

MEXANIKA VA MOLEKULYAR FIZIKA



O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS
TA‘LIM VAZIRLIGI

O‘RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA‘LIMI MARKAZI
O‘RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA‘LIMINI RIVOJLANTIRISH
INSTITUTI

M.X. O‘LMASOVA

MEXANIKA VA MOLEKULYAR FIZIKA

1- kitob

Akademik litseylar uchun o‘quv qo‘llanma

Professor B.M. Mirzaahmedov tahriri ostida

Tuzatilgan 2- nashri

25 06 10
828

~~2003~~
511/4

TOSHKENT — „O‘QITUVCHI“ — 2004

Taqrizchilar: TAQI „Fizika“ kafedrasining mudiri, institut qoshidagi litsey direktori A.S. NO‘MONXO‘JAYEV; fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent, katta ilmiy xodim N.N. BOLTAYEV; ToshTYMI qoshidagi „Mirobod“ akademik litseyining oliy toifali o‘qituvchisi, fizika-matematika fanlari nomzodi, L.F. PO‘LATOVA; Nizomiy nomli TDPU qoshidagi akademik litsey direktori, pedagogika fanlari nomzodi, dotsent R.G. ISYANOV.

O‘ $\frac{1604010000 - 148}{353 (04) - 2004}$ Qat. buyurt. – 2004

ISBN 5–645–04246–8

© „O‘qituvchi“ nashriyoti, T., 2003-y.

KIRISH

Respublikamiz mustaqillikka erishgandan so'ng o'zining kelgusi taraqqiyot yo'lini — bozor iqtisodiyotiga asoslangan yo'lni tanladi.

Bozor iqtisodiyotining asosini raqobat tashkil etadi. Bu esa hayotimizning hamma sohalarida tub o'zgarishlarni amalga oshirishni talab qiladi. Bunda ishlab chiqariladigan mahsulotlar va ko'rsatiladigan xizmatlar jahon andazalariga mos, raqobatbardosh bo'lishi kerak. Bu, o'z navbatida, kadrlarimizni, ayniqsa, yoshlarimizni chuqur va har tomonlama bilimdon bo'lishini taqozo qiladi. Shu bois respublikamizda ta'lim tizimini tubdan o'zgartirish haqida farmon chiqarildi va u amalga oshirilmoqda. Umumiy ta'lim maktablari, akademik litseylar va kasb-hunar kollejlari, oliy ta'limning bakalavr va magistr bosqichlari kadrlar tayyorlash tizimining asosini tashkil qiladi. Tabiiyki, bu bilim dargohlarida o'qitish va amaliy mashg'ulotlar butunlay yangi o'quv dasturlari asosida olib boriladi. Yangi dasturlarda berilajak bilimning bosqichma-bosqich chuqurlashuvi va amaliy tatbiqi o'z aksini topgan.

Hozirgi kunda O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining O'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi markazi va „O'qituvchi“ nashriyoti tomonidan ana shu dasturlar talabiga javob beradigan bir qator darslik va o'quv qo'llanmalar yaratildi va chop etildi. Muallif ham Nizomiy nomidagi Toshkent davlat pedagogika universitetida uzoq yillar davomida olib borgan ilmiy-pedagogik tajribasiga tayanib, akademik litseylar uchun fizikadan ushbu o'quv qo'llanmani yaratishga jazm qildi.

Qo'llanma O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining O'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi markazi tomonidan tasdiqlangan aniq va tabiiy fanlar yo'nalishidagi akademik litseylar uchun fizikadan o'quv dasturi asosida yozildi. Qo'llanmaning kirish qismida ilmiy qarashning vujudga kelishi va rivojlanishi qisqacha bayon etilib, bunda IX—XIII asrlarda yashab ijod etgan yetuk allomalar Abu Nasr Forobiy, Abu Rayhon Beruniy, Abu Ali ibn Sino, Umar Xayyom, Umar al-Chag'miniy kabi buyuk vatandoshlarimizning fizikaga oid ishlari va fikrlari haqida, ulardan bir necha asr keyin shakllangan fizika fanining asosiy qonunlarini va tushunchalarini o'z kuzatishlari va ilmiy izlanishlaridan kelib chiqib bashorat qila bilganlari haqida gap yuritiladi.

Shuningdek, O'zbekistonda fizika va texnikaning taraqqiyoti bo'yicha olib borilayotgan ilmiy va amaliy ishlar, bunda bir qator o'zbek akademik olimlarining qo'shgan va qo'shayotgan salmoqli hissaları ham qisqacha yoritildi.

Qo'llanmada fizika kursining mexanika bo'limining kinematika, dinamika, statika hamda suyuqlik va gazlar mexanikasi, molekulyar fizika bo'limining molekulyar- kinetik nazariya asoslari, termodinamika asoslari, suyuqlik va gazlarning o'zaro aylanishi, suyuqliklarda sirt taranglik va qattiq jismlar fizikasi dasturga mos ravishda iloji boricha to'la yoritilishiga harakat qilindi.

Akademik litseylarning fizikadan o'quv dasturi o'rta maktab va oliy ta'limdagi dasturlardan farq qilib, ular orasidagi oraliq holatni egallaydi. Shuning uchun qo'llanmada nazariy qismning bayonida o'rta maktabda beriladigan fizik tushunchalardan keng foydalanilgan bo'lsa, ba'zan oliy ta'lim dasturiga kiradigan mavzular o'quvchilarga tushunarli tarzda soddaroq bayon etildi.

Ushbu qo'llanmani yaratishda muallif fizikaning faqat nazariy qismini bayon etish bilan chegaralanib qolmadi. Balki materialning nazariy qismi tugallanishidan so'ng shu qismga kirgan har bir mavzuga oid tipik masalalar tanlanib, ularning izohli yechimi berildi. Bundan tashqari, yechimi ko'rsatilgan har bir tipik masalaga mos bir yoki bir necha masala mustaqil yechish uchun berildi. Ilovada barcha masalalarning javoblari keltirildi.

Shu bilan birga, o'quvchilarning o'z nazariy bilimlarini nazorat qilishlariga imkoniyat beruvchi savollar ham berildi.

Ushbu o'quv qo'llanma bilan tanishib chiqib, o'z maslahatlari bilan uning sifatini yaxshilashga hissa qo'shgan f.m.f.n., prof. J.A. Toshxonovaga, f.m.f.n., katta ilmiy xodim S. Gaipovga, ped. f.n., dots. J. Kamolovga va ped. f.n., dots. T. Lutfullayevaga muallif o'z minnatdorchiligini bildiradi.

Shuningdek, mazkur qo'llanmaning ilmiy va metodik sifatini yaxshilashda o'slarining munosib xissalarini qo'shgan p.f.d., prof. B.M. Mirzaahmedovga, f-m. f.n., dotsent A.S. No'g'monho'jayevga, f-m.f.n. L.F. Po'latovaga, p.f.n., dotsent R.G. Isyanovga va f-m.f.n., katta ilmiy xodim M.N. Boltayevga muallif o'zining samimiy minnatdorchiligini izhor etadi.

1- §. Fizika va tabiiy fanlar orasidagi bog‘lanish

Tabiatda real mavjud bo‘lgan va bizning sezgi a‘zolarimiz yoki maxsus asboblari vositasida sezish mumkin bo‘lgan barcha borliq fanda *materiya* deb ataladi. Materiyaga elementar zarralar (elektronlar, protonlar, neytronlar va boshqalar), shunday zarralar yig‘indisi (atomlar, molekulalar, ionlar), fizik jismlar (ko‘plab atomlar va molekulalarning majmuyi) va fizik maydonlar (gravitatsion, elektromagnit maydonlar va hokazolar) kiradi. Bu maydonlar vositasida turli moddiy zarralar o‘zaro ta’sirlashadi.

Olimlar tabiatni ko‘p asrlar davomida o‘rganib, materiya harakatsiz yashay olmaydi, harakatsiz materiya ham bo‘lmaydi, harakatni materiyadan ajratib va yo‘q qilib bo‘lmaydi, ya’ni *harakat materiyaning ajralmas xossasidir*, degan xulosaga keldilar. Harakat deganda materiyaning tabiatda bo‘ladigan barcha o‘zgarishlari, bir turdan ikkinchi turga aylanishlari va barcha jarayonlar tushuniladi.

Tabiatda sodir bo‘luvchi barcha harakatlar va jarayonlar muayyan qonunlar bo‘yicha yuz beradi. Turli jarayonlar va hodisalar orasidagi qonuniy bog‘lanishni ochish va o‘rganish har qanday fan tarmog‘ining bosh maqsadi hisoblanadi. Buni bilish esa tabiatdagi biror hodisa qanday yuz berishini oldindan bilishga, ya’ni kelajakni oldindan aytishga va o‘tmishni izohlashga yordam qiladigan usullarni o‘rganish uchun kerak. Shundagina tabiat hodisalaridan inson manfaati uchun foydalanish mumkin.

Fizika—tabiat qonunlari o‘rganiladigan asosiy tabiiy fanlardan biri bo‘lib, materiya harakatining eng sodda va shu bilan birga eng umumiy shakli bo‘lgan mexanik, atom-molekulyar, gravitatsion, elektromagnit jarayonlarni, shuningdek, atom ichidagi va yadro ichidagi jarayonlarni o‘rganadi. Fizik harakat shaklining bu ko‘rinishlari shuning uchun ham umumiyki, bu harakat shakllari materiyaning boshqa fanlar o‘rganadigan barcha, yanada murakkabroq (kimyoviy, biologik) harakatlarida bo‘ladi va ularning ajralmas qismidir.

Biroq fizikaning boshqa fanlar bilan bog‘lanishi shuning o‘zidagina iborat bo‘lmay, balki fizika yana barcha tabiiy va amaliy fanlarning muvaffaqiyatli rivojlanishi uchun zarur bo‘lgan tadqiqotlarni ishlab chiqishga va asboblarni yaratishga imkon beradi. Hozirgi vaqtda bu fanlarning alohida fizik bo‘limlari bor: astronomiyada—astrofizika, biologiyada—biofizika, kimyoda—fizikkimyo, elektrotexnikada—elektrofizika, geologiyada—geofizika va hokazo. Shuning uchun fizika barcha tabiiy va amaliy fanlarning yaratilishi uchun poydevordir, deyish mumkin.

Tabiat haqidagi fanlar ichida texnika taraqqiyoti uchun fizika eng katta ahamiyatga ega, chunki fizika qonunlari texnikada ko‘p qo‘llaniladi. Fizika sohasidagi yangi kashfiyotlar mavjud texnikaning yaxshilanishiga yoki yangi texnikaning paydo bo‘lishiga sabab bo‘ladi. Texnikaning taraqqiyoti, o‘z navbatida, fanning yanada rivojlanishiga olib keladi.

XX asrda fizika sohasida ko‘plab muhim kashfiyotlar qilindi. Fiziklarning eng muhim kashfiyotlaridan biri yadro energiyasini amaliy hosil qilish usullarini ishlab chiqish va undan xalq xo‘jaligida foydalanish bo‘ldi, atom elektrostansiyalari va atom muzyoralar kemalari qurildi.

Juda yuqori temperaturali va yuqori bosimli bug‘ hosil qilish usullarini tadqiq qilish asosida katta quvvatli bug‘ turbinalari qurildi. Havoda jismning tovush tezligida va tovushdan tez harakat qonunlarini o‘rganish va reaktiv dvigatellar sohasida qo‘lga kiritilgan yutuqlar asosida samolyotsozlikda va raketsozlikda katta muvaffaqiyatlarga erishildi. Koinotga Yerning sun‘iy yo‘ldoshlari chiqarildi va sun‘iy „sayyora“ yaratildi: inson kosmosga qadam qo‘ydi. Oyga, Veneraga va Marsga avtomatik stansiyalarni qo‘ndirish amalga oshirildi va hokazo. Bularning hammasi fanning turli sohalarida, jumladan, fizika sohasida erishilgan ulkan yutuqlar tufayli mumkin bo‘ldi.

2- §. Fizika taraqqiyoti tarixidan

Ilmiy dunyoqarashning vujudga kelishi va rivojlanishi. O‘rta Osiyo va o‘zbek olimlarining fizikani rivojlantirishdagi roli.

Bizni o‘rab olgan butun mavjudot (shu jumladan, biz insonlar ham) moddiy dunyoni, ya‘ni materiyani tashkil qiladi. Materiya

turli ko‘rinish yoki shaklda mavjud bo‘ladi. Materiyaning atrofimizdagi barcha jismlarni tashkil etgan bir shakli modda deb ataladi. Vaqt o‘tishi bilan tabiatdagi jismlarda turli o‘zgarishlar yuz beradi. Jismlarning bir-biriga nisbatan harakati, moddalarning bir holatdan ikkinchi holatga o‘tishi, moddalarning kimyoviy o‘zgarishlari, yulduzlar va Quyoshdagi temperatura o‘zgarishlari va materiyaning bir ko‘rinishdan boshqa ko‘rinishga o‘tishi kabi murakkab o‘zgarishlar bunga misol bo‘la oladi. O‘simlik va hayvonot olamida yanada murakkabroq o‘zgarishlar ro‘y beradi. Tabiatda vaqt o‘tishi bilan o‘zgarib qolgan hech bir narsa yo‘q. Eramizdan avvalgi VI asrdayoq grek olimi Geraklit „Hamma narsa harakat qiladi, hamma narsa o‘zgarib turadi“, deb ta‘lim bergan edi.

Odam ham ana shu hamisha o‘zgarib turadigan dunyoda yashaydi. Yashash va ishlash uchun yashash vositalarini yaratish kerak. Yashash vositalarini ishlab chiqarish uchun kishilar turli ishlab chiqarish qurollarini yaratdilar. Bunday qurollar vazifasini dastlab oddiy yog‘och va tosh parchasi bajargan bo‘lsa, hozirgi vaqtda zamonaviy mashinalar bajaradi.

Kishilar yashash vositalarini topish va shu jarayon davomida tabiatga ta‘sir ko‘rsatishi natijasida tabiat hodisalarini bila bordilar. Shunday qilib, asta-sekin tabiat haqidagi fanlar, jumladan, fizika ham vujudga keldi.

Fizikaning taraqqiyoti kishilik jamiyatining madaniy tarixi bilan uzviy bog‘langandir. Bizning vaqtgacha saqlanib kelgan Misr piramidalari va qadimiy qurilmalarning boshqa qoldiqlari asosiy muvozanat qonunlari haqida qadimiy xalqlar muayyan bilimlarga ega bo‘lganlar deb hisoblashga majbur qiladi. Chunki bunday bilimga ega bo‘lmay turib, bu kabi buyuk inshootlarni yaratish mumkin bo‘lmas edi. Yunon faylasufi **Aflotun** (miloddan avvalgi 384–322-yillar) qadimiy kishilarning mexanika sohasidagi bilimlarini umumlashtirdi. Biroq kuch va harakatni bog‘lovchi asosiy qonunni noto‘g‘ri ta‘riflagan edi (uning fikricha, jismlarning harakati faqat tashqi kuchlarning ta‘siridagina mavjud bo‘ladi, jism qancha og‘ir bo‘lsa, u shuncha tez tushadi). Bu qonun XIX asrdan keyingina aniqlandi.

Barcha mashinalarning tuzilishi asoslangan bosh qonun — richagning muvozanati qonuni va suzuvchi jismlarning muvozanati

qonunlari **Arximed** (miloddan avvalgi III asr) tomonidan juda aniq ko'rsatilgan edi. Shu vaqtdan boshlab mexanika to'la ma'nodagi fan sifatida taraqqiy qila boshladi.

Yaqin Sharq va O'rta Osiyo mamlakatlarida dunyoni ilmiy tushunish Yevropaga nisbatan ancha ilgari boshlangan edi. Buyuk vatandosh allomalarimizning dunyoni ilmiy asosda tushunishga qaratilgan ilmiy bashoratlari bunga yorqin dalil bo'la oladi.

Buyuk bobokalonlarimiz Abu Rayhon Beruniy, Abu Ali ibn Sino, Umar al-Chag'miniy, Abu Nasr Forobiy va boshqalar fizikaning rivojlanishiga ulkan hissa qo'shdilar.

