро атрофида ҳаракатланувчи электронлар сони протонлар сонига тенг бўлади шунинг учун улар нейтрал атомлар дейилади. Атомнинг асосий хоссаси электронлар сони билан белгиланади. Z -берилган химиявий элементни билдиради: углерод, кислород, олтин ёки бошқа элементни.

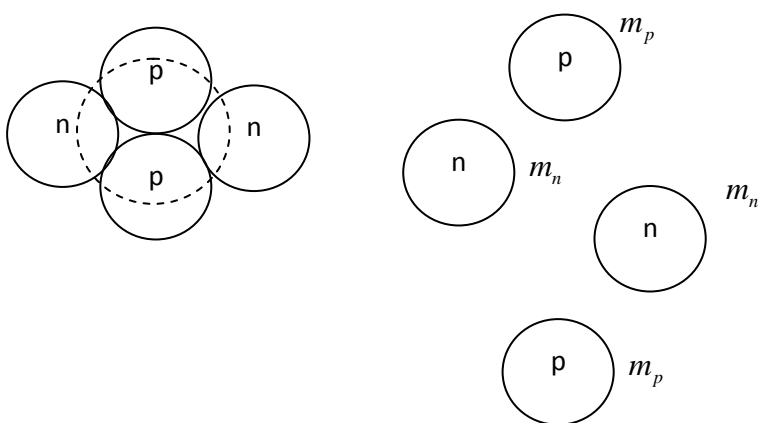
Кўп изотоплар табиатда учрамайди уларни лаборатория шароитида ядро реакцияларида олинади. Барча трансуран элементлар ($с Z > 92$) табиатда учрамайди фақат сунний йўл билан олинади. Ядронинг ўлчамлари биринчи мартаба зариядли зарралар-нинг сочилиши Резерфорд тажрибасида таҳрибан аниқланган.

Кўринадики, ядро тахминан сферическ формага эга, унинг радиуси A -га боғлиқ равишда қуйидаги формулага мувофиқ ошади:

$$r \approx (1.2 \times 10^{-15} \text{ m})(A^{\frac{1}{3}}).$$

Сфера ҳажми қуйдагига тенг $V = \frac{4}{3} \pi r^3$, биз хулоса қиламизки, ядро ҳажми нуклонлар сонига A пропорционалдир: $V \sim A$. Бундай боғланишдан кутиш мумкинки, агар нуклонлар қаттиқ шарга ўхшаса эди: шарлар сонини ошириб, сиз ҳажимни ҳам оширар эдингиз. Тушинарилики барча ядролар тахминан бир хил зичликка эгадир. Ядро массасини аниқлашнинг бир тури бу масс-спектрометр ёрдамидадир, магнит майдонида тез ҳаракатланаётган ядроларнинг эгрилик радиуси орқали (28.7-боб). Биз эслаймизки шу метод ёрдамида кўпчилик элементларнинг изотоплари борлиги аниқланган. Ядро массаси атом масса бирлигида аниқланади (а.м.б).

Атом ядросидаги нуклонлар ўзаро катта кучлар билан боғланганлар. Текширишлар шуни кўрсатадики, ядро массаси уни ташкил этувчи нуклонлар массаларининг йиғиндисдан кичик экан.



$$m_p + m_p + m_n + m_n = 2m_p + 2m_n$$

$${}_4M_{\text{я}}^2 < 2m_p + 2m_n \quad (16.1)$$

Мос равишда ўлчанган нейтроннинг массаси 1,008665 а.м.б.,

протон-1,007276 а. е. м., вадороднинг нейтраль атоми Н (протон плюс электрон)-1,007825 а.м.б. Бир қанча нуклидларнинг массалари 16.1 жадвалда келтирилган:

Жадвал 16.1. Тинчликдаги масса килограмларда, атом масса бирлигида ва МэВ/с²

Зарра	Тинчликдаги масса килограмларда	атом бирлигида	масса МэВ/с ²
Электрон	$9,1095 \cdot 10^{31}$	0,00054858	0,51100
Протон	$1,67265 \cdot 10^{27}$	1,007276	938,28
Атом }H	$1,67356 \cdot 10^{27}$	1,007825	938,79
Нейтрон	$1,67500 \cdot 10^{27}$	1,008665	939,57

Уларни бутунлаштириб 1 а.м.б. = 1,6606- 1(10^{27} кг = 931,5 МэВ/с²).

(Такидлаш керакки жадвалда фақат нейтрал атомларнинг массалари келтирилган, яланғоч ядроларники эмас.)

Масса кўпинча энергия ўлчов бирлигида электрон- Вольтларда ифодаланади. Қўлланилган энергиянинг ўлчов бирлигит масса ва энергиянинг ўзаро боғлиқлигидандир. Аниқ бундай боғлиқликни Эйнштейн формуласи орқали ифодаланади $E=mc^2$. Шундай қилиб нейтрал водорот атомининг массаси $1,6736 \cdot 10^{27}$ кг, ёки 1,007825 а.м.б.,

Бу тенглик ўринли $1,0000 \text{ а.е.м.} = (1,0000/1,007825) \cdot (1,6736 \times 10^{27} \text{ кг}) = 1,6606 \cdot 10^{27} \text{ кг}$.

Бу масса эквивалент энергияи $E = mc^2 = (1,6606 \cdot 10^{27} \text{ кг})(2,998 \cdot 10^8 \text{ м/с}^2) / (1,602 \cdot 10^{19} \text{ Дж/эВ}) = 931,5 \text{ МэВ}$.

1 а.е.м. = 1,6606- 1(10^{27} кг = 931,5 МэВ/с²).

Боғланиш энергияси. Ядронинг умумий массаси, қуйида келтирилган мисолдан кўринадики. Уни ташкил қилган протон ва нейтронлар массасидан кичик.

Ейнштейн формуласи $E = mc^2$ га биноан, масса ўзгарса бу ўзгаришга энергиянинг ўзгариши ҳам тўғри келиши керак. Демак нуклонлар алоҳида – алоҳида бўлган ҳолдаги энергия улар бирлашган ҳолдаги энергиядан катта, шундай экан, ядро ҳосил бўлишида маълум миқдорда энергия ажралиб чиқиши керак. Энергиянинг сақланиш қонунига

биноан бунинг тескариси ҳам тўғри бўлиши керак: ядронинг ташкил этувчиларига ажратиш учун ҳам шунча миқдорда энергия сарфланиши керак бўлади. Ядрони алоҳида – алоҳида нуклонларга бўлиб ташлаш учун керак бўладиган энергия ядронинг боғланиш энергияси деб аталади. Бу тушунча ядро физикасида катта аҳамиятга эга ва ядровий реакциялар моҳиятини тушинишда муҳим рол ўйнайди.