Abu Rayhon Beruniy (973–1050). Beruniy o'zi yasagan asbob yordamida metallarning va boshqa moddalarning zichligini aniqlagan. Suvning zichligini aniqlashda amaliy ko'rsatmalar beradigan, xususan, suvning xossalariga yilning to'rt fasli va havo holati (bosimi va temperaturasi) ta'sirini oldini olish uchun suvni har doim va bir joydan, bir vaqtda olish kerak, deb hisoblagan. Demak, Beruniy suvning zichligi uning tozaligiga va temperaturaga bog'liq deb hisoblaydi.

Beruniy Yerning Quyosh atrofidagi harakati haqida fikr bildirib, geotsentrik nazariyani juda zararli deb hisobladi. U aylanma harakat qilayotgan jismlarda jismning turli nuqtalarida chiziqli tezligi turlicha bo'lishini alohida qayd qilib o'tadi. Jumladan, Yerning ekvatorga yaqin joylardagi nuqtalari tezligining qutbga yaqin joylardagi nuqtalarning tezliklariga nisbatan ortiq bo'lishini alohida eslatib, bunday deydi: „Aynan jismning ekvatoridagi vazni qutbdagidan kamroq bo'ladi. Buning boisi shundaki, Yer ekvatorining harakat tezligi Qutbga nisbatan ortiqroqdir... Falakdagi jismlar ham Yerdan uzoqligi va aylanma harakati sababli qushlar kabi uchib yurishi haqiqatga yaqinroqdir“.

Demak, Beruniy Yerning ekvator qismidagi jismning tezligi qutbdagisidan kattaroq bo'lgani va Yerning tortishish maydonidan uzoqroqda bo'lganligi sababli falakdagi jismlar o'z og'irliklarini yo'qotib, vaznsizlik holatida bo'lishini bashorat qiladi.

Bu hodisani kosmonavtlarning kosmik kema ichidagi holatlari misolida ko'rishimiz mumkin.

Beruniy dengiz va okean suvlarining sirtini sferik shaklda bo'lishligining sababini og'irlik kuchi deb hisoblaydi. Uning fikricha,

Yerning o'zi sharsimon, ya'ni sharga yaqin shaklda, og'irlik kuchi hamma tomondan Yerning markaziga tortilib turadi. Okean va dengiz suvlarining og'irlik kuchi tufayli Yerning markaziga tortilib turishi natijasida ularning sirti ham sferik shaklda bo'ladi. Beruniy Yerning sharsimon ekanligini tasdiqlash bilan kifoyalanmay, uni to'laroq tasavvur qilish uchun 995- yili (22 yoshida) jahonda birinchi globusni yasadi. Undan shaharlarning geografik koordinatalari va masofalarini aniqlashda foydalandi.

Bundan tashqari, Beruniy hatto atomdan keyingi bo'lakchalar orasida ham o'zaro tortishish kuchi mavjudligini eslatadi. U Ibn Sinoga yo'llagan maktublaridan birida „Ayrim faylasuflar atomni bo'linmaydi, ya'ni undan (atomdan) ham kichikroq bo'laklar yo'q, deb hisoblaydilar... . Ikkinchi yana bir guruh olimlar esa atomning bo'linishiga chegara yo'q deb hisoblaydilar... . Agar atomning bo'linishi ular aytganlaridek cheksiz bo'lganida edi, materiya yo'q bo'lib ketar edi. Ammo buning bo'lishi mumkin emas, materiya abadiydir... . Faraz qilaylik, atom ikki bo'lakka bo'linsin. Bu bo'lakchalar orasida bo'shliq bo'lib, bu bo'lakchalar harakatda va ul bo'lakchalar orasida o'zaro ta'sir kuchi mavjuddir“ deb yozadi.

Ma'lumki, atom tarkibida elektron va proton bo'lib, elektron Yevropada XIX asrning oxirlarida kashf qilindi. Beruniy esa ana shu zarralar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlarini eslatib o'tish bilan birga, jismlar orasida ham, osmon jismlari bilan Yerning orasida ham o'zaro tortishish kuchi mavjudligini eslatadi. Beruniyning bu g'oyalari qariyb olti asr keyin **I. Nyutonning** Butun olam tortishish qonunida takomillashib, o'zining to'liq ifodasini topdi.

Beruniyning ilmiy kuzatishlari, unga osmon jismlarining harakati ellips shaklida bo'ladi, deb aytishiga asos bo'ldi. Jahonning eng yirik sharqshunos olimlaridan akademik **M.A. Salye** Beruniyning bu kashfiyotini sharhlab, bunday deydi: „Beruniy kashf etgan yana bir g'oya bor. U birinchilardan bo'lib, osmon jismlari harakatining trayektoriyasi ellips shaklga ega ekanligini aytgan“.

Beruniy haqiqatan ham XVII asrning eng buyuk kashfiyotlaridan hisoblangan sayyoralarning Quyosh atrofidagi harakat

trayektoriyalarining elli ps ekanligini o‘zining o‘tkir aql-u zakovati va kuzatishlaridan kelib chiqib bashorat qila bildi.

Abu Ali ibn Sino (980–1037). Ibn Sino garchand tibbiyot ilmining sultoni bo‘lib tanilgan bo‘lsa ham, boshqa fanlar qatori fizika, ayniqsa, astronomiya fanining rivojlanishiga ulkan hissa qo‘shgan buyuk bobokalonlarimizdan biridir.

Ibn Sino o‘zining fizikaga oid kitobida „fizika“ faniga ta’rif berib, fizikaning harakatga munosabatini quyidagicha ta’riflaydi: „Materiyadagi miqdor va sifat holatlarining harakat va tinchlik bilan bog‘liqligi fizika va matematika fanlariga tegishlidir. Fizika tabiat haqidagi fandır. Tabiat haqidagi fan esa materiya va harakat bilan bog‘liqdir“.

Ibn Sino harakat sabablarining, asosan, uch xil turini eslatib o‘tadi: 1) tabiiy harakat, 2) majburiy harakat va 3) nisbiy harakat.

Ibn Sino tabiiy harakatni jismlarning o‘z tabiiy o‘rinlariga intilishidir deb hisoblaydi. Masalan, qizigan gazlarning yuqoriga ko‘tarilishi yoki jism soviganda zichligining ortishi natijasida pastga tomon harakatlanishi kabi harakatlar tabiiy harakat bo‘ladi. Ibn Sino tabiiy harakatning to‘g‘ri chiziqli yoki aylanma harakat shaklida ham bo‘lishi mumkinligini qayd etadi.

Ibn Sino majburiy harakat jismlarning o‘z-o‘zidan yuz beradigan harakati emas, balki tashqi kuchlarning ta’sirida vujudga keladigan harakat deb izohlaydi. Masalan, yerdagi to‘pni tepilgandan so‘ng uning harakatlanishi, aravachani itarish natijasida siljishi kabi harakatlar majburiy harakat bo‘ladi.

Ibn Sino nisbiy harakat deganda bir jismning ikkinchi bir harakat qilib turgan jismning ichida turgan holatidagi o‘ziga bog‘liq bo‘lmagan harakatni nazarda tutadi. Masalan, harakatdagi avtobusning ichida tinch o‘tirgan yo‘lovchining avtobus bekatiga nisbatan harakati nisbiy harakat bo‘ladi.

Dinamikaning birinchi va ikkinchi qonunlari ham Ibn Sinoning nazaridan chetda qolmagan. U o‘zining fizikaga oid kitobida inersiyaga oid misollarni eslatib o‘tadi. Dinamikaning ikkinchi qonunini bashorat qilganini kitobida keltirgan quyidagi so‘zlardan tushunish qiyin emas.

„Ikkita shar (zo‘ldir) oling. Bu sharlarning kattaliklari har xil bo‘lsa, sabab bir xil bo‘lgan vaqtda, ularning oqibatlari har xil

bo'ladi. Birinchi shar ikkinchisidan necha marta katta bo'lsa, uning oqibati ikkinchi sharga nisbatan shuncha marta kichik bo'ladi yoki, aksincha, birinchi shar ikkinchi shardan necha marta kichik bo'lsa, uning oqibati ikkinchi sharnikidan shuncha marta katta bo'ladi". Ibn Sino sabab deb kuchni, oqibat deb tezlik o'zgarishi yoki tezlanishni nazarda tutadi.

Ibn Sinoning yuqorida keltirilgan so'zlarini umumiy holda „Kuch o'zgarimas bo'lganda, tezlik o'zgarishi yoki tezlanish massaga teskari proporsional bo'ladi“, deb ifodalash mumkin.

Og'ir yuklarni yuqoriga chiqarishda yo'lning hisobiga kuchdan yutish muammosi ham Ibn Sinoning e'tiboridan chetda qolmagan. Shu munosabat bilan Ibn Sino o'zining „Mexanika“ deb nomlangan ajoyib kitobida 30 dan ortiq oddiy va murakkab mexanizmlarning yasalishi va ulardan foydalanish usullarini bayon qiladi.

Garchand, oddiy ibtidoiy mashinalar haqidagi tushunchalar Aflotun asarlarida va richaglar qonuni Arximed asarlarida uchrasa ham, ularning takomillashib rivojlangan shaklini Ibn Sino asarlarida ko'ramiz.

Tovush, tovush to'liqlari, nota, musiqa nazariyasiga asos solgan, ko'p tillarda erkin gaplasha olgan va buyuk yunon olimlarining juda ko'p ilmiy va madaniy meroslarini arab tiliga tarjima qilib bizgacha yetkazgan, jahonda ikkinchi Aflotun yoki ikkinchi muallim nomi bilan mashhur bo'lgan buyuk alloma **Abu Nasr Forobiy**; „Yerning Quyosh atrofida aylanishidan fasllar hosil bo'ladi“ deb, Kopernikdan bir necha asr ilgari geliotsentrik ta'limotning o'ziga xos bayonini bergan, „Yer, Quyosh, Oy—bularning hammasi harakatda bo'lib, harakat yo'llari boshqaboshqadir, shu sababli ularning harakati bir-biriga xalal bermaydi“ deb sayyoralarning ellips bo'yicha harakat qilishini bashorat qilgan yetuk mutafakkir, qomusiy olim **Umar al-Chag'miniy** (XII—XIII asrlar); hozirgi vaqtda foydalanilib kelayotgan taqvimimizdan deyarli bir yarim marta aniqroq bo'lgan taqvim yaratgan buyuk shoir **Umar Xayyom** (1048—1131) va shu kabi o'tmishda nomlari unutilgan mashhur vatandosh olimlarimiz meroslaridan jahon fani va madaniyatini yuksaltirishga Markaziy

Osiyo xalqlari, shu jumladan, o'zbek xalqi vakillari ham salmoqli hissa qo'shganligiga yana bir bor ishonch hosil qilamiz.

O'rta asrlar olimlari ilmiy izlanishlari va texnika taraqqiyoti bilan bog'liq amaliy ishlari natijasida yangi-yangi ma'lumotlar olib, bir qator muvaffaqiyatlarga erishgan bo'lsalar ham Aflotunning jismlar harakatining asosiy qonuni haqidagi noto'g'ri tasavvurlariga amal qilishda 19 asr davom etdilar. Faqat XVII asrda **G. Galiley** jismlar harakatining asosiy qonunini to'g'ri ochib berdi. Bu qonunni hamda o'z zamonasidagi olimlarning yutuqlarini bilgani holda buyuk olim I. Nyuton o'zining nomi bilan yuritiladigan uchta qonunni yaratdi. Nyuton qonunlari hozirgacha amaliy va texnik masalalarni yechishda ham, ilmiy tadqiqotlarda ham qo'llanilib kelinmoqda.

Keyingi XVIII, XIX va XX asrlarda fizika sohasida olib borilgan chuqur va har tomonlama keng nazariy va eksperimental ilmiy tadqiqotlar shunga olib keldiki, oqibatda hozirgi zamon fizikasi ko'p sohali fanga aylandi. Har bir sohaning nazariyotchilari va eksperimentatorlari o'zlarining ilmiy izlanishlari bilan fizikaning yanada rivojlanishiga yo'l ochib bermoqdalar.

Mustaqil O'zbekistonimiz olimlari ham fizikaning taraqqiyotiga salmoqli hissa qo'shib kelmoqdalar.

O'zbekistonda fizikaning asosiy rivojlanishi o'tgan (XX) asrning 30- yillari boshlariga to'g'ri keladi. 1920- yil 7- sentabrda Toshkentda Turkiston universiteti (keyin O'rta Osiyo davlat universiteti, so'ngra Toshkent davlat universiteti va hozirda Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti) tashkil topdi. U yerda kadrlar tayyorlash bilan bir qatorda, fanning o'lka xalq xo'jaligi uchun zarur bo'lgan turli sohalari, jumladan, fizika fani ham rivojlana bordi. Universitet asosida turli oliy o'quv yurtlari yuzaga keldi va, nihoyat, 1943- yilda O'zbekiston Fanlar akademiyasi tashkil etildi.

Hozirgi kunda akademiyada faqat fizika sohasida ilmiy tadqiqot olib boruvchi uchta institut va bitta bo'lim mavjud. Ulardan biri 1943- yil 4- noyabrda tashkil topgan S.V. Starodubsev nomidagi fizika-texnika instituti (FTI), keyinchalik FTI ning bo'limlari asosida 1956- yili tashkil topgan Yadro fizikasi instituti (YFI), 1967- yilda tashkil topgan U.O. Orifov nomidagi Elektronika instituti (EI) va 1977- yilda tashkil topgan Teplofizika bo'limidir.

Bulardan tashqari, Mirzo Ulug'bek nomidagi Toshkent Milliy universiteti va Abu Rayhon Beruniy nomidagi Toshkent texnika universitetida hamda viloyatlardagi universitetlarda, jumladan, Samarqand davlat universitetida ham hozirgi zamon fizikasining turli sohalarida ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda.

Yuqorida qayd etilgan ilmiy tekshirish institutlari va universitetlarda o'tgan yillar davomida fizikaning taraqqiyoti, texnika va ilmiy ishlarning amaliyoti bo'yicha juda katta yutuqlarga erishildi, desak mubolag'a bo'lmaydi. Hozirgi vaqtda O'zbekiston olimlarining fizika va texnika taraqqiyoti bo'yicha olib borayotgan ilmiy ishlari quyidagilardan iborat.

Fizika-texnika institutining asosiy ilmiy yo'nalishi — yuqori energiyalar fizikasi, yarimo'tkazgichlar fizikasi, yuqori temperaturali materialshunoslik va Quyosh energiyasidan foydalanish. Birinchi yo'nalish bo'yicha ilmiy ishlar fundamental tadqiqotlar hisoblansa, qolgan yo'nalishlar bo'yicha olib boriladigan tadqiqotlar ko'pgina amaliy tatbiqlarga egadir. Masalan, yarimo'tkazgichlar fizikasi bo'yicha olib borilgan ishlarning natijalaridan o'zgaruvchan tokni o'zgarimas tokka aylantiruvchi to'g'rilagichlarni yasashda, turli optoelektron asboblarni, magnit maydonini o'lchovchi datchiklarni va shu kabilarni yaratishda foydalanilgan.

Quyosh energiyasidan foydalanish sohasida ham ancha yutuqlarga erishildi. Turar joylarni, issiqxonalarni quyosh energiyasidan foydalanib isitadigan turli qurilmalar, tibbiyot va qishloq xo'jaligida foydalanish uchun turli geliotexnik asboblari yaratilgan. Bulardan eng kattasi — 1000 kW quvvatga ega bo'lgan Katta quyosh pechi yaratilib, 1987- yilda Toshkent viloyatining Parkent tumanida ishga tushirilgan. Bu qurilma konsentratorining fokusida moddalarni 2700–3000 °C gacha qizdirish mumkin va uning yordamida muhim ahamiyatga ega o'ta sof keramika olish mumkin.

Yadro fizikasi institutining asosiy ilmiy yo'nalishlari — yadro fizikasi, qattiq jism radiatsion fizikasi, aktivatsion analiz, radiokimyoy va materialshunoslikdir. Fan va texnikaning turli sohalarida ishlatiladigan qattiq jismlarning xossalari o'zgartirishning radiatsion texnologiyalari yaratilgan.

Aktivatsion analiz yordamida tog‘ jismlari tarkibidagi turli elementlar — oltin, kumush, volfram, mis kabilarni aniqlash yo‘lga qo‘yilgan. Fosfor, yod, oltin va radiy elementlari asosida tibbiyotda turli kasalliklarni davolashda ishlatiladigan radioizotopli mahsulotlar ishlab chiqarish ham yo‘lga qo‘yilgan.

Elektronika institutining asosiy ilmiy yo‘nalishlari—emission elektronika va qattiq jism sirti fizikasidir. Bundan tashqari, ilmiy va analitik asbobsozlik, konstruksion va yarimo‘tkazgichlarning ion-elektron texnologiyasi bo‘yicha ham amaliy tadqiqotlar olib boriladi.

Ilmiy ishlarning natijalari asosida metallarda ingichka va nihoyatda uzun teshiklar yasay oladigan qurilma, metallar sirtidagi oksid va zanglarni tozalaydigan qurilma, qattiq jism va atmosfera tarkibidagi ba‘zi zaharli moddalarning juda kam darajada ham borligini aniqlaydigan qurilmalar yaratilgan.

Issiqlik fizikasi bo‘limining asosiy yo‘nalishi—bir jinsli bo‘lmagan muhitning issiqlik fizikasi va lazer nurlarining modda bilan o‘zaro ta‘siridan iboratdir. Bo‘limdagi tadqiqotlarning asosiy qismi — fundamental tadqiqotdir. Shu bilan birga, bo‘limda lazer nurlaridan tibbiyotda foydalanish bo‘yicha bir qator ishlar ham olib borilmoqda.

O‘zbekiston ilmiy maskanlarida obro‘li olimlarimizdan akademiklar S.U. Umarov, U. O. Orifov, S.V. Starodubsev, S.A. Azimov, E.I. Adirovich, R. Bekjonov, muxbir a‘zosi—G‘.Y. Umarovlar ijod qilganlar va tegishli sohalar bo‘yicha o‘z maktablarini yaratganlar. Hozirgi vaqtda bu maktablarni akademik olimlarimiz M.S. Saidov, A.K. Ataxodjeyev, P.Q. Habibullayev, B.S. Yuldashev, O‘.X. Rasulov va bir qator fidoyi olimlarimiz boshqarib, fizika va texnika taraqqiyotiga o‘zlarining munosib hissalarini qo‘shib kelmoqdalar.

Mustaqil O‘zbekistonning fizik olimlari o‘z tadqiqotlarini olib borishda hozirgi davrda dunyoda mavjud bo‘lgan yuqori aniqlikdagi zamonaviy fizik va texnik usullardan foydalanadilar. Bularga spektral analiz, massanaliz, energoanaliz, aktivatsion analiz, yadro spektroskopiyasi, emission spektrometriyaning har xil turlari, fotometriya va hokazolar kiradi.

Ko‘p hollarda biror hodisa yoki modda bir necha fizik usullarni qo‘llagan holda tekshiriladi. Buning ustiga tadqiqotning aniqligini

va obyektivligini oshirish uchun ko'p tadqiqotlarni avtomatik qayd qilish yo'li bilan, turli hisoblash mashinalari va kompyuterlardan foydalangan holda olib boriladi. Bular hozirgi zamon tadqiqot usullarining asosiy xususiyatlarini tashkil etadi.

3- §. Umumiy mulohazalar va ba'zi tushunchalar

Mexanikani o'rganishni boshlashdan avval fizika predmetiga va fizik tadqiqot usullariga oid ba'zi qisqa umumiy mulohazalarni kiritishni va ba'zi asosiy tushunchalarning ta'riflarini keltirishni lozim ko'ramiz.

1. Fizik hodisa yoki jarayon muayyan jismlarda vaqt o'tishi bilan sodir bo'luvchi qonuniy bog'langan o'zgarishlar majmuasidan iborat. Bu o'zgarishlar bevosita o'lchashlar orqali miqdoriy baholanadi.

2. Fizik tajriba. Jismlarda sodir bo'luvchi turli o'zgarishlar orqasidagi qonuniy bog'lanishlar tabiatda sodir bo'luvchi hodisalarni ularning tabiiy ko'rinishida ham, maxsus laboratoriya tajribalari vositasida kuzatishlar orqali ham o'rganiladi. Laboratoriya va texnik tajribalar, tabiat hodisalarini kuzatish fizika fanining asosini tashkil qiladi va bizning u yoki bu jarayon yo hodisa qonuniyatlarini haqidagi mulohazalarimizning negizi hisoblanadi. Ilmiy tahlil natijalarining tajriba natijalari bilan mos kelishi bizning tabiat haqidagi bilimlarimizning haqqoniyligi mezonini bo'ladi.

3. Fizik kattaliklar. Fizik jismlar, maydonlar va fizik hodisalarning muayyan xossalari xarakterlovchi kattaliklar *fizik kattaliklar* deyiladi. Masalan, jismning massasi, temperaturasi, harakat tezligi, ish, energiya va boshqalar fizik kattaliklardir.

Fizik kattaliklarning o'zgarishlarini hamma vaqt o'lchashlar orqali miqdoriy aniqlanadi. Kuzatishlar va tajribalar vaqtida fizik kattaliklarni aniq va to'g'ri o'lchash fizikadagi har qanday ilmiy tadqiqotning asosiy qismini tashkil qiladi.

4. Fizik qonunlar. Tabiatdagi barcha hodisa va jarayonlar bir-birlari bilan muayyan sababiy bog'lanishda bo'ladilar. Kuzatishlar va tajribalar asosida olimlar turli fizik kattaliklarning o'zgarishlari orasidagi qonuniy bog'lanishlarni ochadilar va muayyan o'zaro sababiy bog'lanishlarni o'rnatadilar. Bunday o'zaro sababiy

bog‘lanishlarni umumlashtirish natijasida fizik qonunlar kashf qilinadi. Bu qonunlarning to‘g‘riligi ulardan kelib chiqadigan xulosalarning tajribaga muvofiqligi bilan tekshiriladi.

5. Eksperimental va nazariy tadqiqotlar. Fizika eksperimental fan hisoblanadi. U amal qiladigan asosiy ma‘lumotlar va olimlar chiqaradigan xulosalar tajribadan, eksperiment natijasida olinadi. Bu qonuniyatlarni, asosan, matematika vositalari va usullari bilan o‘tkaziladigan nazariy tahlilsiz batafsil tekshirib bo‘lmaydi.

Olimlar murakkab hodisalar va jarayonlarni o‘rganayotganda hodisaning asosiy omillarini va taxmin qilinuvchi qonuniyatlarini aks ettiruvchi va hisobga oluvchi sxematik modellarini yasaydilar, matematik tahlil usullarini tekshirilayotgan jarayonning ham asosiy qonuniyatlarini, ham qo‘shimcha tafsilotlarini aniqlash uchun qo‘llashga imkon beruvchi modelni tavsiya qiladilar.

Nazariy hisoblashlar natijasida olingan va miqdoriy munosabatlarda ifodalangan xulosalar keyinchalik kuzatishlardagi va laboratoriya eksperimentlaridagi o‘lchashlar orqali tekshiriladi. Bunday taqqoslash modelning aniqligini va aynan o‘xshashligini tasdiqlaydi yoki rad etadi, bu esa yanada mukammal model yasashga yordam beradi. U model, o‘z navbatida, matematik tahlil qilinadi va keyinchalik eksperimental tekshiriladi va hokazo.

Nazariy va eksperimental tadqiqotlarning bunday ketma-ket o‘zaro ta‘siri uzluksiz jarayon bo‘lib, tekshirilayotgan hodisalarning qonuniyatlarini yanada to‘laroq bilishga olib keladi. Shu asnoda yangi fizik qonuniyatlar yaratiladi va yangi fizik kashfiyotlar ochiladi.

6. Fizik kattaliklarni o‘lchash. Birliklar sistemasi. Ko‘pgina fizik qonunlar turli fizik kattaliklarni bog‘lovchi formulalar ko‘rinishida ifodalanadi. Bu kattaliklarning son qiymatlarini hosil qilish uchun fizik kattaliklarni o‘lchash zarur bo‘ladi. Fizik kattaliklarni o‘lchash bu kattalikni u bilan bir jinsli bo‘lgan va birlik qilib olingan fizik kattalik bilan taqqoslash demakdir. Har bir birlik qat‘iy aniqlangan va o‘zgarmas bo‘lishi kerak. Har bir fizik kattalikning birligini ixtiyoriy tanlash mumkin. Biroq amalda birliklarni bunday tanlash nihoyatda noqulay. Shuning uchun faqat ba‘zi fizik kattaliklar uchungina birlik ixtiyoriy tanlanadi. Bu fizik kattaliklarning birliklari *asosiy birliklar* deb yuritiladi. Qolgan barcha

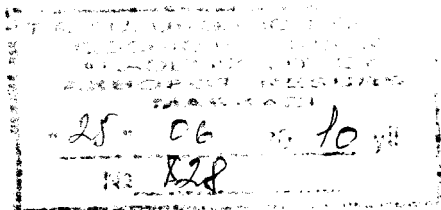
fizik kattaliklarning birliklari bu kattaliklarni asosiy kattaliklar bilan bog'lovchi qonunlar (formulalar) asosida olinadi. Bunday kattaliklarning birliklari *hosilaviy birliklar* deb yuritiladi.

Fizik kattaliklarning barcha asosiy va hosilaviy birliklari to'plami *birliklar sistemasi* deyiladi.

Hozirgi vaqtda „Xalqaro birliklar sistemasi“ —SI (internatsional sistema) qabul qilingan. SI ning asosiy fizik kattaliklari bo'lib uzunlik, massa, vaqt, termodinamik temperatura, elektr tok kuchi, yorug'lik kuchi va modda miqdori hisoblanadi. Fizik kattaliklarning asosiy birliklari qilib, mos ravishda yettita birlik olingan: metr (m), kilogramm (kg), sekund (s), kelvin (K), amper (A), kandela (kd) va mo'l (mol). Bundan tashqari, bu sistemada yana ikkita qo'shimcha birlik—markaziy burchak birligi radian (rad) va fazoviy burchak birligi steradian (sr) qabul qilingan.

SI birliklari bilan bir qatorda amalda fizik kattaliklarning sistemaga kirmagan birliklari ham ishlatiladi.

Bu qo'llanmada barcha materiallar asosan SI da bayon qilingan bo'lib, ba'zi hollarda SI birliklari bilan sistemaga kirmagan birliklar orasidagi bog'lanishlar ham keltiriladi.



soos



MEXANIKA

I bob. KINEMATIKA

4- §. Mexanik harakat va uning nisbiyligi. Fazo va vaqt

Bizni o‘rab turgan atrof-muhitda barcha o‘zgarishlar (materiyaning harakati) ma‘lum ketma-ketlikda sodir bo‘lib, ko‘proq yoki ozroq davomiylikka ega. Hodisalar yoki jarayonlarning birortasi ham bir onda ro‘y bermaydi. Materiyaning uzluksiz va cheksiz harakati vaqtda namoyon bo‘ladi. *Vaqt — materiya mavjudligining obyektiv shaklidir.*

Barcha moddiy jismlar bir-biriga nisbatan biror tayinli tarzda joylashgan va fazoviy ko‘lamga ega. Harakat ro‘y berganda jismlarning bir-biriga nisbatan o‘zaro joylashuvi va ko‘lami o‘zgaradi. Demak, materiyaning harakati faqat vaqtda emas, fazoda ham namoyon bo‘ladi. Vaqt kabi *fazo ham materiya mavjudligining obyektiv shaklidir.*

Nyuton tomonidan kiritilgan absolyut, harakatsiz va bo‘sh fazo tasavvuri ma‘noga ega emas. Fazo, uning geometrik elementlari (nuqta, chiziq, sirt, hajm) tushunchalari moddiy, deyarli o‘zgarmas jism xossalariining abstraksiyalari sifatida yuzaga keladi. Nyuton mexanikasida fazo o‘zining barcha qismlarida bir jinsli va izotrop (ya‘ni uning xossalari yo‘nalishga bog‘liq emas) deb hisoblanadi. Mexanik hodisalarni tahlil qilishda fazoni bir jinsli va izotrop deb hisoblash mumkin. Biroq absolyut harakatsiz, hech narsa bilan bog‘lanmagan fazoning mavjudligini taxmin qilish noto‘g‘ri. Fazoni biz hamma vaqt muayyan jismlar, sanoq jismlari bilan bog‘langan holda tasavvur qilamiz.

Nyuton nazariyasiga ko‘ra, vaqt — jismlarga bog‘liq bo‘lmagan holda mavjud bo‘lgan absolyut davomiylikdir. Buni ham asoslash qiyin: vaqt materiyaning mavjudlik shakli bo‘lganidan davomiylikni materiyadan ajratib bo‘lmaydi.

Bitta sanoq sistemasi doirasida barcha jarayonlar va hodisalar uchun yagona davomiylilik o'lvovini topish va yagona vaqt mavjud deyish mumkin. Biroq, Eynshteynning nisbiylik nazariyasiga ko'ra, bitta sanoq sistemasining turli joylarida sodir bo'luvchi bir vaqtli voqealar, agar ularni harakatlanayotgan boshqa sanoq sistemasiga nisbatan qaralsa, ular turli vaqt momentlarida yuz beradi. Demak, vaqtning o'tishi sanoq sistemalarining nisbiy harakati bilan bog'langan: barcha sanoq sistemalari uchun yagona, absolyut vaqt mavjud emas. Jarayonning davomiyligi harakat bilan bog'liq, vaqt tushunchasi jismlarning bir-biriga nisbatan harakatidan ajralmasdir.

Biroq, tezligi yorug'lik tezligiga nisbatan juda kichik ($v \ll c$) bo'ladigan harakatlarda vaqtning sanoq sistemasining nisbiy harakatiga bog'liqligi amalda juda kichik bo'lib, uni tamomila nazarga olmasa ham bo'ladi. Shu sababli klassik mexanika deb yuritiladigan Nyuton mexanikasida Nyutonning absolyut va yagona vaqt haqidagi tasavvurlari o'rinni bo'ladi.

Shunday qilib, fazo va vaqtni materiyadan ajratib bo'lmaydi va ular materiya mavjudligining o'zaro bog'langan shakllaridir. Xususan, bunday o'zaro bog'lanish jismlarning vaqt o'tishi bilan fazoda bir-biriga nisbatan siljishidan iborat mexanik harakatda namoyon bo'ladi.

Materiya harakatining eng sodda turi mexanik harakatdir. Jismlarning yoki jism qismlarining fazoda bir-biriga nisbatan vaqt o'tishi bilan siljishi *mexanik harakat* deb ataladi. Mexanik harakatda bir jismning vaziyati boshqa jismlarga nisbatan o'zgaradi. Masalan, kema qirg'oqqa nisbatan, poyezd temiryo'l iziga nisbatan, tramvay, trolleybus, avtobuslar daraxtlarga nisbatan harakat qiladi va hokazo. Ammo qirg'oq, temiryo'l relsi va daraxtlarning o'zi ham Yer bilan birga harakatlanib turadi. Tabiatda mutlaqo harakatsiz jism yo'q.

Tabiatdagi hamma jismlar harakatda bo'lganligidan har qanday tinchlik nisbiydir.

Har qanday tinchlik nisbiy bo'lgani kabi, har qanday harakat ham nisbiydir.

Fizikaning jismlar mexanik harakatini va nisbiy tinchlik sharoitlarini o'rganadigan bo'limi *mexanika* deyiladi. Mexanika uch qismga bo'linadi: kinematika, dinamika va statika.

Mexanikaning mexanik harakatni uni yuzaga keltirgan

sabablarga bog‘liq bo‘lmagan holda o‘rganadigan bo‘limi *kine-matika* deyiladi.

Mexanikaning jism harakat qonunlarini ta’sir etuvchi kuchlarga bog‘liq holda o‘rganadigan bo‘limi *dinamika* deyiladi.