$\Delta E = \Delta mc^2$ формуласига асосан ядронинг боғланиш энергияси тенг.

$$E_{bog'} = [Zm_p + (a - Z)m_n - m_y] c^2 \quad (16.2.)$$

Бу ерда m_p , m_n , ва m_y - тегишли равишда протон, нейтрон ва ядронинг массалари.

$\Delta m = [Zm_p + (a - Z)m_n] - m_y$ катталик ядро массасининг дефекти деб аталади. Нуклонлардан ядро ҳосил бўлганда уларнинг массалари ана шу қйматга камаяди.

Ядролар боғланиш энергиясидан ташқари Яна бошқа параметрларга ҳам эга.

Масала 31.3. ${}_2\text{He}^4$ ядро массасини унинг ташкил этувчи нуклонлар массаси билан таққосланг?

Ечиш: ${}_2\text{He}^4$ ядроси иккита протон ва иккита нейтрондан иборат.

31.1. жадвалдан кўринадики ${}_2\text{He}^4$ массаси „ Иккита протон ва иккита нейтроннинг йиғинди масаси 4,002603 а.м.б. га тенг ${}_2\text{He}^4$ м.

$$\begin{aligned} 2m_n &= 2(1.008665 \text{ u}) = 2.017330 \text{ u} \\ 2m({}_1^1\text{H}) &= 2(1.007825 \text{ u}) = 2.015650 \text{ u} \\ \text{sum} &= 4.032980 \text{ u}. \end{aligned}$$

Биз кўрамизки ${}_2\text{He}^4$ ўлчанган массаси қиймати 4,032980 а.м.б. - 4,002603 а.м.б. = 0,030377 а.м.б. бўлиб ядрони ташкил қилувчи нуклонлар массасидан кичик. Бу қандай бўлиши мумкин? Қолган масса қаёққа кетди? Ҳақиқатдан ҳам у энергияга айланди(нурланиш, кинетическ энергия ва бошқа). Масса фарқи (ёки энергия) ${}_2\text{He}^4$ учун (0,030377 а.м.б.)(931,5 МэВ/ а. м. б.) = 28,30 МэВ га тенг. Бу фарқ ядронинг бутун боғланиш энергияси дейилади. Бу кўрсатадики ядрони протон ва нейтронга ажратиш учун қандай энергия сарфлашини кўрсатади. Агар ${}_2\text{He}^4$ ядро массаси иккита протон ва иккита нейтроннинг массасига тенг бўлганда эди у ўз ўзидан қўшимча энергия бермасдан парчаланар эди. Ядронинг барқарорлигини таъминлаш учун унинг массаси уни ташкил этувчи нуклонлар массасидан кичик бўлиши керак эди. Боғланиш энергиясини таҳрибан атомдаги электронларнинг боғланиши билан таққослаш мумкин. 30 бобда биз кўрган эдикки электроннинг боғланиш энергияси вадород атомида 13,6 эВга тенг.

Водород атоми массаси битта протон ва электрон массалари йиғиндисидан 13,6 эВ га кам. Бу бутун вадород атоми массасига таққосласак жуда кам (938 МэВ) бу-жуда кичик қиймат (тахрибан 10^8), амалиётда буни этибога олмаса ҳам бўлади. Ядронинг боғланиш энергияси атомнинг боғланиш энергиясидан 106 марта катта шунинг учун жуда муҳим ҳисобланади.

Солиштира боғланиш энергияси (ёки нуклонга тўғри келадиган ўртача энергия) тарифи бўйича ядронинг бутун боғланиш энергиясини билдиради.

${}^4_2\text{He}$ учун унинг қиймати қуйидагига тенг $28,3 \text{ МэВ}/4 = 7,1 \text{ МэВ}$. 30.1 расмда А-турғун ядролар учун нуклонга тўғри келувчи ўртача боғланиш энергияси келтирилган. А –нинг ортиши билан эгри чизик дастлаб ошади ва тўйинишга етади (тахрибан 8 МэВ нуклонга тўғри келади) А « 15 учун. А > 60 эгри чизик секин туша боради. Бу шуни англатадики, анча оғир ядролар унча турғун бўлмайди бу даврий системадаги ўртадаги элементларга тўғри келади.

Атом ядросини фақат энергия нуктаи назардан қарамасдан, балким нуклонларни ядрога ушлаб турувчи кучлар орқали қараш керак.

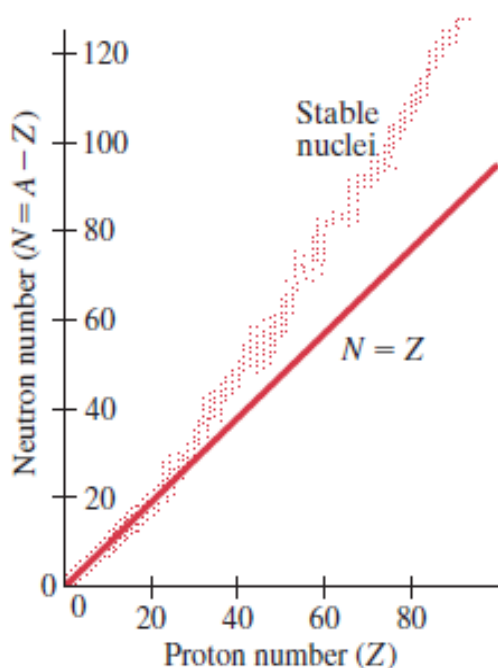
Ядро кучлари. Стабил ядролар мавжуд, буларни ушлаб турувчи қандайдир кучлар бўлиши керак. Бу кучлар Кулон ўзаро итариш кучидан катта бўлиб уларни ядро кучлари дейилади. Кучли ядро таъсири-бу барча нуклонлар орасидаги тортишидир. Шундай қилиб ядро кучлари сабабли протонлар бир бирига тортилади ва Кулон кучи таъсири туфайли бир бирини итаради.

Нейтронлар электир зарядига эга эмас, шунинг учун улар бир бирини тортадилар. Кучли ўзаро таъсир гравитацион ва электромагнит таъсирларга қараганда мураккабдир. Бунинг математик ифодаси ҳозиргача йўқ.