Mexanikada jismni mexanik harakatga keltira oladigan kuchlar mavjud bo‘lganda ham kuzatilayotgan jism o‘zining nisbiy tinch yoki muvozanat holatini saqlaydigan hodisalar ham o‘rganiladi. Mexanikaning kuch ta’sirida jismlarning muvozanat holatlarini saqlash shartlarini o‘rganadigan bo‘limi *statika* deyiladi.

5- §. Nyuton klassik mexanikasi va uning qo‘llanish chegarasi

Mexanika fizikaning materiya harakatining eng sodda turi haqidagi ta’limotni ifodalovchi muhim bo‘limidir. Bunday harakat jismlarning yoki jism qismlarining bir-biriga nisbatan siljishidan iborat.

Mexanika ham, boshqa tabiiy fanlar kabi, o‘zining qonun-qoidalarini tajribalardan olingan ma’lumotlarni umumlashtirish va sistemalashtirish yo‘li bilan aniqlaydi.

Mexanikaning asosiy qonunlarini Galiley anchagina oydinlashtirib bergan. Nyuton ularni uzil-kesil ta’riflab berdi. Eyler birinchi bo‘lib mexanikaning qonunlariga analitik ko‘rinish berdi va mexanikaning rivojlanishiga katta hissa qo‘shdi. Ammo „klassik mexanika“ deb nom olgan Nyuton yoki Galiley — Nyuton mexanikasi yorug‘lik tezligiga nisbatan juda kichik tezliklar bilan harakatlanadigan ko‘p sonli atomlardan iborat bo‘lgan jismlar—makroskopik jismlarning harakatlarini kuzatishlarga asoslanib yaratilgan. Makroskopik jismlar mexanikasi klassik mexanika (Nyuton mexanikasi) deb yuritiladi.

Nyuton mexanikasi yaratilgandan keyin ikki yuz yil ichida fan shunday katta muvaffaqiyatlarga erishdiki, XIX asrning ko‘p fiziklari bu mexanikaning mislsiz kuch-qudratiga to‘la ishongan edilar. Ular istalgan fizik hodisani tushuntirish—uni Nyuton qonunlariga bo‘ysunuvchi mexanik jarayonga keltirishdan iborat, deb hisoblar edilar. Biroq fan rivojlanishi bilan XX asrda klassik mexanikaning qonun va tasavvurlari bilan mos kelmaydigan bir qancha hodisalar ochildi. Masalan, osmon jismlari ustida o‘tkazilgan juda ko‘p va aniq kuzatishlar klassik mexanika xulosalaridan

chetlanishlar bor ekanini ko'rsatadi. Atomlar va molekularlar tarkibiga kiruvchi zarralarning harakati va o'zaro ta'siri hamda fazoning juda kichik sohasida ($\sim 10^{-10}$ m) sodir bo'luvchi harakatlarning qonunlari klassik mexanika qonunlaridan juda katta farq qiladi. Bu chetlanishlarning kelib chiqish sabablarini aniqlash maqsadida Eynshteyn klassik mexanika tushunchalari (fazo va vaqt tushunchalari) ni qayta qarab chiqdi va shu asosda 1905- yilda *maxsus* (xususiy) *nisbiylik nazariyasini* yaratdi. Bu nazariya yorug'lik tezligidan kichik har qanday tezlik bilan harakatlanayotgan jismlarning harakat qonunlarini o'z ichiga oluvchi mexanika qonunlarining umumlashmasidan iborat bo'lib, uni *relyativistik mexanika* („katta tezliklar mexanikasi“) deb yuritiladi. Yangi mexanika eski Nyuton mexanikasini butunlay inkor qilmaydi. Relyativistik mexanika tenglamalari yorug'lik tezligiga nisbatan juda kichik tezliklar uchun klassik mexanika tenglamalariga aylanadi. Shunday qilib, klassik mexanika relyativistik mexanikaga uning xususiy holi sifatida kiradi va kichik tezliklar bilan sodir bo'ladigan harakatlarni tavsiflashda o'zining avvalgi ahamiyatini saqlab qoladi.

XX asrning 20-yillarida atom fizikasi taraqqiyoti jarayonida *kvant mexanikasi* (to'liq mexanikasi) yuzaga keldi. Kvant mexanikasi mikrozarralarning harakatini va o'zaro ta'sirini, atomlar va molekularlar ichidagi hodisalarni o'rganadi. Kvant mexanikasi tenglamalari ham makroskopik jismlar uchun klassik mexanika tenglamalariga aylanadi. Binobarin, klassik mexanika kvant mexanikasiga ham uning xususiy holi sifatida kiradi.

Shunday qilib, fanning taraqqiyoti, nisbiylik nazariyasi va kvant mexanikasi klassik mexanikaning qonun va tasavvurlarini yo'qqa chiqarmasdan, balki aniqlashtiradi, klassik mexanikaning qo'llanish chegarasi cheklanganligini ko'rsatadi,

Yuqorida ko'rib o'tilganlardan, *Nyuton qonunlariga asoslanuvchi klassik mexanika yorug'lik tezligiga nisbatan juda kichik tezlik bilan harakatlanuvchi* (atomlar massasiga nisbatan) *katta massali jismlarning mexanikasidir*, degan xulosa kelib chiqadi.

Qisqa qilib aytganda, *mexanikaning bosh masalasi ma'lum kuchlar va boshlang'ich shartlarga ko'ra harakatlanayotgan jismning*

tezlanishini, tezlanishga ko'ra tezlikni va nihoyat, vaqt o'tishi bilan jismning vaziyati (koordinatasi) ni aniqlashdan iboratdir. Mexanika bo'limidagi barcha mavzular asta-sekin ana shu vazifani hal etishga yo'naltiriladi.

6- §. Ba'zi matematik tushunchalar

Fizik qonunlar, hodisalar va jarayonlarni tushuntirishda, ularning fizik mazmunini ochib berishda matematik tushunchalar va amallardan foydalaniladi. Shulardan ba'zilari ustida to'xtalib o'tamiz.

1. Juda kichiklik belgisi. Kattaliklarning kichik o'zgarishlarini yoki kichik kattaliklarni belgilash uchun bu kattaliklarning oldiga Δ belgi (grek alfavitining „delta“ harfi) qo'yish qabul qilingan. Masalan, Δm — kichik massa, Δv — tezlikning kichik o'zgarishi.

2. Tengsizlik va taqribiy tenglik belgilari. Hammamizga ma'lum bo'lgan $>$ va $<$ tengsizlik belgilaridan tashqari \neq (teng emas), \gg ancha katta va \ll ancha kichik belgilari ham ishlatiladi. Masalan, makroskopik jismning v tezligi yorug'lik tezligidan ancha kichik: $v \ll c$ yoki protonning m_p massasi elektronning m_e massasidan ancha katta: $m_p \gg m_e$.

Taqribiy tenglikni belgilash uchun \approx belgisi ishlatiladi. Masalan, yorug'likning vakuumdagi tezligi $c \approx 300000$ km/s yoki erkin tushish tezlanishi $g \approx 9,8$ m/s².

3. Natural logarifmlar. O'nli logarifmlar \lg bilan birga natural logarifmlar \ln ham ishlatiladi. Natural logarifmlarning asosi $e \approx 2,72$ bo'lgan irratsional sonidir. O'nli logarifmdan natural logarifmga $\ln N = 2,3 \lg N$ formula bo'yicha o'tiladi.

4. Kattaliklarning moduli va tartibi. Kattalikning musbat ishora bilan olingan qiymati uning moduli (absolyut qiymati) deyiladi. Kattalikning moduli shartli ravishda to'g'ri qavsga olib ko'rsatiladi.

Masalan, tezlanish $a = -4 \frac{m}{s^2}$ bo'lsa, uning absolyut qiymati $|a| = 4 \frac{m}{s^2}$ bo'ladi.

Kattalikning tartibi deb kattalikning qiymatiga yaqin bo'lgan va 10^n ko'rinishida ifodalanishi mumkin bo'lgan songa aytiladi, bunda n — musbat yoki manfiy butun sonlar. Masalan, birinchi kosmik

tezlik $7,9 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ ning tartibi $10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, massaning o'zgarishi $\Delta m = 1 \text{mg}$ ning tartibi 10^{-3}kg .

5. Yig'indining simvolik belgisi. Ko'p sondagi bir jinsli kattaliklarning yig'indisi $a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n$ ni qisqa ravishda Σ belgi (grekcha alfavitning „sigma“ harfi) bilan quyidagicha yozish qabul qilingan:

$$\sum_{i=1}^{i=n} a_i \text{ yoki yanada qisqaroq yozilsa, } \sum_1^n a_i .$$

Yig'indi belgisidagi 1 va n sonlari yig'indi chegaralarini ko'rsatadi va barcha a_i kattaliklarni a_1 dan boshlab a_n gacha qo'shish kerakligini bildiradi.

6. Kattaliklarning o'rtacha qiymati. Kattaliklarning o'rtacha qiymatini ularning bir necha ayrim $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ qiymatlariga ko'ra hisoblashning quyidagi usullaridan foydalaniladi:

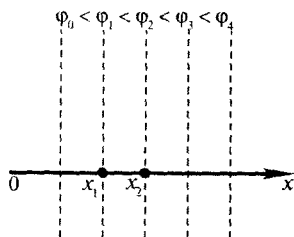
a) kattalikning *o'rtacha arifmetik qiymati* \bar{x} deb kattalikning ayrim qiymatlari yig'indisining shu qiymatlar soniga bo'linganiga aytiladi:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_1^n x_i; \quad (1)$$

b) kattalikning *o'rtacha kvadratik qiymati* x^* deb kattalikning ayrim qiymatlari kvadratlari yig'indisining ular soniga bo'linganidan chiqarilgan kvadrat ildizga aytiladi:

$$x^* = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \dots + x_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n x_i^2} . \quad (2)$$

7. Fizik kattalikning gradiyenti. Agar biror fizik kattalik fazoning har bir nuqtasida aniq qiymatga ega bo'lsa, bu kattalik *fazoda taqsimlangan* deb aytiladi. Agar *fazoda taqsimlangan* fizik kattalik biror yo'nalishda ortib borsa, uning shu yo'nalish bo'yicha qanday o'zgarib borishini tavsiflash uchun *gradiyent* (lotincha qadamlovchi, odimlovchi ma'nosini bildiradi) tushunchasidan foydalaniladi. Masalan, biror φ fizik kattalik OX yo'nalishda ortib borayotgan bo'lsin (1- rasm) va $\Delta x = x_2 - x_1$ masofaga uning



1-rasm.

$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ ga o'zgarishi mos kelsin. Shu kattalikning gradiyenti deganda

$$\frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{x_2 - x_1}$$

nisbat tushuniladi va quyidagicha belgilanadi:

$$\text{grad}\varphi = \frac{\Delta\varphi}{\Delta x} \quad (3)$$

Shunday qilib, fizik kattalikning gradiyenti deb uning eng ko'p ortishi yo'nalishida masofa birligiga to'g'ri keladigan o'zgarishiga aytiladi.

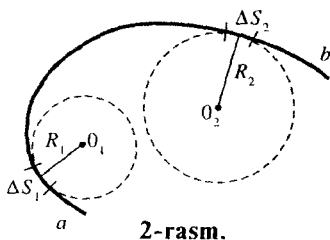
8. Egrilik va egrilik radiusi. Chiziqning egriligini baholash uchun egrilik va egrilik radiusi tushunchasidan foydalaniladi. Ixtiyoriy ab egri chiziqning ixtiyoriy kichik ΔS_1 va ΔS_2 qismlarini hamma vaqt biror aylana bilan ustma-ust tushirish mumkin (2-rasm). Bu aylanalarning R_1 va R_2 radiuslari egri chiziqning shu qismlardagi egrilik radiuslari deyiladi. Agar egri chiziq qismi cheksiz kichik bo'lsa ($\Delta S_1 \rightarrow 0$), u holda egri chiziqning shu nuqtadagi egrilik radiusi R haqida gapirish mumkin.

Egrilik radiusi R ga teskari kattalik egri chiziqning egriligi deyiladi:

$$k = \frac{1}{R} \quad (4)$$

To'g'ri chiziqning egrilik radiusi $R \rightarrow \infty$, egriligi $k = 0$ bo'ladi.

9. Fizik kattalikning hosilasi. Fizik jarayonni tavsiflovchi fizik kattalik vaqt o'tishi bilan o'zgarib borishi mumkin. U holda bu fizik kattalik vaqtning funksiyasi bo'ladi. Biror fizik kattalikni f bilan belgilaylik, unda funksiya $f(t)$ ko'rinishda ifodalanadi.



2-rasm.

Vaqtning Δt oralig'ida fizik kattalikning orttirmasi (o'zgarishi) Δf bo'lsin. f funksiyaning t vaqt davomida o'zgarish tezligi $\frac{\Delta f}{\Delta t}$ bo'ladi. Bu ifoda f

funksiyaning Δt vaqt oralig'ida o'rtacha o'zgarish tezligini beradi. Agar f funksiya bizni qiziqtirayotgan vaqt davomida uzluksiz, sakramasdan o'zgaradigan bo'lsa, u holda vaqt oralig'i Δt qancha kichik bo'lsa, vaqtning Δt vaqt oralig'iga tegishli ixtiyoriy momentidagi f funksiyaning o'zgarish tezligini xarakterlovchi $\frac{\Delta f}{\Delta t}$ kattalik shuncha aniqroq bo'ladi. Shunday qilib, f funksiyaning vaqtning t paytidagi o'zgarish tezligi Δt ni cheksiz kichraytirganda $\frac{\Delta f}{\Delta t}$ ning intiladigan limitiga, ya'ni $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta f}{\Delta t}$ ga tengdir.

Funksiya Δf orttirmasining argument Δt orttirmasiga nisbatining Δt nolga intilgandagi limiti f funksiyaning t bo'yicha hosilasi deyiladi va $\frac{df}{dt}$ simvol bilan belgilanadi. Demak, f funksiyaning vaqt davomida o'zgarish tezligi

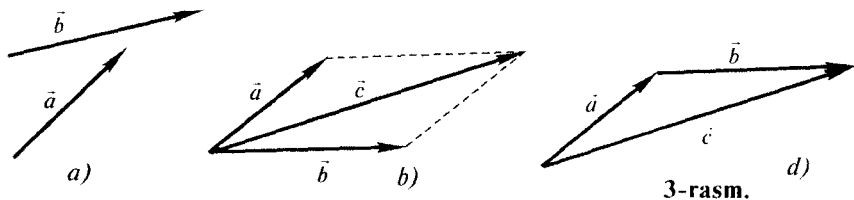
$$\frac{df}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta f}{\Delta t}. \quad (5)$$

7- §. Skalyar va vektor kattaliklar. Vektorlar ustida bajariladigan ba'zi amallar

Barcha fizik kattaliklar, asosan, ikki guruhga bo'linadi: *skalyar kattaliklar* (skalyarlar) va *vektor kattaliklar* (vektorlar). O'lchov birliklarining tegishli sistemasida faqat son qiymatlari bilan to'liq aniqlanadigan fizik kattaliklar skalyar kattaliklar deyiladi. Masalan, vaqt, hajm, massa va energiya skalyar kattaliklardir. Skalyarlarga doir amallar algebra qoidalariga muvofiq bajariladi.

Son qiymatlari va yo'nalishlari bilan to'liq aniqlanadigan fizik kattaliklar vektor kattaliklar deyiladi. Masalan, tezlik, tezlanish, kuch kabilar vektor kattaliklardir. Chizmalarda vektorlar strelkali to'g'ri chiziq kesmalari holida tasvirlanadi. Kesmaning uzunligi qabul qilingan masshtabda vektorning modulini (son qiymatini) bersa, strelkaning uchi esa vektorning yo'nalishini ko'rsatadi.

Son qiymatlari va yo'nalishlari bir xil bo'lgan vektorlar o'zaro teng bo'ladi. Bundan vektorni o'z-o'ziga parallel ko'chirish mumkin, degan xulosa kelib chiqadi. Son qiymatlari teng, biroq qarama-qarshi yo'nalgan vektorlar qarama-qarshi vektorlar deyiladi.



3-rasm.

Vektorlarga doir amallar vektor hisobi qoidalariga asosan bajariladi. Ulardan ba'zilar bilan tanishib chiqamiz:

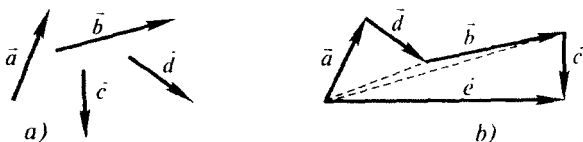
a) vektorlarni qo'shish. Vektorlar *parallelogramm qoidasiga* muvofiq qo'shiladi. Masalan, \vec{a} va \vec{b} vektorlarni qo'shish uchun (3- a rasm) parallel ko'chirish yo'li bilan ularning boshlarini ustma-ust tushirish va vektorlardan parallelogramm yasash kerak (3- b rasm). Parallelogrammning katta diagonali bo'lgan \vec{c} vektor izlanayotgan yig'indi (natijaviy) vektor bo'ladi:

$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{c}.$$

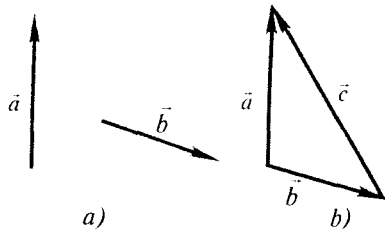
Vektorlarni *uchburchak qoidasi* deb ataladigan usulda ham qo'shish mumkin (3- d rasm). Buning uchun ikkinchi (\vec{b}) vektorning boshini birinchi (\vec{a}) vektorning oxiri bilan ustma-ust tushadigan qilib o'ziga parallel ko'chiramiz. U holda birinchi (\vec{a}) vektorning boshidan ikkinchi (\vec{b}) vektorning oxiriga o'tkazilgan uchinchi (\vec{c}) vektor natijaviy vektor bo'ladi.

Vektor kattaliklarni qo'shish algebraik qo'shishdan farqli bo'lib, uni *geometrik qo'shish* deyiladi. Qo'shish natijasi esa *geometrik yig'indi* deyiladi.

Vektorlarni qo'shishning yuqorida ko'rilgan ikkala usuli ham bir xil natija beradi. Biroq ikkitadan ko'proq vektorlarni qo'shish uchun uchburchak usuli osonroq va qulayroqdir. Masalan, to'rtta $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ va \vec{d} vektorni qo'shishni ko'raylik (4-a rasm). Bu holda ikkinchi vektorning boshi birinchi vektorning oxiri bilan, uchinchi vektorning boshi ikkinchi vektorning oxiri bilan va hokazo ustma-



4-rasm.



5-rasm.

a)

b)

ust tushiriladi (4-b rasm). Birinchi vektorning boshini eng so‘nggi vektorning oxiri bilan birlashtiruvchi \vec{e} vektor berilgan vektorlarning yig‘indisiga teng bo‘lib, natijaviy vektorni ifodalaydi:

$$\vec{e} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d}.$$

Bu natijaviy vektor vektorlarning qo‘shilish ketma-ketligiga bog‘liq emas, bunga tegishli yasashlar orqali ishonch hosil qilish mumkin;

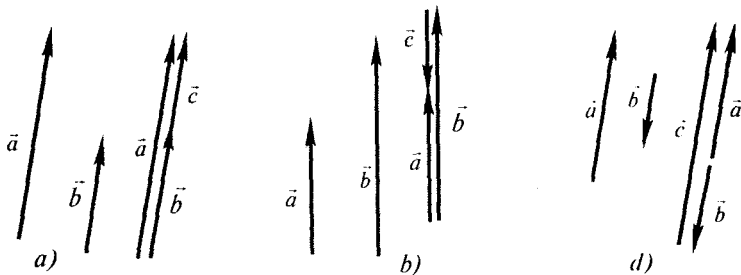
b) vektorlarni ayirish. Ikki \vec{a} va \vec{b} vektorning (5-a rasm) ayirmasi deb shunday \vec{c} vektorga aytiladiki, uni \vec{b} vektor bilan qo‘shganda \vec{a} vektor hosil bo‘lsin (5-b rasm). $\vec{a} - \vec{b}$ ayirmanini

$$\vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$$

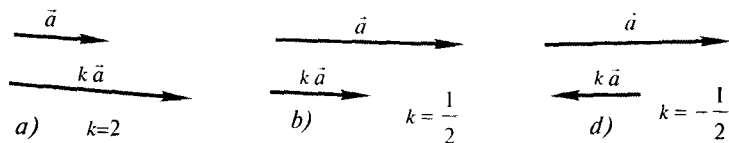
ko‘rinishida yozish mumkin. Shu sababli $\vec{c} = \vec{a} - \vec{b}$ vektorni \vec{a} vektorga, kattaligi \vec{b} vektorga teng, ammo yo‘nalishi unga teskari bo‘lgan vektorni qo‘shib hosil qilish mumkin. 5-b rasmdan \vec{a} va \vec{b} vektorlarning ayirmasini topish uchun ularni bir nuqtadan chiqadigan qilib joylashtirish va bu vektorlarning oxirlarini ikkinchi \vec{b} vektordan birinchi \vec{a} vektorga (ayiriluvchidan kamayuvchiga) qaratib yo‘nalgan kesma bilan tutashtirish kerakligi ko‘rinib turibdi. Yo‘nalishga ega bo‘lgan bu kesma vektorlar ayirmasiga teng bo‘ladi.

Parallel vektorlarni ham mana shu qoida bo‘yicha ayirish mumkin (6- a, b, d rasmlar). Bu holni ko‘rib chiqishni o‘quvchilarning o‘zlariga havola qilamiz.

d) vektorni skalyar kattalikka ko‘paytirish va bo‘lish. Biror \vec{a} vektor va k skalyar berilgan bo‘lsin, \vec{a} vektorni k skalyarga ko‘paytirganda uning moduli k marta o‘zgaradi va kattaligi $k\vec{a}$ ga



6-rasm.



7-rasm.

teng bo'lgan vektor hosil bo'ladi. Bu k skalyar kattalik turli (butun, kasr, musbat va manfiy) qiymatlarga ega bo'lishi mumkin.

Shuning uchun bu qoida ayni vaqtda vektorni skalyarga bo'lish qoidasi ham bo'la oladi. Agar $k > 1$ bo'lsa, \vec{a} vektorning moduli ortadi (7-a rasm), $k < 1$ bo'lsa, uning moduli kamayadi (7-b rasm). Agar k skalyar musbat bo'lsa, $k\vec{a}$ vektorning yo'nalishi \vec{a} vektorning yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi (7-a, b rasmlar). Agar k skalyar manfiy bo'lsa, $k\vec{a}$ vektor \vec{a} vektorga qarama-qarshi yo'naladi (7-d rasm);

e) vektorlarning skalyar va vektor ko'paytmasi. Ikkita vektorni bir-biriga ikki usul—skalyar va vektor usullari bilan ko'paytirish mumkin: birinchi usul natijada skalyar kattalikka olib keladi, ikkinchi usulda esa biror yangi vektor hosil qilinadi.

\vec{a} va \vec{b} ikkita vektorning skalyar ko'paytmasi deb bu vektorlar modullarining ular orasidagi burchak kosinusiga ko'paytmasiga aytiladi. Skalyar ko'paytma $\vec{a} \cdot \vec{b}$ ko'rinishida ifodalanadi.

Demak, ta'rifga ko'ra \vec{a} va \vec{b} vektorlarning skalyar ko'paytmasi quyidagicha yoziladi:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a \cdot b \cos(\widehat{\vec{a}, \vec{b}}) = a \cdot b \cos \varphi,$$

bu yerda $\varphi = (\vec{a}, \vec{b})$ burchak \vec{a} va \vec{b} vektorlar orasidagi burchak.

Ikki vektorning skalyar ko'paytmasi skalyar kattalik bo'lib, $\cos\varphi$ ning noldan katta yoki kichik bo'lishiga, ya'ni \vec{a} va \vec{b} vektorlar hosil qilgan burchakning o'tkir yoki o'tmas bo'lishiga qarab musbat yoki manfiy bo'ladi.

Agar vektorlar parallel bo'lsa, u holda skalyar ko'paytma $\vec{a} \cdot \vec{b} = \pm a \cdot b$ ga teng bo'ladi, chunki $\cos 0^\circ = 1$, $\cos 180^\circ = -1$.

Agar vektorlar perpendikulyar bo'lsa, $\cos 90^\circ = 0$ bo'lgani uchun vektorlarning skalyar ko'paytmasi $\vec{a} \cdot \vec{b} = 0$ bo'ladi.

Vektor ko'paytmaning ta'rifı quyidagicha: \vec{a} va \vec{b} vektorlarning vektor ko'paytmasi deb quyidagi xossalarga ega bo'lgan \vec{c} vektorga aytiladi: 1) \vec{c} vektorning moduli ko'paytirilayotgan vektorlarning modullari bilan ular orasidagi α burchak sinusining ko'paytmasiga teng: $c = a \cdot b \sin\alpha$; 2) \vec{c} vektor \vec{a} va \vec{b} vektorlar yotgan tekislikka normal bo'lib, uning yo'nalishi o'ng vint qoidasiga ko'ra tanlanadi: agar vintni \vec{a} va \vec{b} vektorlar tekisligida mahkamlangan gaykada \vec{a} dan \vec{b} tomonga eng qisqa yo'l bilan aylantirsa, u holda vint \vec{c} vektor bo'yicha siljiydi (8- rasm).

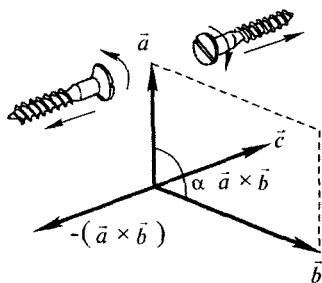
Vektor ko'paytma quyidagicha belgilanadi:

$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b}.$$

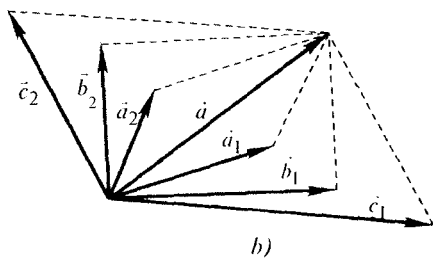
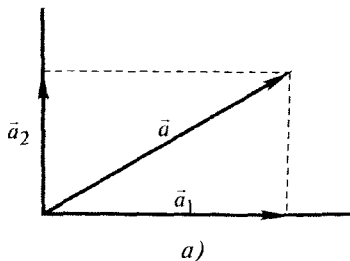
Vektor ko'paytmaning yo'nalishi birinchi (\vec{a}) ko'paytuvchidan ikkinchi (\vec{b}) ga qarab burilish yo'nalishiga bog'liq bo'lganligi uchun ikkita vektorning bir-biriga ko'paytirish natijasi ko'paytuvchi hadlar tartibiga bog'liq bo'ladi. Ko'paytuvchilar tartibining o'zgarishi natijaviy vektor yo'nalishining o'zgarishiga olib keladi (8- rasmga q.) vektor ko'paytma nokommutativdir, ya'ni

$$\vec{b} \times \vec{a} = -(\vec{a} \times \vec{b}).$$

Vektor ko'paytma ta'rifidan \vec{c} vektorning moduli son jihatidan \vec{a} va \vec{b} vektorlardan yasalgan parallelogrammning yuziga tengligi kelib chiqadi;



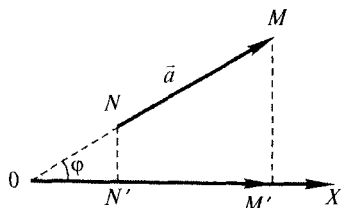
8-rasm



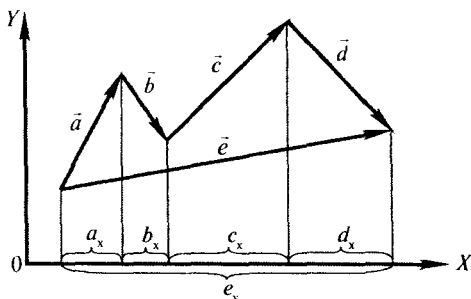
9-rasm.

f) vektorni tashkil etuvchilarga ajratish. Har qanday \vec{a} vektorni yig'indisi \vec{a} vektorni hosil qiluvchi bir nechta \vec{a}_1, \vec{a}_2 va hokazo vektorlar bilan almashtirish mumkin. Bu holda \vec{a}_1, \vec{a}_2 va hokazo vektorlar \vec{a} vektorning tashkil etuvchilari deyiladi. \vec{a} vektorni bir nechta vektorlar bilan almashtirish vektorni *tashkil etuvchilarga ajratish* deyiladi. \vec{a} vektorni tashkil etuvchilarga ajratish uchun uning boshidan vertikal va gorizontal yo'nalishda bir-biriga perpendikulyar bo'lgan ikkita kesishuvchi to'g'ri chiziq o'tkazamiz (9- a rasm). So'ngra vektorning uchidan berilgan chiziqlarga parallel bo'lgan punktir chiziqlar chizamiz. Punktir chiziqlar tutash chiziqlar bilan kesishib, unda tashkil etuvchi vektorlarga son qiymati jihatidan teng bo'lgan gorizontal \vec{a}_1 va vertikal \vec{a}_2 kesmalar ajratadi. 9-a rasmdan vektorni tashkil etuvchilarga ajratish vektorlarni qo'shish amaliga teskari amal ekanligiga ishonch hosil qilish mumkin. Shunday ekan, berilgan har qanday vektorni tomonlari har xil bo'lgan juda ko'p parallelogrammlarning diagonali sifatida tasvirlash mumkin (9-b rasm). Rasmdan ko'rinishi-cha, $\vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2, \vec{a} = \vec{b}_1 + \vec{b}_2$ va $\vec{a} = \vec{c}_1 + \vec{c}_2$ bo'ladi.

Amalda vektorni bir-biriga perpendikulyar bo'lgan ikki vektorga ajratish hollari ko'p uchraydi. Bizga \vec{a} vektor va fazodagi biror yo'nalish, masalan, OX o'q berilgan bo'lsin (10-rasm). \vec{a} vektorning boshi bilan oxiri orqali OX o'qqa NN' va MM' perpendikulyarlar o'tkazamiz. Bu perpendikulyarlarning OX o'q bilan kesishgan N' va M' nuqtalari \vec{a} vektor boshi bilan oxirining proyeksiyalari deb ataladi. Perpendikulyarlar orasidagi kesmaning kattaligi \vec{a} vektorning OX yo'nalishdagi (yoki o'qdagi) a_x proyeksiyasi deb ataladi. Vektorning proyeksiyasi skalyar kattalik



10-rasm.



11-rasm.

bo‘ladi. 10- rasmdan \vec{a} vektorning OX o‘qdagi proyeksiyasi uning o‘sha o‘qdagi $N'M'$ tashkil etuvchisi uzunligiga son jihatidan teng bo‘lgan skalyar kattalik ekanligi ko‘rinib turibdi. Agar vektorning mazkur o‘qdagi tashkil etuvchisi shu o‘q bilan bir xil yo‘nalgan bo‘lsa, proyeksiya musbat bo‘ladi, aks holda proyeksiya manfiy bo‘ladi. \vec{a} vektorning OX o‘q bilan hosil qilgan burchagini φ bilan belgilab, a_x proyeksiyani quyidagicha hisoblash mumkin:

$$a_x = a \cos \varphi,$$

bu yerda a — vektor \vec{a} ning moduli.

Agar vektor berilgan yo‘nalish bilan o‘tkir burchak tashkil qilsa, u holda bu burchakning kosinusi musbat, demak, vektorning proyeksiyasi ham musbat bo‘ladi. Agar vektor o‘q bilan o‘tmas burchak hosil qilsa, u holda bu burchakning kosinusi va vektorning proyeksiyasi manfiy bo‘ladi. Agar vektor berilgan o‘qqa perpendikulyar bo‘lsa, uning proyeksiyasi nolga teng bo‘ladi.