Шунга қарамасдан яъни бу кучнинг табиатини ўрганиш учун

анча куч сарфлади. Кучли ўзаротаъсирнинг асосий хусусиятларидан бир унинг қисқа таъсиридир. У кичик масофаларда намоён бўлади. Икки нуклоннинг ўзаро таъсири жуда катта бўлади, агар нуклонлар орасидаги масофа 10^{-15} м бўлса. Электромагнит ва гравитацион таъсир катта масофаларда таъсир қилади шунинг учун узоқ таъсир қилувчилар дейилади.

Кучли ўзаро таъсир бошқа муҳим жихати билан фарқланади. Мисол учун нуклид протонга қараганда жуда кўп ва жужа кам мқдорида бўлса кучли ўзаротаъсир кучсизланади: протонлар ва нейтронлар орасидаги мувозанит бузулса нуклидлар турғунмас бўлиб қолади. Стабил ядролар протонлар ва нейтронлар сони тенглашиш тенденциясида бўлади ($N = Z$) 16-3. Расмда кўрсатилган А « 30 ёки А « 40. Бу областдан кейин турғун ядролар протонларга қараганда нейтронлар кўпни ташкил қилади.



Расм. 16.3. Нейтронлар сони турғун ядроларда протонлар сони функциясидир.

Бу областдан ташқари турғун ядролар протонларга нисбатан кўп сонли нейтронларга эга бўлади. Бу факит кулон ўзаро таъсирнинг ошишини кўрсатади, яъни атом Z номерининг ошиши билан. Шунинг учун турғун ядро қўллаш учун кўп микдорда нейтронлар бўлиши керак. Жуда катта Z нейтронлар кўплиги кулон ўзаро таъсирни компенсация қилишга қодир эмас

$Z > 82$ турғун ядролар мавжуд бўлмайди. Турғун ядро деганда биз узоқ вақит мавжуд бўладиганини тушинамиз. Турғунмас ядролар қандай ядролар? Бу ядролар радиоактив емирилиш натижасида бошқа ядрога айланади.

Радиоактивлик

Ядро физикаси тарихи 1896 йилдан бошланганг. Шу йили Анри Беккерель (1852-1908) уран тузларида люминесценция ҳодисани ўрганиб улкан кашфиёт очди: уран туз бўлакчалари фотопластинкани устида қолдирилганда пластинкада уран тузининг сурати ўтиб қолганини кузатишди, агар бу туз бўлакчаларини ёруғлик ўтказмайдиган қоғозга ўраганда ҳам худди шу жараён юз беришни кузатишди. Минераллар қандайдир ўз-ўзидан рентген нурларидан фарқли бўлган янги нурлар чиқариши тушинарли эди. Бу янги ҳодиса радиоактивлик деб аталди.

Очилган кашфиётдан сўнг Беккерель Мария Кюри (1867-1934) ва унинг турмуш ўртоғи Пьер Кюри (1856-1906) (расм 16-4) илгари маълум бўлмаган юқори радиоактивликка эга бўлган иккит химявий топилди. Бу элементлар полоний (Po) ва радий (Ra) номини олишди. Тезда бошқа радиоактив элементлар очилди.



Расм 16-4. Беккереля Мария Кюри (1867-1934) ва унинг турмуш ўртоғи Пьер Кюри (1856-1906) ўзларининг лабораториясида.

Тезда маълум бўлдики, радиоактивлик манбаи атом маркази – атом ядроси ҳисобланади. Шу нарса маълум бўлдики радиоактивлик турғун бўлмаган ядроларнинг емирилиши ҳисобига юз беради. Ядро кучлари бир қанча изотопларнинг турғунлигини бузади, улар шу ёки бошқа нур чиқариб емирилади.

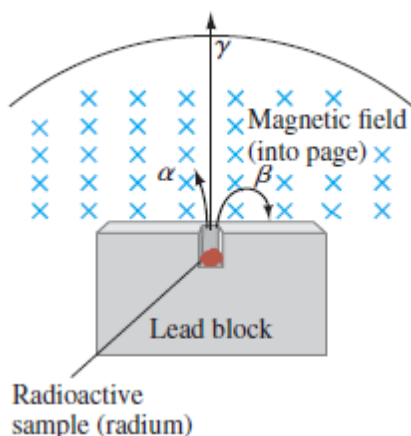
Кўпгина турғунмас ядролар табиатда учрайди. Уларни табиий радиоактивликлар дейилади.

Бошқа турғунмас изотоплар лаборатория шароитида ядро реакциялари орқали олинади.

Бундай изотоплар сунний радиоактив изотоплар дейилади.

1898 йииларгача Резерфорд ва бошқа ўрганувчилар радиоактив емирилиш натижасида вайдо бўладиган нурланиш табиатин ўргандилар. Улар кузатдиларки, ўтиш қобилятига қараб уларни уч турга бўлиш мумкин. Нурланишнинг бир тури атига қоғоз қатламига бирмунча киради. Иккинчи тури эса 3 мм алюминийдан ўтади. Учунчи тури эса бир неча см қалинликдаги кўрғошиндан ўтади уни детектор ёрдамида қайд қилади. Бу топилган уч хил нур бошланғич ҳарифлари билан номланган : ми греческого алфавита соответственно: альфа (α), (β)- бета

(P)- и гамма (γ)-нурлар деб аташдилар. Бу уч хил нур ҳам ҳар хил электрон зарядига эга эканлиги маълум бўлди, улар магнит майдонида турлича бурилади расм 16-5.



Расм 16-5. Альфа нурлар мусбат, бета нурлар манфий ва гамма нурлар нейтрал зарядга эга эмас.

Аниқландики, Радиоактив нурларнинг учаласи ҳам аниқ бир зарра эканлиги маълум булди.

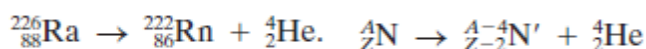
Гамма-нурлар, рентген нурланишидаги фотонларга қараганда ўзида жуда юкори энергияли фотонлардан иборат бўлади.

Бета-нур, ядро атрофида ҳаракатланувчи электронларга ўхшаш электрондан иборат . Альфа-нур (ёкиа-зарра)-бу гелий ${}^4_2\text{He}$ атом ядросидир. а-зарралар иккитба протон ва иккита нейтрондан иборатдир. Энди бу емирилишларни алоҳида кўриб чиқамиз.