Agar vektor OX , OY va OZ o‘qlari bilan mos ravishda α , β va γ burchaklar hosil qilsa, u holda uning proyeksiyalari quyidagicha ifodalanadi.

$$a_x = a \cos \alpha, \quad a_y = a \cos \beta, \quad a_z = a \cos \gamma.$$

Vektorning uchta o‘qqa proyeksiyalari berilgan bo‘lsa, vektorning o‘zini ham yasash mumkinligini tushunib olish qiyin emas. Demak, har qanday vektor kattalik uchta son qiymat — koordinata o‘qlaridagi proyeksiyalari bilan berilishi mumkin ekan. Ammo skalyar kattalik esa faqat bitta son qiymati bilan aniqlanadi.

Bir nechta vektorning $\vec{e} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d}$ yig‘indisining biror

yoʻnalishga proyeksiyasi qoʻshilayotgan vektorlarning oʻsha yoʻnalishga proyeksiyalari yigʻindisi $e_x = a_x + b_x + c_x = d_x$ ga teng ekanligi 11- rasmdan koʻrinib turibdi.

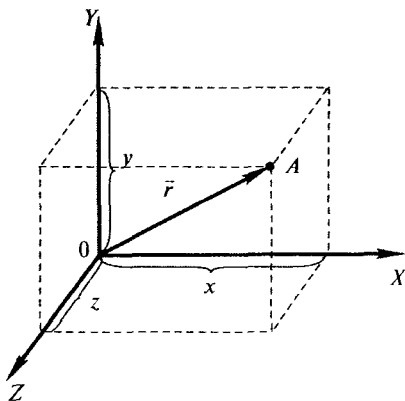
8- §. Fizik kattaliklarni skalyar va vektor koʻrinishida yozish

Fizik kattaliklarni skalyar va vektor koʻrinishida qanday yozilishi bilan tanishishdan avval ikkita tushuncha, yaʼni *radius-vektor* va *birlik vektor* tushunchalari bilan tanishib chiqaylik.

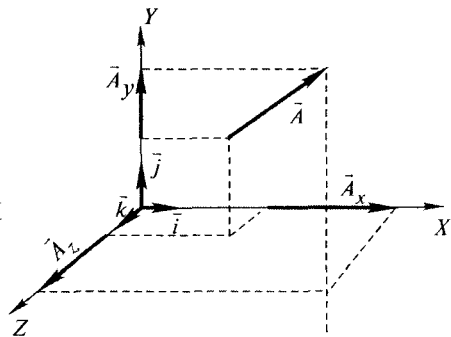
Radius-vektor. Koordinata boshidan nuqtaga oʻtkazilgan vektor shu nuqtaning *radius-vektori* deb ataladi (12-rasm) va \vec{r} bilan belgilanadi. Radius-vektor \vec{r} nuqtaning fazodagi vaziyatini bir qiymatli belgilaydi. Uning koordinata oʻqlariga proyeksiyasi nuqtaning dekart koordinatalariga teng: $r_x = x$, $r_y = y$, $r_z = z$. \vec{r} vektorning moduli $|\vec{r}| = r$ ning kvadrati koordinatalar kvadratlari yigʻindisiga teng:

$$r^2 = r_x^2 + r_y^2 + r_z^2, \text{ bundan } r = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + r_z^2}.$$

Birlik vektor. Yuqorida qayd etilgan (7- §, b bandga q.) vektorning skalyar kattalikka koʻpaytmasi vektor kattalik ekanligini bilamiz. Endi birlik vektorni kiritaylik. *Moduli birga teng boʻlgan vektor birlik vektor deyiladi.* Birlik vektor fazoda faqat muayyan yoʻnalishnigina koʻrsatadi. Koordinata oʻqlari boʻyicha birlik vektorlar



12-rasm.



13-rasm.

quyidagicha belgilanadi: OX o'qi bo'ylab yo'nalgan birlik vektor \vec{i} simvol bilan, OY o'qi bo'ylab yo'nalgani \vec{j} simvol bilan va OZ o'qi bo'ylab yo'nalgani esa \vec{k} simvoli bilan belgilanadi.

Biror \vec{A} vektorning OX , OY , OZ o'qlariga proyeksiyalari \vec{A}_x , \vec{A}_y va \vec{A}_z bo'lsin (13- rasm). Bizga ma'lumki \vec{A}_x , \vec{A}_y va \vec{A}_z vektorlar \vec{A} vektorning tashkil etuvchilaridir. Ularning $|\vec{A}_x| = A_x$, $|\vec{A}_y| = A_y$ va $|\vec{A}_z| = A_z$ modullarini belgilab, \vec{A} vektorning tashkil etuvchilarini quyidagicha yozish mumkin:

$$\vec{A}_x = A_x \cdot \vec{i}, \quad \vec{A}_y = A_y \cdot \vec{j} \quad \text{va} \quad \vec{A}_z = A_z \cdot \vec{k}.$$

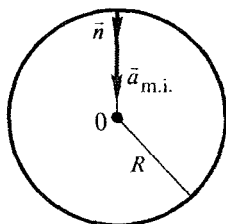
\vec{A} vektor o'z tashkil etuvchilarining yig'indisiga teng bo'lgani uchun

$$\vec{A} = A_x \cdot \vec{i} + A_y \cdot \vec{j} + A_z \cdot \vec{k} \quad (6)$$

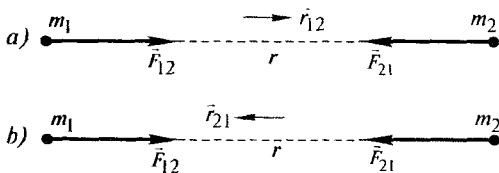
deb yozish mumkin. Shunday qilib, istalgan vektorni uning koordinata o'qlariga proyeksiyalari va shu o'qlarning birlik vektorlari orqali ifodalash mumkin.

Fizik kattaliklarni skalyar va vektor ko'rinishida yozish. Fizik kattaliklar orasidagi bog'lanishlarni ifodalovchi formulalar va qonunlarni kattaliklarning modullari orqali skalyar ko'rinishda, birlik vektorlar orqali vektor ko'rinishda yoziladi. Masalan, markazga

intilma tezlanish ifodasi $a_{m.i.} = \frac{v^2}{R}$ edi. Lekin markazga intilma tezlanish vektor kattalik va aylananing markaziga tomon yo'nalgan. Bu ifodani vektor ko'rinishda yozish uchun aylananing radiusi bo'yicha markazga yo'nalgan \vec{n} birlik vektorni o'tkazamiz (14-rasm). Markazga intilma tezlanishning vektor ifodasi quyidagicha bo'ladi:



14-rasm.



15-rasm.

$$\vec{a}_{m.i.} = \frac{v^2}{R} \cdot \vec{n}.$$

Yana bir misol sifatida butun olam tortishish qonunini olaylik:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}.$$

Bu formulada \vec{F} kuch vektor kattalik. O‘zaro ta’sirlashishuvchi jismlarni tutashtiruvchi chiziq bo‘ylab yo‘nalgan \vec{r} birlik vektorini kiritib, yuqoridagi qonunni

$$\vec{F}_{12} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \vec{r}_{12} \quad \text{yoki} \quad \vec{F}_{21} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \vec{r}_{21}$$

vektor ko‘rinishda yozamiz, bunda \vec{r}_{12} berilgan m_1 jismdan m_2 jismga tomon yo‘nalgan birlik vektor, \vec{r}_{21} esa m_2 jismdan m_1 jismga tomon yo‘nalgan birlik vektor. \vec{F}_{12} va \vec{F}_{21} lar m_1 va m_2 jismlarning mos ravishda o‘zaro tortishish kuchlari (15- rasm).



Takrorlash uchun savollar

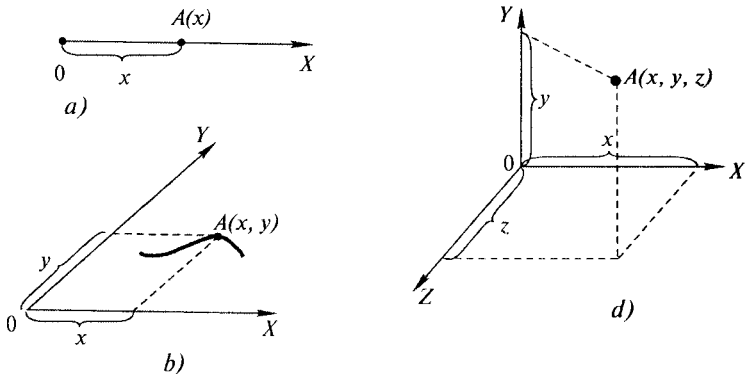
1. „Fazo va vaqt materiya mavjudligining obyektiv shaklidir“ deganda nimani tushunasiz?
2. Mexanik harakatning nisbiyligini tushuntiring. Nima uchun absolyut harakat bo‘lmaydi?
3. Nyuton klassik mexanikasi qanday sharoitlarda harakatni to‘g‘ri tavsiflaydi?
4. Fizik kattaliklar deb qanday kattaliklarga aytiladi?
5. Birliklar sistemasi nima?
6. Asosiy va hosilaviy birliklarni tushuntiring.
7. Vektor va skalyar kattaliklarni tushuntiring.
8. Vektorlarni qo‘shish va ayirish qoidalari nimadan iborat?
9. Vektorni skalyarga ko‘paytirish va bo‘lishni tushuntiring.
10. Berilgan o‘q yo‘nalishida vektor proyeksiyasi qanday olinadi?
11. Vektorlarni tashkil etuvchilarga qanday ajratiladi?
12. Vektorlarning skalyar ko‘paytmasi qanday kattalik va u qanday aniqlanadi?
13. Vektorlarning vektor ko‘paytmasini tushuntiring. Vektor ko‘paytma nokommutativ deganda nimani tushunasiz?
14. Radius-vektor va birlik vektorlar haqida nimani bilasiz?
15. Fizik kattaliklarni vektor ko‘rinishda yozish qanday amalga oshiriladi?

9- § Sanoq sistemasi. Inersial va noinersial sanoq sistemalari

Mexanik harakatda bir jismning vaziyati boshqa jismlarga nisbatan o'zgaradi. Lekin bir harakatning o'zi turli jismlarga nisbatan qaralsa, turlicha bo'lib ko'rinishi mumkin. Misol uchun harakatdagi avtobus salonida o'tirgan yo'lovchi haqida avtobus ichidagi kuzatuvchi „yo'lovchi harakatsiz o'tiribdi“,—deb aytadi. O'tib ketayotgan avtobusni tashqaridan kuzatayotgan kuzatuvchi esa „yo'lovchi mendan uzoqlashib bormoqda“,— deydi. Yo'lovchi harakatsiz o'tiribdi, deb aytayotgan kuzatuvchi yo'lovchining vaziyatini salondagi narsalarga nisbatan qaraydi, kuzatuvchi esa yo'lovchining vaziyatini o'ziga nisbatan yoki yonida turgan jismlarga nisbatan kuzatadi. Ikkala kuzatuvchi yo'lovchining vaziyatini boshqa-boshqa ikki jismga nisbatan kuzatayotgani uchun turlicha xulosaga keladilar. Aslini olganda, ularning ikkalasi ham haqdir. Shuning uchun jismning harakatini tasvirlashda, ya'ni uning vaziyatining o'zgarishini ko'rsatishda, berilgan jismning harakati qaysi jismga yoki jismlar sistemasiga nisbatan qaralishini tanlab olish kerak. Mazkur jismning harakati qanday jism yoki jismlar sistemasiga nisbatan qaralayotgan bo'lsa, o'sha jism yoki jismlar sistemasi *sanoq boshi sistemasi* yoki *sanoq sistemasi* deb ataladi.

Yerda jismlarning harakatini tekshirganda sanoq boshi qilib odatda Yer yoki Yerga nisbatan harakatsiz bo'lgan turli jismlar olinadi. Sanoq boshi qilib olingan jismga biror koordinatalar sistemasi bog'lanadi va bunga nisbatan jismlar harakati o'rganiladi.

Harakatning qanday sodir bo'layotganiga bog'liq holda bitta, ikkita yoki uchta koordinata o'qlaridan foydalaniladi. Masalan, to'g'ri chiziq bo'yicha harakatlanayotgan biror A jismni olaylik. Uning vaziyatini aniqlash uchun sanoq boshi qilib olingan O nuqtaga bog'langan va A jismning harakat yo'nalishi bo'yicha yo'naltirilgan bitta OX koordinata o'qining o'zi kifoya qiladi (16- a rasm). O nuqta *koordinata boshi* deb ataladi. 16- a rasmdan ko'rinib turibdiki, A jismning t vaqtning istalgan paytidagi vaziyati biror shartlashib olingan masshtabda OX o'qi bo'yicha o'lchangan x masofa bilan to'liq aniqlanadi. x kesma A jismning *koordinatasi* bo'ladi va $A(x)$ deb yoziladi.



16- rasm.

Agar A jismning harakati biror tekislikda sodir bo‘layotgan bo‘lsa, u holda o‘zaro perpendikulyar ikkita o‘q — OX va OY koordinata o‘qlaridan foydalanish lozim (16- b rasm). Bu holda A jismning t vaqtning istalgan paytidagi vaziyati OX o‘qi bo‘yicha o‘lchangan x masofa va OY o‘qi bo‘yicha o‘lchangan y masofa bilan to‘liq aniqlanadi. x va y kesmalar A jismning koordinatalari bo‘ladi: $A(x, y)$.

Agar A jism fazoda harakatlanayotgan bo‘lsa, u holda o‘zaro perpendikulyar uchta koordinata o‘qlaridan iborat sistema, odatda, to‘g‘ri burchakli Dekart koordinatalar sistemasi qo‘llaniladi (16- d rasm). Bu holda jism turgan A nuqtaning t vaqtning istalgan paytidagi vaziyati shartlashib olingan masshtabda OX o‘q bo‘yicha o‘lchangan x , OY o‘q bo‘yicha o‘lchangan y va OZ o‘q bo‘yicha o‘lchangan z masofalar bilan to‘liq aniqlanadi, x , y , z kesmalar A nuqtaning koordinatalari bo‘ladi: $A(x, y, z)$.

Sanoq boshi qilib tanlangan jismga bog‘langan koordinatalar sistemasi va vaqt sanoq sistemasini tashkil etadi. Sanoq sistemasi inersial yoki noinersial bo‘lishi mumkin (31- § ga q.)

Ma‘lumki, eramizning ikkinchi asrida yashab ijod qilgan mashhur yunon olimi **K. Ptolemey** geosentrik (Yer markazlik) nazariyani yaratgan va bu ta‘limot XVI—XVII asrlargacha hukmron bo‘lib kelgan.

Ptolemeyning bu noto‘g‘ri ta‘limotini Yevropada birinchi

bo'lib polyak olimi **N. Kopernik** rad etdi va geliosentrik (Quyosh markazlik) nazariyani yaratdi. Uning fikri va kuzatishlariga ko'ra, Olamning markazida Quyosh turadi. Yer va boshqa sayyoralar esa Quyosh atrofida aylana bo'ylab harakat qiladi. Kopernik Yer Quyosh atrofida aylanuvchi uchinchi sayyora ekanligini aniqlash bilan birga Yerning o'z o'qi atrofida aylanishini ham aytib o'tadi. Kopernikning bu kashfiyoti Yevropada fan tarixida birinchi inqilobiy burilish bo'ldi.

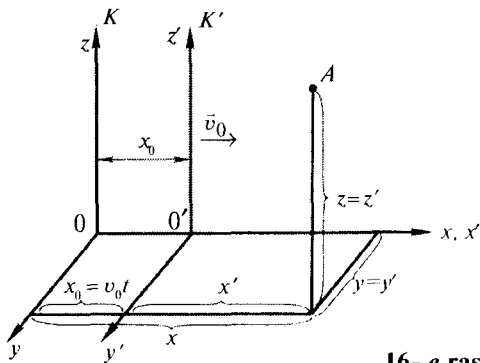
Buyuk vatandoshimiz **Abu Rayhon Beruniy** sayyoralar Quyosh atrofida aylanadi, ellips bo'yicha harakatlanadi, deyish bilan Kopernikdan qariyb besh asr ilgari geliosentrik ta'limotni bashorat qilgan (2- § ga q.) Yetuk mutafakkir **Umar al-Chag'miniy** esa „Yerning Quyosh atrofida aylanishidan fasllar hosil bo'ladi“ degan kashfiyoti bilan Kopernik tomonidan kashf qilingan geliosentrik ta'limotning o'ziga xos bayonini bergan.