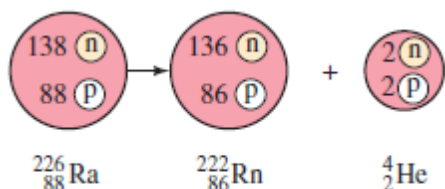
Альфа-емирилиш

Атом ядросининг альфа зарра чиқариш ҳисобига бошқа айланишида содир бўлади. Бунда ${}^4_2\text{He}$ Ядроси чиқиш ҳисобига дастлабки ядро иккита протон ва иккита нейтронни йўқотади. Мисол учун (${}^{226}_{88}\text{Ra}$) алфа зарра манбаи ҳисобланади. У емирилиш ҳисобига

$Z = 88 - 2 = 86$ ва $A = 226 - 4 = 222$ ядросига айланади. Ядро $Z = 86$ -бу радон (Rn) .



Тушинарилики ҳар доим алфа емирилишда янги ядро ҳосил бўлади, яъни қиз ядромси ҳосил бўлади (расм 16-6).



Расм 16-6. Радон ядросининг емирилиш схемаси

Алфа-емирилиш да, кучли ўзаро таъсир ядронинг барқарорлигини таъминлай олмайди.

Кучли ўзаро таъсирнинг қисқа бўлиши оқибатида фақат қўшни нуклонларни боғлайди, бу вақтда ядронинг бутун ҳажмида кулон ўзаро титариш куч таъсир қилади. Жуда оғир ядроларда (катта Z) кулон ўзаро титариш кучи ортади ва протонлар орасига таъсир қилади. БУ ҳолда кучли ядро ўзаро таъсир фақат қўшни нуклонлар орасида бўлади, улар кулон ўзаро титаришини енга олмайди ва нуклоннинг ядрога сақлаб қола олмайди.

Ядронинг турғунмаслиги боўланиш энергиясини характерлайди: радиоактив ядронинг боғланиш энергияси жуда кичик бўлиб у ядрони барқарор ушлаб тура олмайди. Бошқача айтганда, она ядронинг массаси алфа зарра ва қиз ядроси массаси йиғиндисидан ката.

Массалар фарқи алфа зарра олиб кетган кинетик энергия сифатида ажралиб чиқади.

Агар она ядронинг массаси алфа зарра ва қиз ядро массасидан кичик бўлганда, алфа емирилиш бўлмасди, бунда олдинги энергиянинг сақланиши бузулар эди. Энергиянинг сақланиш қонунига асосан ёзишимиз мумкин: бу ерда Q -ажрали чиққан энергия:

$$M_P c^2 = M_D c^2 + m_\alpha c^2 + Q,$$

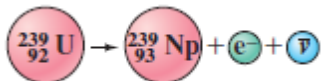
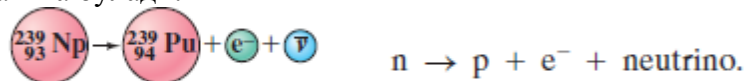
$$Q = M_P c^2 - (M_D + m_\alpha) c^2. \quad (30-2)$$

Нима учун зарралар? Нима учун, сиз ишонишингиз мумкин, ядрони тўртта заррадан иборат бўлган нурланитаяпти деб? Жавоб зарралар ўзаро кучли боғланган, унинг массаси алоҳида нуклонларнинг массасидан кичик.

Жавоб зарралар бир бири билан кучли боғланган, унинг массаси тўртта алоҳида олинган нуклонларнинг массасидан анча кичик. Сизни қизиқтириш мумкин нима учун ядро тўртта нуклон комбинациясин нурлайди, ядро тўртта нуклон ёки бита нуклон нурламайди? Жавоб шундай бўлади, α -зарра кучли боғланган ва унинг массаси туртта алоҳида нуклонларнинг массасидан кичик. 30.1 масалада кўрсатилгандек иккита протон ва иккита нейтрон умумий ҳолда 4,03298 а.м.б. га эга. Торий ${}^{232}_{90}\text{Th}$ ядроси ва тўртта нуклон массаси қуйдагига тенг бўлади 232,06171 а.м.б., ва она ядро массасидан ортиқ бўлади.

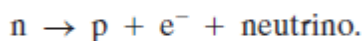
β^- -емирилиш

Ядронинг β^- -емирилишида элементларнинг айланиши электронлар ёки β^- -зарралар чиқариш ҳисобига содир бўлади. Бунда ядро электронлар оқими чикападию ${}^{14}_6\text{C}$ ядроси β^- -емирилиши куйдагича бўлади:



Бу ерда e^- электрон белгисини билдиради. Нейтрино $q=0$ зарядга эга ва жуда кам массага эга сони A она ядро ва киз ядро бир хил бўлади. Электрон чиқаришда она ядронинг заряди киз ядронинг зарядидан фарқ қилади. Бизнинг мисолимизда она ядро $Z=+6$ га тенг. β^- -емирилишда u -1 заряд йўқотади. Шунинг учун киз ядронинг заряди она ядронинг зарядидан бир бирликка кўп бўлади. Киз ядро заряди 7-га тенг бўлиб бу азот ядросига мос келади.

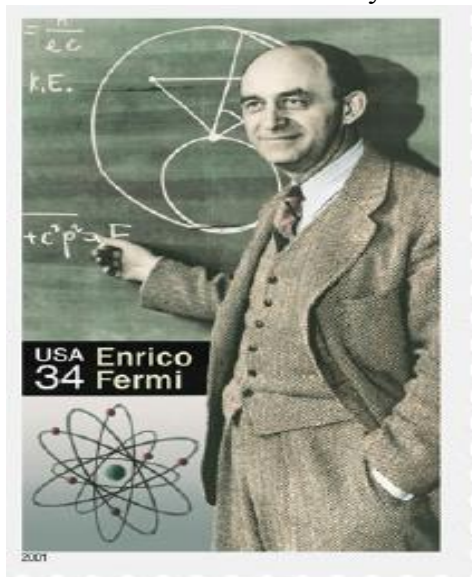
Шуни такидлаш керакки, β^- -емирилишда электрон орбитадаги электронга алоқаси бўлмайди. У ядронинг ичида пайдо бўлади, яъни нейтронлардан биттаси протонга айланади. ва шу тариқа электрон чиқаради. Эркин нейтронлар куйдагича бўлади:



β^- -емирилишда ядро электронларининг келиб чиқиши электронлар эмас балки β^- -зарралар дейилади. Шунга қарамасдан зарралар электронлардан фарқ қилмайди.