Markazi Quyosh bilan ustma-ust tushuvchi, o'qlari esa mos ravishda yulduzlarga tomon yo'nalgan sanoq sistemasining inersial sistema ekanligi tajribalarda aniqlangan. Bu sistema *geliosentrik sanoq sistemasi* deyiladi. Geliosentrik sistemaga nisbatan tekis va to'g'ri chiziqli harakatlanuvchi istalgan sanoq sistemasi inersial bo'ladi. Agar sanoq sistema geliosentrik sistemaga nisbatan tezlanish bilan harakatlansa, bunday sistema *noinersial sanoq sistema* bo'ladi.

Yer Quyosh va yulduzlarga nisbatan ellips shaklidagi egri chiziqli trayektoriya bo'ylab harakatlanadi. Ma'lumki, egri chiziqli harakat doim biror tezlanish bilan sodir bo'ladi. Undan tashqari, Yer o'z o'qi atrofida aylanib turadi. Ana shu sabablarga ko'ra Yer sirti bilan bog'langan sanoq sistemasi geliosentrik sanoq sistemasiga nisbatan tezlanish bilan harakat qiladi va inersial bo'lmaydi. Biroq bunday sistemaning tezlanishi shu qadar kichikki, ko'p hollarda uni deyarli inersial deb hisoblasa bo'ladi.

10- §. Tezliklarni qo'shish. Nyuton mexanikasida nisbiylik prinsipi

Inersial sanoq sistemalariga nisbatan biror moddiy nuqtaning harakatini ko'rib chiqaylik. Masalan, vagon relsga nisbatan ilgarilanma tekis harakat va biror jism — odam vagonga nisbatan harakat qilayotgan bo'lsin. Sanoq sistemalardan birini (relsga



16- e rasm.

mahkamlanganini) tinch turgan, ikkinchisini (vagonga mahkamlanganini) harakatlanuvchi deb qabul qilamiz. Harakatlanuvchi sanoq sistemasida (vagonda) jism (odam) ning harakati *nisbiy harakat* deyiladi; tinch turgan (shartli) sanoq sistemasi (rels)ga nisbatan harakatlanuvchi sistema (vagon)dagi jism (odam)ning harakati *absolyut harakat* deyiladi va harakatlanayotgan sanoq sistemasi (vagon)ning tinch turgan sanoq sistemasi (rels)ga nisbatan harakati *ko'chirma harakat* deyiladi.

Tinch turgan K sanoq sistemasida A jismning koordinatalarini x, y, z deb, harakatlanuvchi K' sanoq sistemasida uning koordinatalarini x', y', z' deb belgilaymiz (16- e rasm).

Ikkala sanoq sistemasida o'lchangan vaqt o'zaro tengligini, ya'ni $t = t'$ ekanligini tajribalar ko'rsatadi. Mulohazalarni soddalashtirish uchun faraz qilaylik, $t = t' = 0$ da ikkala sanoq sistemasi (K va K') o'qlari ustma-ust tushsin. Shuningdek, K' sanoq sistemasi tinch turgan K sanoq sistemasiga nisbatan v_0 tezlik bilan to'g'ri chiziqli tekis ($v_0 = \text{const}$) harakat qilsin (16- e rasmga q.)

K va K' sanoq sistemalarida harakatlanayotgan jismning koordinatalari orasidagi bog'lanish quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + x', \quad y = y', \quad z = z', \\ x &= v_0 t + x', \quad x_0 = v_0 t = v_0 t', \quad t = t'. \end{aligned} \quad (7)$$

(7) tenglik *Galileyning koordinata almashtirishlari* deyiladi. Jismning K va K' sanoq sistemalaridagi tezliklari orasidagi

bog‘lanishni topish uchun (7) tenglikdan vaqt bo‘yicha birinchi tartibli hosila olamiz:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \frac{dx_0}{dt} + \frac{dx'}{dt} & \text{yoki} & & v_x &= v_0 + v'_x, \\ \frac{dy}{dt} &= \frac{dy'}{dt}, & & & v_y &= v'_y, \\ \frac{dz}{dt} &= \frac{dz'}{dt}, & & & v_z &= v'_z \end{aligned} \right\} \quad (7a)$$

(7a) tengliklar *Galileyning tezliklar almashtirishi* deyiladi. Bu tengliklarni hadma-had qo‘shsak,

$$v = v_0 + v' \quad (7b)$$

hosil bo‘ladi. (7a) va (7b) formulalar klassik mexanikada tezliklarni qo‘shish qoidalarini ifodalaydi.

(7a) va (7b)ni vaqt bo‘yicha differensiallasak, jismning K va K' sanoq sistemalaridagi tezlanishlari orasidagi bog‘lanishni topamiz:

$$a_x = a'_x, \quad a_y = a'_y, \quad a_z = a'_z, \quad a = a'. \quad (7d)$$

(7b) va (7d) tenglamalarni vektor ko‘rinishda yoza olamiz:

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_0, \quad (7e)$$

$$\vec{a} = \vec{a}'. \quad (7f)$$

Moddiy nuqtaning K sistemaga nisbatan kuzatilayotgan \vec{v} tezligi absolyut tezlik, K' sistemaga nisbatan \vec{v}' tezligi nisbiy tezlik, \vec{v}_0 esa K' sistemaning K sistemaga nisbatan ko‘chish tezligi bo‘ladi. (7e) va (7f) dan ko‘rinadiki, birinchidan, harakatlanayotgan moddiy nuqtaning \vec{v} absolyut tezligi \vec{v}' nisbiy va \vec{v}_0 ko‘chish tezliklarining vektor yig‘indisiga teng bo‘ladi, ikkinchidan, moddiy nuqtaning K sistemaga nisbatan tezlanishi, ya’ni a absolyut tezlanish K' sistemaga nisbatan tezlanishiga, ya’ni a' nisbiy tezlanishga teng bo‘ladi.

Bundan *jismning tezlanishi bir-biriga nisbatan to‘g‘ri chiziqli tekis harakatlanuvchi barcha sistemalarda bir xil bo‘ladi*, degan xulosa kelib chiqadi. Shuning uchun agar bu sistemalardan birortasi inersial bo‘lsa, u vaqtda qolganlari ham inersial bo‘ladi.

Mexanika nuqtayi nazaridan qaraganda hamma inersial sanoq sistemalari o'zaro ekvivalentdir: ularning birortasini ham boshqalaridan yuqori qo'yib bo'lmaydi. Amalda bu hol berilgan sanoq sistemalarida o'tkazilgan mexanik tajribalarning hech qaysisidan sistema tinch turibdimi yoki to'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotibdimi, ekanini bilib bo'lmashligida namoyon bo'ladi. Masalan, turtkisiz to'g'ri chiziqli va tekis harakatlanayotgan poyezd vagoni ichida turib, agar vagon derazasidan qaramasak, vagon tinch turibdimi yoki harakatlanayotibdimi, buni bila olmaymiz. Bunday sharoitda jismlarning erkin tushishi, biz tashlagan jismning harakati va barcha boshqa mexanik jarayonlar go'yo vagon tinch turganidek sodir bo'ladi.

Galiley aniqlagan bu hodisalardan hamda (7d) yoki (7f) tengliklardan *mexanikaning nisbiylik prinsipi* yoki *Galileyning nisbiylik prinsipi* quyidagicha ta'riflanadi: *inersial sanoq sistemasi ichida o'tkazilgan mexanik tajribalar yordamida u tinch yoki to'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotganligini aniqlash mumkin emas yoki mexanika qonunlari hamma inersial sanoq sistemalar uchun o'rinlidir.*

1905- yilda Eynshteyn yorug'lik yordamida o'tkazilgan tajribalar asosida mexanikaning nisbiylik prinsipini tahlil qilib, shunday xulosagakeldi: *nisbiylik prinsipi bu tabiatning eng fundamental qonunlaridan biri bo'lib, uni faqat mexanik hodisalargagina emas, balki issiqlik, elektromagnit, yorug'lik va boshqa hodisalarga ham qo'llash mumkin.*

Barcha inersial sanoq sistemalarida fizika qonunlari bir xilda bo'lishi invariantlik prinsipi deyiladi.

Yorug'lik tezligining invariantlik prinsipi o'rinlidir, ya'ni barcha inersial sanoq sistemalarida yorug'lik tezligi bo'shliq (vakuum)

da eng katta bo'lib, u o'zgarmas $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ ga tengdir.

11- §. Moddiy nuqta. Trayektoriya. Ko'chish va yo'l

Jismlarning harakati haqidagi ko'pgina amaliy masalalarda berilgan jismlarning o'lchami va shakli rol o'ynamasdan, balki ularning faqat massasi muhim ahamiyatga ega bo'ladi. Bu holda

real jismni shu jism massasiga teng massaga ega bo'lgan nuqta deb qarash mumkin. *Ko'riyatgan harakatda shakli va o'lchamlarini e'tiborga olmasa ham bo'ladigan jism moddiy nuqta* deb ataladi. Masalan, Yerning Quyosh atrofidagi harakatini o'rganishda Yerni moddiy nuqta deb olish mumkin. Yerning o'z o'qi atrofidagi harakatini o'rganishda esa Yerni moddiy nuqta deb qarash mumkin emas, chunki Yerning shakli va o'lchamlari uning aylanma harakati xarakteriga ancha ta'sir ko'rsatadi.

Moddiy nuqtaning harakatini tasvirlash uchun vaqt o'tishi bilan uning fazodagi vaziyati qanday o'zgarib borishini ko'rsatish kerak.

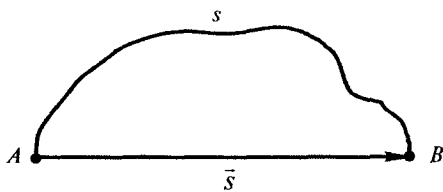
Harakatlanayotgan moddiy nuqtaning berilgan vaqt oralig'ida shu vaqtning har bir paytida kuzatilayotgan fazodagi vaziyatlarini ifodalovchi nuqtalarning geometrik o'rni trayektoriya deb ataladi.

Trayektoriyaning shakli sanoq sistemasining qanday tanlanishiga bog'liq. Masalan, Yerga nisbatan harakatlanayotgan vagonda jismning tushishini ko'raylik. Agar sanoq sistemasi vagonga birlashtirilgan bo'lsa, jismning vagonga nisbatan trayektoriyasi to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi. Agar sanoq sistemasi Yerga (masalan, platformaga) birlashtirilgan bo'lsa, jismning Yerga nisbatan trayektoriyasi egri chiziqdan iborat bo'ladi.

Demak, trayektoriya shakli tushunchasi nisbiy ma'noga ega. Shunday ekan, trayektoriya shakli haqida umuman emas, balki berilgan (tanlangan) sanoq sistemasidagi trayektoriya shakli haqida gapirish to'g'ri bo'ladi.

Moddiy nuqtaning biror vaqt oralig'ida o'tgan trayektoriyasining uzunligi shu vaqt ichida o'tilgan yo'l deyiladi. Agar trayektoriya to'g'ri chiziqdan iborat bo'lsa, *to'g'ri chizikli harakat* yoki, aksincha, trayektoriya egri chiziqdan iborat bo'lsa, *egri chizikli harakat* deb ataladi.

Faraz qilaylik, moddiy nuqta biror trayektoriya bo'ylab A nuqtadan B nuqtaga ko'chgan bo'lsin (17- rasm). Bu vaqtda trayektoriya bo'ylab hisoblangan A va B nuqtalar orasidagi masofa o'tilgan yo'lni ifodalaydi. Bu yo'lni s bilan belgilaymiz. Agar vaqtning boshlang'ich paytida jism turgan nuqta ma'lum bo'lsa, u holda bosib o'tilgan s yo'lni harakat trayektoriyasi bo'ylab



17- rasm.

yotqizib, t vaqtdan so'ng jism vaziyatini topish mumkin. Lekin trayektoriya ma'lum bo'lgan holdagina masala shunchalik oson yechiladi. Jismning harakat trayektoriyasi berilmagan

hollarda uning boshlang'ich vaziyati va bosib o'tgan yo'lining uzunligi ma'lum bo'lganda ham jismning oxirgi vaziyatini topib bo'lmaydi, chunki jism bu yo'lni istalgan yo'nalishda va istalgan trayektoriya bo'ylab bosib o'tishi mumkin. Bu holda ham jismning vaziyatini topish uchun bosib o'tilgan yo'lni emas, balki jismning *ko'chishi* deb ataladigan kattalikni bilish kerak bo'ladi.

Jismning boshlang'ich (A) vaziyatidan oxirgi (B) vaziyatiga o'tkazilgan va yo'nalishga ega bo'lgan to'g'ri chiziq kesmasi moddiy nuqtaning ko'chishi deyiladi (17- rasmga qarang). Ko'chishni \vec{s} bilan belgilaymiz, u vektor kattalikdir.

Shunday qilib, moddiy nuqtaning ixtiyoriy paytdagi vaziyatini topish uchun uning boshlang'ich vaziyatini va shu paytgacha o'tgan vaqt davomida ko'chishini bilish kerak, \vec{s} ko'chishning boshini A nuqtaga qo'ysak, shu ko'chish vektorining oxiri moddiy nuqtaning yangi B vaziyatini ko'rsatadi.

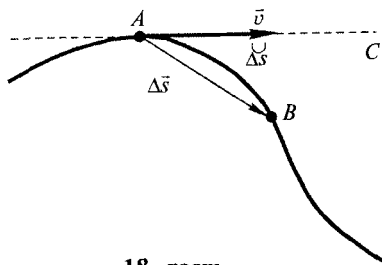
To'g'ri chizikli harakatda trayektoriya bilan ko'chish ustma-ust tushadi. Bu holda moddiy nuqtaning bosib o'tgan yo'li ko'chishning moduliga teng, ya'ni, $s = |\vec{s}|$ bo'ladi.

12-§. Tezlik.O'rtacha va oniy tezliklar

Kundalik kuzatishlarimizdan bir jism ikkinchi jismdan tezroq yoki sekinroq harakatlanishini bilamiz. Masalan, poyezd samolyotdan sekinroq yoki avtomobil velosipeddan tezroq harakatlanadi. Jismlarning harakati goh sekinlashishi, goh tezlashishi mumkin. Masalan, avtobus bekatga yaqinlashayotganida uning harakati sekinlashadi va, aksincha, bekatdan uzoqlashayotganida esa harakati tezlashadi. Jismlar harakatining jadalligini tavsiflash uchun *tezlik* tushunchasi kiritiladi. *Vaqt birligi ichida jismning o'tgan masofasining son qiymatiga teng bo'lgan*

fizik kattalik tezlik deyiladi. U vektor kattalik bo'lib, \vec{v} bilan belgilanadi.