Тажрибаларнинг кўрсатишича, мазкур зарра ядродан чиқаётганда ҳар хил энергияга эга бўлиши мумкин. Шу билан бирга учиб чиқаётган электронлар энергияси доимо ядронинг β^- -емирилишига гўёки энергия йўқотгандек бўлади. Чиқарилаётган электронлар энергияси 0 дан максимал қийматгача бўлади. Агар худди шундай бўлганда эди бунда энергиянинг физикларни барча ҳолларда ўринли деб кўрсатганг сақланиш қонун и бузилар эди. Аниқ ўтказилган тажрибаларда импульс ва импульс моментининг β^- -емирилишда сақланмайди. Физикларни барча ҳолларда ўринли деб кўрсатган энергиянинг сақланиш қонунидан кейинчалик воз кечиш тажублантирди.

1930 йил Вольфган Паулли вужудга келиб қолган вазиятдан чиқиш учун куйидаги гипотезани илгари сурди. Унинг фикрича β^- -емирилишда электрондан ташқари яъна қандайдир зарра ажралиб чиқади ва уни қайд қилиш қийин. Бу зарра импульс ва импульс моментини олиб кетиши мумкин. Бу янги зарра нейтрино деб аталади.



Расм 16-7. Энрико Ферми, АҚШ почта маркасида тасвирланган Ферми назарий ва тажриба физикасига улкан ҳисса қўшган, бугунги кунда унинг қаҳромонлиги деярли ягонадек: якка зарраларнинг статик назарияси, кучсиз ўзаро таъсир назарияси, нейтрон физикаси, радиоактивлик, биринчи ядро реактори.

β^- –емирилиш назариясини машхур италиялик физик Энрико Ферми (1901-1954) 1934 йилда яратди расм 16-7. Бу назарияга биноан Ферми тўртинчи фундаментал таъсир мавжудлигини кўрсатди, унинг номи “кучси таъсир” деб аталади. У зарядга ва массага эга эмас. Спини $1/2 \hbar$ га тенг ва у электроннинг спинига тенг. Электрон ва нейтрино ядродан чиққанда спинлари қарама қарши бўлиб улар бир бирини мувозанатлайди ва шунинг учун ядронинг спини ўзгармайди.

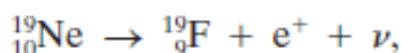
1956 йилда жуда мураккаб тажрибалар ўтказилиб нейтринонинг борлиги тасдиқланди. Нейтринони грек ҳарифи (ню) ν -деб белгилаш қабул қилинган.



ν -нейтрино устидаги белги(-) 2антинейтрино ҳақида гап боришини билдиради).

β^+ -емирилиш

Кўпинча изотоплар электрон чиқариш орқали емирилади. Уларнинг барчаси протонлар сонига қараганда нейтронлар сонининг ортишини кўрсатади. 30-2-расмда бу изотоплар турғун изотоплар устидан юқорида жойлашган. 30-2-расмда турғун изотоплардан пастда жойлашган изотоплар (протонлар сонига қараганда нейтронлар сони кам бўлган ядролар). Бу изотоплар ўз навбатида электрон эмас позитрон чиқаради.

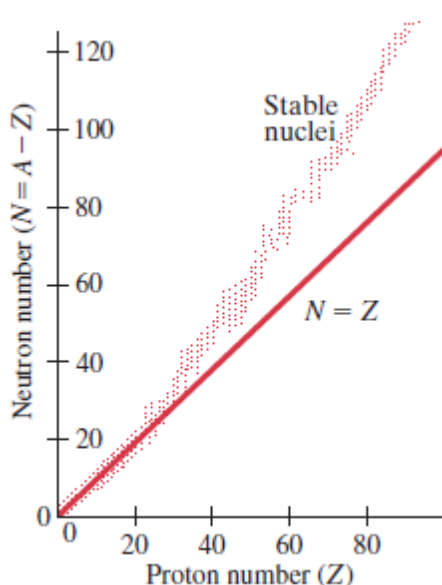


Бу ерда e^+ -позитронни билдиради. Позитронлар e^+ билан белгиланади ёки β^+ -зарралар дейилади. Унинг массаси электрон массасига тенг заряди мусбат. Позитрон зарядидан ташқари барча хусусиятлари электронга ўхшаш шунинг учун у антизарра (анти электрон дейилади).



β^+ -емирилишда антинейтрино ажралиб чиқади.

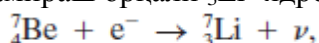
β^- емирилишда нейтрино ажралиб чиқади.



Расм 30-2. Турғун ядроларда протонлар сонинг нейтронлар сонига боғлиқлиги нуқталар билан кўрсатилган. Тўғри чизик ўзида $N = Z$ мужассамлантиради.

Электрон камираш.

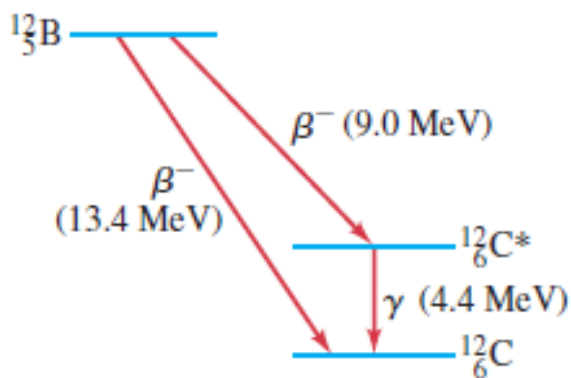
β^+ ва β^- -зарралар чиқаришдан ташқари яъна бир учинчи жараён бор. Бу жараёнда ядро орбитадаги битта электронни қамраб олади, бунга e^- -камираш дейилади. Масалан ${}^4\text{Be}^7$ берелли ядроси e^- -камираш орқали ${}^3\text{Li}^7$ ядросига айланади.



Асосан электрон камираш К-қобик ичида содир бўлади ва бу ерда “Х-қамраш” жараёни номланади. К-камирашда битта электрон йўқолади, ядрода битта протон нейтронга айланади.

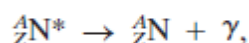
γ-емирилиш.

γ-нурланиш ўзида юқори энергияли фотонларни мужассамлантирган. Бу нурланиш магнит майдонида ўз йўналишини ўзгартирмайди, ионлаштириш қобилияти анча кичик. γ-нурланишда ядронинг емирилиши атомнинг уйғонган ҳолатдан асосий ҳолатга ўтганда фотон нурланишини эслатади. Ядро кичик энергия ҳолатидан ёки асосий ҳолатга ўтганда ядро фотон нурлайди. Анти зарраларни худди зарралар сифатида аниқлаш мумкин фақат қарама қарши зарядга эга. Фотонларнинг нурланиши бир неча кэВ дан бир неча МэВ оралиғида бўлади. Берилган емирилишга жавоб берувчи барча γ-нурланиш доимо бир хил энергияга эга бўлади. γ-нурланишда заряд олиб кетмайди, γ-нурланишда битта химявий элемент бошқасига айланмайди. Қандай қилиб ядро уйғонган ҳолатга ўтади? Бу жараён бошқа зарралар билан ноэластик тўқнашиш ҳисобига бўлиши мумкин. Радиоактив емирилиш натижасида ҳосил бўлган қиз ядро, ҳар доим уйғонган ҳолатда бўлади. Бундай энергетик ҳолат схемаси 16-8 расмда келтирилган.



Расм 16-8. Энергиянинг ҳолат схемаси.

${}^5_5\text{B}^{12}$ бор ядроси 3-емирилишдан кейин ${}^6_6\text{C}^{12}$ асосий ёки ${}^6_6\text{C}^{12*}$ уйғонган ҳолатга 4.4 МэВ γ-емирилиш орқали ўтади.



Базида ядро уйғонган ҳолатда γ-нур чиқаргунча бир мунча вақит қолиши мумкин. Бу ҳолат ядронинг метастабил ҳолати дейилади, ядронинг ўзи изомер деб аталади.

Нуклонларнинг сақланиши ва бошқа сақланиш қонунлари.

Уч хил радиоактив емирилишда классик сақланиш қонунлари бажарилади. Энергия, импульс, импульс моментининг сақланиш қонуни бажарилади, яъна битта сақланиш қонуни ўрнатилган. Бу нуклонлар сонининг сақланиши, Бу сақланиш қонунига мувофиқ тўлиқ нуклонлар сони (А) барча емирилишларда ўзгармасдан қолади (лекин нуклонлар бир турдан иккинчи турга айланади). Нуклонларнинг сақланиши барча

радиоактив емирилишларда сақланади. α , β , γ -емирилишларнинг умумий схемаси 30-2. Жадвалда келтирилган.

TABLE 30-2 The Three Types of Radioactive Decay
α decay:
${}^A_Z\text{N} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{N}' + {}^4_2\text{He}$
β decay:
${}^A_Z\text{N} \rightarrow {}^A_{Z+1}\text{N}' + e^- + \bar{\nu}$
${}^A_Z\text{N} \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{N}' + e^+ + \nu$
${}^A_Z\text{N} + e^- \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{N}' + \nu [\text{EC}]^\dagger$
γ decay:
${}^A_Z\text{N}^* \rightarrow {}^A_Z\text{N} + \gamma$

Ярим емирилиш ва емирилиш тезлиги.

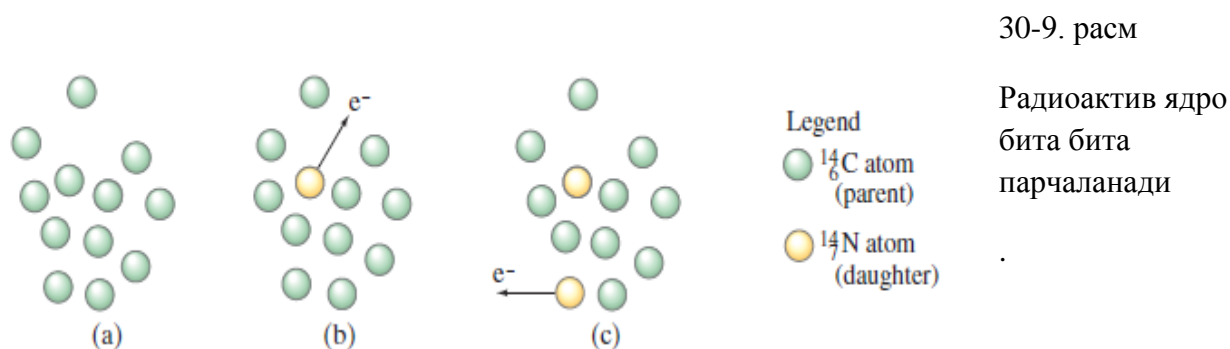
Радиоактив изотопнинг макроскопик наъмунаси жуда кўп радиоактив ядролардан иборат бўлади. Бу ядролар бирдан емирилмайди, бир қанча вақит давом этади. Емирилиш жараёни тасодифий жараён ҳисобланади. Биз аниқ айта олмаймизбу ядронинг емирилиши қачон пайдо бўлади. Биз эҳтимоллик назариясини қўллаб бу ядро наъмунасининг вақит бирлиги ичида емирилишни кўриб чиқамиз. Емирилишлар сони ΔN , ядро сони N ва Δt вақитга пропорционалдир.

$$\Delta N = -\lambda N \Delta t \quad (30-3a)$$

Бу ерда λ -емирилиш доимийси ҳисобланади. Бу доимий ҳар хил радиоактив элементлар учун турлича қийматга эга бўлади. λ -қанчалик катта бўлса, емирилиш тезлиги ва активлиги катта бўлади.

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N. \quad (30-3b)$$

ΔN катталики Δt - вақит оралиғида емирилишлар сонига тенг. Биз ΔN катталики ҳар бир емирилишда бошланғич ядро N -бир бирликка камаяди. Бошқача айтганда радиоактив емирилиш бир қаррали жараёндир 16-9. Расм.



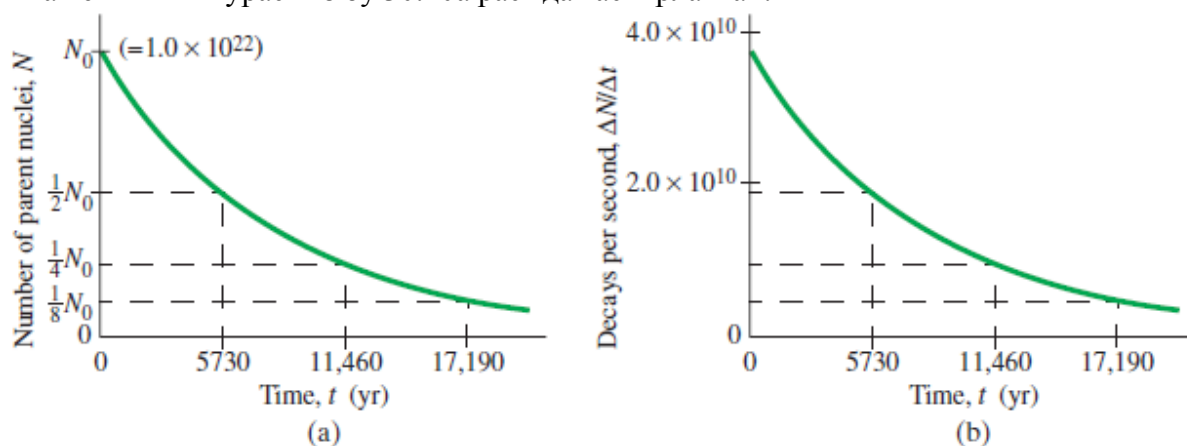
Она ядронинг емирилиши натижасида қиз ядро пайдо бўлади, тескари жараён йўқ 30-2. Формуладаги – ишора N -нинг камайишини кўрсатади. Агар 30.2. ифода Δt -вақитда

чегарага етса, ΔN -қиймат N -га нисбатанкам бўлади, у ҳолда биз ун дифференциал кўринишда ёза оламиз.

$dN = -\lambda N \Delta t$: ёки $dN/N = -\lambda dt$. 30-3а формуладан N - учун қуйидагини ёза оламиз:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (30-4)$$

Бу ифода радиоактивлик емирилиш қонунини ифодалайди, бу ерда N_0 , $t=0$ пайтдаги нуклонлар сони,. Бу қонун формулага мувофиқ ядронинг емирилиши экспоненциал қонун бўйича кетишини кўрасмиз бу 30.10а расмда тасвирланган.



Рас. 16.10. а Берилган она ядролар сони N –экспоненциаль қонун бўйича камаяди; б –бир секундда емирилиш ҳам экспоненциаль бўйича камаяди.

Вақит бирлиги ичида емирилишлар сони, ёки R емирилиш катталиқ қиймати ва активлиги дейилади. Бу катталиқ доимо мусбат қийматга эга бўлади. Вақит бирлиги ичидаги наъмунанинг активлиг қуйдагига тенг бўлади.

$$R = \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right| = R_0 e^{-\lambda t}, \quad (30-5)$$

Буерда бошланғич активлиги $R_0 = |\Delta N / \Delta t|_0$

Маълум радиоактив изотопларнинг ярим емирилиши 10^{-22} дан 10^{28} с (10^{21} йил) оралиғида бўлади. Бундан кўринадики ярим емирилиш емирилиш доимийсига тескари пропорционал бўлади.

Изотопнинг емирилиш даври қанча катта бўлса, изотоп шунча секин емирилади ва λ -кам бўлади. Аниқ муносабатни 30.4. формулада кўриш мумкин. Агар $t = T_{1/2}$ да $N = N_0/2$ бўлса $N_0/2 = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}. \quad (30-6)$$

Мисол. $^{22}_{11}\text{Na}$ нинг ярим емирилиш даври 2.6 йилга тенг. Натрий $^{22}_{11}\text{Na}$ изотопининг 10- μg дан 7.8 йилдан кейин қанча қолади?

А) қолмайди б) $1/8 \mu\text{g}$ с) $1/4 \mu\text{g}$ д) $1/2 \mu\text{g}$ е) $0.693 \mu\text{g}$.

Ярим емирилиш формуласини келтириб чиқариш.

30-6. формулани келтириб чиқариш учун $N = N_0/2$ ва $t = T_{1/2}$

$$\ln(e^{\lambda T_{\frac{1}{2}}}) = \ln 2,$$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{\frac{1}{2}}}$$

$$\lambda T_{\frac{1}{2}} = \ln 2 = 0.693$$

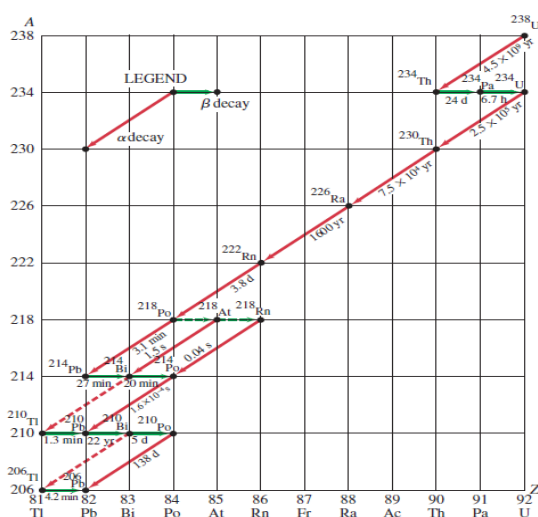
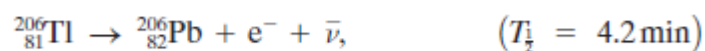
$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{\frac{1}{2}}}$$

$$e^{\lambda T_{\frac{1}{2}}} = 2.$$

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda},$$

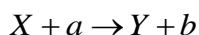
Емирилиш турлари

Шундай ҳолатлар тез тез учраб туради, бита радиоактив изотоп иккинчи изотопга яқинлашганда у изотоп ҳам радиоактив бўлиб қолади. Бу жараёнга емирилиш турлари дейлади. Бу жараённинг бориш 16-11 расмда тасвирланган. Бундай кетма кетликда емирилиш сериясидан кўринадики ҳар бир ҳосил бўлган ядролар худди дарахит шохига ўхшаш равишда емирилади. Мисол учун ${}_{93}\text{U}^{238}$ α- емирилишдан кейин ${}_{90}\text{Th}^{234}$ элементиға айланади, у ўз навбатида ${}_{91}\text{Pa}^{234}$ элементиға айланади. Мисол тариқасида теллур ва кўрғошин изотоплрининг емирилиши қуйида кртирилган.

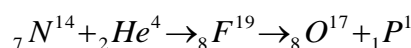


16.12.расм.Шундай радиоактив емирилиш схемаси орқали бир қанча элементлар топилди. Қуёш системаси (Ер билан бирга) 5 миллиард йил олдин пайдо бўлган бўлса, у пайтда барча нуклонлар мавжуд бўлган. Бир қанча қисқа яшовчи изотоплпр тез емирилади шунинг учун улар табиатда учрамайди. Узок яшовчи, ярим емирилиши ката изотоплар ҳозиргача мавжуд бўлиб ҳозиргача ҳам мавжуд. Даслабкининг яrimi ҳозиргача мавжуд. Биз шуни кутишимиз мумкин эдики барий ярим емирилиш 1600 йилга тенг.

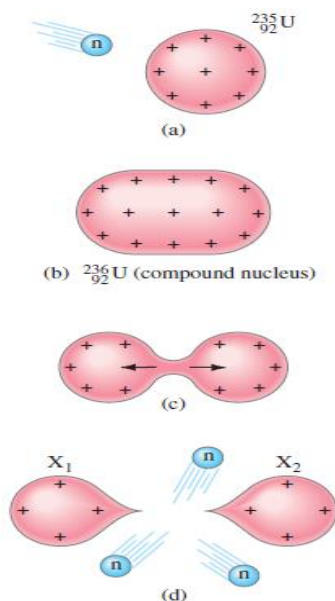
Ядро реакциялари. Ядро реаксиялари – бу ядроларнинг элементар зарралар (γ - зарралар билан ҳам) билан тўқнашуви натижасида бўлаклариға бўлиниб кетишиға айтилади:



X - бирламчи ядро, Y -натижавий ядро, a ва b лар бомбардировка қилувчи ва реаксия натижасида ҳосил бўлувчи элементар зарралар. Биринчи ядро рьяктсиясини э. Резерфорд 1919 йилда амалға оширди. У азот ядросини α - заррача билан бомбордировка қилди ва натижада кислород изотопи ${}_{8}\text{O}^{17}$ ҳосил бўлди.



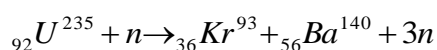
Ядро реаксиялари жуда кўп ва улар жуда кенг равишда тадқиқот қилинган.



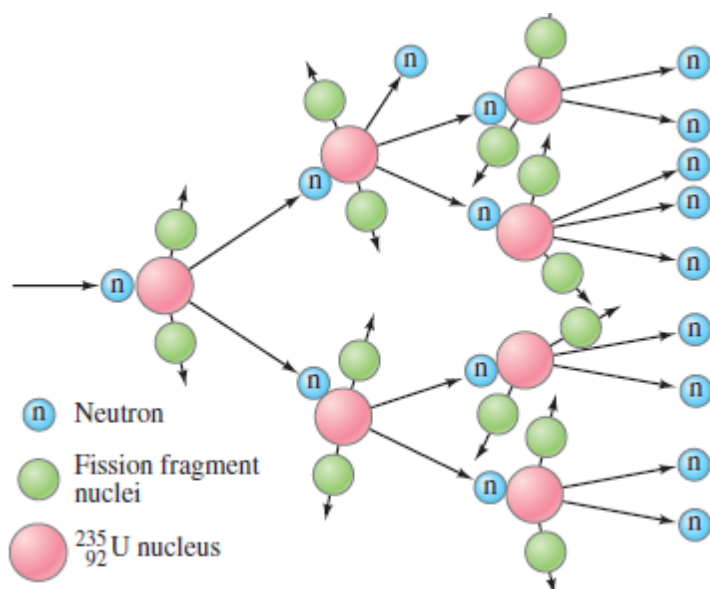
16.13. расм

Ядронинг бўлиниш реакцияси ва занжир реакциялар. Ядро иккига бўлиниб кетиш учун у қўзғалган ҳолатга ўтиш керак, бунинг учун унга етарлича энергия бериш керак, масалан α - заррача билан ёки нейтрон билан бомбордировка қилиб. 1938 – 40 йилларда кўпгина Европа давлатларида уран ядроларини нейтрон таъсирида бўлишни кашф этилди. Бу реакцияни қуйидагича тушунтириш мумкин. Нейтронни тортиб олган уран ядроси U қўзғалган ҳолатга ўтади ва деформацияланади (16.13-расм).

Агар берилган энергия унчалик катта бўлмаса ядро ортиқча энергиядан γ - фотонни ёки нейтронни нурлатиб қутилади. Лекин ядрони қўзғатган энергия етарлича катта бўлса, ядро чўзилиб ўрта қисми ингичка бўла бошлайди, икки чети шишабошлайди, шишган икки чети мусбат зарядга эга бўлади (16.13-расм). Шундай пайт келадикки, энди ядро кучлари бу икки мусбат шарчасимон қисмлар ўртасидаги итариловчи Кулон кучларини енгаолмайди ва U ядроси икки бўлакка бўлиниб кетади. Бундан ташқари яна 2 та нейтрон ҳам отилиб чиқади. Бу нейтронларнинг энергияси 1 эв дан то 10 Мев гача бўлиш мумкин. 1,5 Мев дан энергияга эга нейтронлар тез нейтронлар, 1,5 Мев дан кичик энергияли нейтронлар секин электронлар деб аталади. Ҳосил бўлган бўлаклар ўз навбатида радиоактив бўлиши мумкин. Мисол тариқасида актиноураннинг криптон ва барийнинг изотопларига ва 3 та нейтронга бўлиниб кетишини келтириш мумкин:



Лекин катта энергия ажралиб чиқиши учун «ёқилғи» ядроларнинг кўп қисми бўлиниши керак. Бунинг учун ядро реакцияларининг ўз – ўзидан ривожланиб кетадиган бўлиши керак, бошқача айтганда, занжирсимон реакция юз бериши керак; ҳар бир ядро бўлинганда энергияси катта бўлган нейтрон ҳосил бўлиши керак ва бу нейтрон навбатдаги бўлиниш реакциясига олиб келади. Уран занжир реакция анчагина осон уран - 235 да юз беради (16.14-расм).



16.14-расм

Саноатда ядро энергиясини олиш учун занжир реактсиясини бошқариб турилиши керак. Бунинг учун «ёқилғига» (уранга) нейтронларни ютадиган стергенлар тикиб қўйилади. Шунда бўлиниш реактсияси шиддат билан (кўчкига ўхшаб) ривожланиб кетмайди, у бир меёрда юз бериб туради. Бундай реактсия атом стантсияларида энергия ишлаб чиқаришда ишлатилади.

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

Атом, ядро, протон, электрон, нейтрон, заряд, ядро массаси, боғланиш энергияси, ядровий кучлар, ядровий боғланиш, радиоактивлик, α -емирилиш, β -емирилиш, γ -емирилиш, ядровий реактсиялар, реакторлар, термоядро реактсиялари.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Атом ядроси қандай тузилган.
2. Ядро таркибидаги протонлар, нейтронлар сони ядрони қандай хусусиятларга эга қилади.
3. Ядро ўлчами қандай. Массаси-чи.
4. Ядровий кучларнинг қандай хусусиятлари мавжуд.
5. Боғланиш энергияси моҳияти қандай.
6. Радиоактивлик қандай ҳодиса.
7. Радиоактив емирилишнинг қандай турлари мавжуд.
8. Ядровий реактсияларнинг табиати қандай.

9. Занжир реаксия қандай содир бўлади.