Moddiy nuqta A nuqtadan B nuqtaga egri chiziqli trayektoriya bo'ylab harakat qilib, Δt vaqt oralig'ida Δs yo'lni o'tgan bo'lsin (18-rasm), Δs masofaning Δt vaqt oralig'iga bo'lgan nisbati bilan o'lanadigan fizik kattalik moddiy nuqtaning $v_{o'r}$ o'rtacha tezligi deyiladi:



18- rasm.

$$v_{o'r} = \frac{\Delta s}{\Delta t}. \quad (8)$$

Trayektoriyaning A nuqtasida AC urinma va AB vatar o'tkazamiz, bu vatar moddiy nuqtaning Δt vaqt oralig'idagi $\Delta \vec{s}$ ko'chishini ko'rsatadi. O'rtacha tezlikning kattaligi trayektoriyaning turli qismlarida turlicha bo'ladi. Chunki u Δs yo'lning kattaligiga yoki xuddi shuning o'zi Δt vaqt kattaligiga bog'liq bo'ladi. Vaqt oralig'ini cheksiz kichiklashtirib boramiz, ya'ni $\Delta t \rightarrow 0$ deb olamiz. Bu holda B nuqta A nuqtaga, AB vatar Δs yoyga intiladi va ularning har ikkalasi AC urinma bilan ustma-ust tushadi. Shunday qilib, kichik Δs yoy bo'ylab egri chiziqli harakat trayektoriyaga A nuqtada o'tkazilgan urinmaning cheksiz kichik kesmasi bo'ylab to'g'ri chiziqli harakatga aylanadi. Shu Δs kichik yo'ldagi o'rtacha tezlik esa A nuqtadagi v oniy yoki haqiqiy tezlikka intiladi. Shuning uchun oniy tezlikning kattaligi quyidagicha ifodalanadi:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} v_{o'r} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}. \quad (9)$$

O'niy tezlik trayektoriyaga o'tkazilgan urinma bo'ylab yo'nalgan. $\Delta t \rightarrow 0$ da Δs ko'chish bilan Δs yo'l (yoy) ustma-ust tushishini nazarga olib,

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \vec{v}_{o'r} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} = \frac{d\vec{s}}{dt} \quad (9a)$$

deb yozish mumkin.

Shunday qilib, *trayektoriyaning ixtiyoriy nuqtasida harakatning oniy tezligi trayektoriyaga o'tkazilgan urinma bo'ylab yo'nalgan, kattaligi jihatidan esa s yo'ldan t vaqt bo'yicha olingan hosilaga teng bo'lgan vektor kattaligidir.*

Tezlik birligi qilib shunday harakatning tezligi qabul qilinadiki, bunda jism vaqt birligi davomida masofa birligiga teng yo'lni bosib o'tadi.

SI da tezlik birligi bir sekund ichida bir metr yo'l bosiladigan harakatning tezligidan iborat bo'ladi. Tezlik ta'rifiga ko'ra

$$[v] = \frac{[\Delta s]}{[\Delta t]} = \frac{1\text{m}}{1\text{s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Amalda tezlikning $1 \frac{\text{sm}}{\text{s}}$, $1 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ va boshqa birliklari ham qo'llaniladi. Tezlikning bu birliklari orasida quyidagi bog'lanish mavjud:

$$1 \frac{\text{sm}}{\text{s}} = \frac{10^{-2}\text{m}}{\text{s}} = 1 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad 1 \frac{\text{km}}{\text{soat}} = \frac{10^3\text{m}}{3600\text{s}} = \frac{10}{36} \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Har qanday jismning harakatini bir nechta sodda harakatdan iborat bo'lgan murakkab harakat deb qarash mumkin. Murakkab harakatning tezligini, vektorlarni qo'shish qoidalariga muvofiq (7- § ga q.), sodda harakatlar tezliklarini qo'shish yo'li bilan topiladi.

13-§. Tezlanish

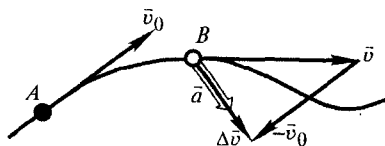
Vaqt o'tishi bilan tezlikning kattaligi va yo'nalishi o'zgarib boradigan harakat tabiatda ko'p uchraydi. Tezlikning bunday o'zgarishini tavsiflash uchun *tezlanish* degan fizik kattalik kiritiladi.

Vaqt birligi ichida tezlik vektori o'zgarishining son qiymatiga teng bo'lgan fizik kattalik tezlanish deyiladi. Tezlanish vektor kattalik bo'lib, \bar{a} harfi bilan belgilanadi.

Agar jismning A nuqtadagi \bar{v}_0 boshlang'ich tezligi Δt vaqt davomida B nuqtada \bar{v} qiymatgacha o'zgargan bo'lsa (19-rasm), tezlik o'zgarishining shu o'zgarish bo'lgan vaqt oralig'iga nisbati $\bar{a}_{o'r}$ o'rtacha tezlanish deyiladi:

$$\bar{a}_{o'r} = \frac{\bar{v} - \bar{v}_0}{\Delta t} = \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t}. \quad (10)$$

19-rasmdan ko'rinadiki, tezlikning $\Delta \bar{v}$ o'zgarishi trayektoriyaning botiq tomoniga burchak ostida yo'nalgan bo'ladi.



19- rasm.

Umumiy holda o'rtacha tezlanish kattaligi trayektoriyaning turli qismlarida turlicha va o'rtacha kattalik olinayotgan vaqt oralig'ining kattaligiga bog'liq bo'ladi. Vaqt oralig'ini kichraytirib boraylik. $\Delta t \rightarrow 0$ da limitga o'tilganda B nuqta A nuqtaga intiladi va AB yo'ldagi o'rtacha tezlanish A nuqtadagi oniy yoki haqiqiy tezlanishga aylanadi. Shuning uchun

$$\bar{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{a}_{o'r} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t} = \frac{d\bar{v}}{dt}. \quad (10a)$$

Shunday qilib, *trayektoriyaning istalgan nuqtasida harakatning tezlanishi trayektoriyaning botiq tomoniga burchak ostida yo'nalgan va kattaligi jihatidan tezlikdan vaqt bo'yicha olingan hosilaga teng bo'lgan vektor kattalikdir.*

Tezlanish birligi qilib vaqt birligi ichida tezligi bir birlikka o'zgaradigan harakatning tezlanishi qabul qilinadi.

SI da tezlanish birligi qilib tezligi har sekundda $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ga o'zgaradigan harakatning tezlanishi qabul qilinadi, ya'ni

$$[a] = \frac{[\Delta v]}{[\Delta t]} = \frac{1 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1 \text{s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Amalda tezlanishning $1 \frac{\text{sm}}{\text{s}^2}$ birligidan ham foydalaniladi.

Bu birliklar orasidagi bog'lanish quyidagicha bo'ladi:

$$1 \frac{\text{sm}}{\text{s}^2} = \frac{10^{-2} \text{m}}{\text{s}^2} = 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Tezlanishning ta'rifiga binoan, moddiy nuqta egri chiziqli trayektoriya bo'ylab kattalik jihatidan o'zgarmas tezlik bilan harakatlanayotganda ham tezlanish nolga teng bo'lmaydi, chunki bunda tezlik vektorining yo'nalishi o'zgaradi.

14- §. To'g'ri chiziqli tekis harakat va uning harakat tenglamasi. Tezlik va yo'l grafiklari

11- § da aytib o'tganimizdek, jism harakatining trayektoriyasi to'g'ri chiziqli va egri chiziqli bo'lishi mumkin. Shunga ko'ra jismning harakati to'g'ri chiziqli va egri chiziqli harakatlarga bo'linadi.

Agar jism to'g'ri chiziqli harakatida teng vaqt oraliqlarida teng masofalarni bosib o'tsa, jismning bunday harakati to'g'ri chiziqli tekis harakat deyiladi. Bundan to'g'ri chiziqli tekis harakatda jismning tezligi kattalik va yo'nalish jihatidan o'zgarishsiz qoladi, degan xulosaga kelamiz.

Jismning tekis harakat tezligi bosib o'tilgan yo'lning shu yo'lni bosib o'tish uchun ketgan vaqtga nisbati bilan o'lchanadi. Agar t vaqt davomida jism s yo'lni bosib o'tgan bo'lsa, u holda harakat tezligi

$$v = \frac{s}{t} \quad \text{yoki} \quad \bar{v} = \frac{\bar{s}}{t} \quad (11)$$

bo'ladi, bunda \bar{s} — jismning t vaqt ichidagi ko'chishini bildiradi. (To'g'ri chiziqli harakatda ko'chish bilan trayektoriya ustma-ust tushishini va o'tilgan yo'l son jihatdan ko'chish kattaligiga teng bo'lishini eslatib o'tamiz.)

(11) formuladan to'g'ri chiziqli tekis harakatda ko'chish vektorining tezlik vektori bilan bir xil yo'nalgan ekanligini ko'rish qiyin emas, chunki t vaqt skalyar kattalikdir.

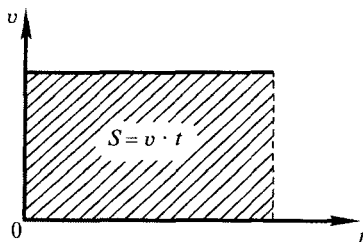
Tekis harakat tezligi ma'lum bo'lsa, t vaqt davomida bosib o'tilgan yo'l

$$s = vt \quad (12)$$

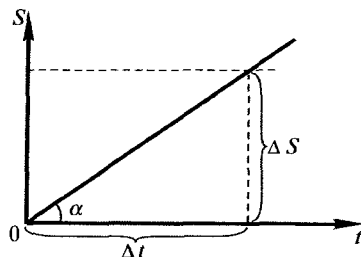
formulaga binoan aniqlanadi. Bu formula *tekis harakat tenglamasi* deb ataladi. Demak, jismning to'g'ri chiziqli tekis harakatida o'tgan yo'li harakat vaqtiga to'g'ri proporsionaldir.

Biror kattalikning o'zgarishiga bog'liq holda o'zgaradigan ikkinchi kattalik *funksiya* deb, erkin o'zgaruvchi kattalik esa *argument* deb ataladi. Tekis harakatda s yo'l — funksiya, t vaqt — argument, to'g'ri chiziqli tekis harakatning tenglamasi (12) formula esa s funksiyaning analitik ifodasi bo'ladi.

Ikki kattalikning o'zaro bog'lanishini chizmada biror chiziq



20- rasm.



21- rasm.

ko'rinishida ham tavsiflash mumkin, bu chiziq *funksiyaning grafigi* deb ataladi.

Funksiyaning grafigini yasash uchun argumentning qiymatlari (uning olishi mumkin bo'lgan qiymatlar oralig'ida) ixtiyoriy olinadi, argumentning bu qiymatlariga mos keladigan funksiyaning qiymatlarini esa funksiyaning analitik ifodasidan foydalanib, hisoblab topiladi.

20- rasmda to'g'ri chizikli tekis harakatning tezlik grafigi tasvirlangan. Bu grafikni hosil qilish uchun absissa o'qi bo'yicha vaqtni, ordinata o'qi bo'yicha tezlikni tanlab olingan masshtabda qo'yamiz. U vaqtda absissa o'qiga parallel bo'lgan to'g'ri chiziqdan iborat tezlik grafigi hosil bo'ladi, chunki tekis harakatda tezlik o'zgarmas kattalikdir, uning qiymati vaqtga bog'liq emas. (12) formulani e'tiborga olib, to'g'ri chizikli tekis harakatda jism bosib o'tgan s yo'l 20- rasmdagi shtrixlangan to'g'ri to'rtburchakning yuziga son jihatdan teng bo'ladi, deb ayta olamiz.

Yo'l grafigini yasashda absissa o'qini vaqt o'qi, ordinata o'qini yo'l o'qi qilib olamiz (21- rasm). Natijada, koordinatalar boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziqdan iborat bo'lgan yo'l grafigini hosil qilamiz. Bu to'g'ri chiziq vaqt o'qining musbat yo'nalishi bilan hosil qilgan α burchakning tangensi v tezlikka teng bo'ladi, ya'ni

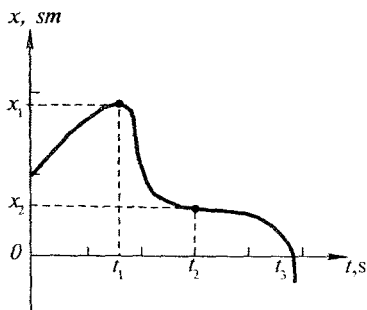
$$v = \operatorname{tg}\alpha = \frac{\Delta S}{\Delta t}. \quad (13)$$

To'g'ri chizikli tekis harakatning tezligi qancha katta bo'lsa, yo'l grafigi vaqt o'qi bilan shuncha katta burchak tashkil qiladi.

15- §. To'g'ri chiziqli tekis harakat koordinatasining vaqtga bog'liqlik grafigi

Moddiy nuqta deb qaraladigan biror jism to'g'ri chiziq bo'yicha harakatlanayotgan bo'lsin. Jism vaqt o'tishi bilan to'g'ri chiziq bo'yicha siljiydi, berilgan chiziqdagi muayyan nuqtadan uzoqlashadi yoki unga yaqinlashadi. To'g'ri chiziqni sanoq sistemasi sifatida qabul qilib, unga nisbatan jismning harakatini o'rganish mumkin.

Bu to'g'ri chiziq bo'yicha koordinata o'qlaridan birini, masalan, Ox o'qini yo'naltiraylik va uning ustida biror O nuqtani tanlaylik. Vaqtning har bir paytida harakatlanayotgan jism tayinli koordinataga ega bo'ladi: koordinata vaqtning $x(t)$ funksiyasi bo'ladi. Bu funktsiyaning ko'rinishi jismning *harakat qonunini* ifodalaydi. Harakat qonunini grafik vositasida juda yaqqol namoyish etish mumkin. Absissa o'qiga t vaqtning, ordinata o'qiga x koordinataning qiymatlarini qo'yib, $x(t)$ funktsiyaning grafigi hosil qilinadi. Bunday grafik *harakat grafigi* deyiladi. Shunday grafiklardan biri 22- rasmda tasvirlangan. Grafik bo'yicha harakatlanayotgan muayyan jismning harakati qanday sodir bo'lganini aniqlash mumkin: t vaqtning ortishi bilan $x(t)$ egri chiziq yuqoriga ko'tarilsa, jism O nuqtadan uzoqlashadi va egri chiziq qancha tikroq ko'tarilsa, O nuqtadan shuncha tezroq uzoqlashadi. Egri chiziqning vaqt o'qiga parallel qismlari jismning to'xtashiga, egri chiziqning pastga tushishi jismning O nuqtaga yaqinlashishiga mos keladi va hokazo.



22- rasm.

Shunday qilib, 22- rasmda tasvirlangan grafik jismning bosib o'tgan yo'lini emas, balki jism koordinatasining vaqtga bog'liqlik grafigini ifodalaydi. Jism bosib o'tgan yo'lni jism bir yo'nalishda harakat qilayotgandagina uning koordinatasi bo'yicha aniqlash mumkin. Masalan, 22- rasmda ifodalangan harakat grafigida jism x_1 dan katta koordinataga ega bo'la olmaydi, lekin vaqtning t_1 qiymatidan so'ng jism o'tgan yo'l x_1

dan katta bo'lad i, koordinata esa, aksincha, x_1 dan kichik, masalan, t_2 da x_2 ga, hatto, t_3 va 0 ga teng bo'lad i.

Jismning harakat grafigin i olish uchun t vaqtning muayyan paytlarida x masofani o'lchab borish lozim. Buning uchun, masalan, harakatlanayotgan jismga shunday bir moslama o'rnatish kerakki, jism o'zi harakatlanayotgan qo'zg'almas jismda muayyan vaqt o'tkazib belgilar qo'yib borsin.

To'g'ri chiziqli tekis harakat uchun harakat qonunining hamda unga mos kelgan harakat grafigining ko'rinishini aniqlaylik. Buni amalga oshirish maqsadida metropoliten eskalatorining harakatini to'g'ri chiziqli tekis harakat deb hisoblab, tajriba o'tkazaylik. Eskalatorning devori bo'yicha qog'oz tasma tortib, zinada turgan kishi qo'lga birday vaqtlar oralig'ida (masalan, har bir sekund oralatib) qog'oz tasmaga belgi qo'yib ketadigan asbob beramiz, belgilar qo'yilib bo'lgandan so'ng tegishli o'lchashlarni o'tkazib, olingan natijalarni quyidagi jadvalga kiritamiz:

Jadval

Vaqt momentlari, t, s	1	2	3	4	5	6	7	8
Koordinata, x, m	1,75	2,50	3,25	4,00	4,75	5,50	6,25	7,00

Jadvaldan foydalanib, x koordinata bilan t vaqt orasidagi munosabatni tahlil qilaylik:

$$t = 1s \text{ da } x(t) = 1,75m = (1 + 0,75 \cdot 1)m;$$

$$t = 2s \text{ da } x(t) = 2,50m = (1 + 1,50)m = (1 + 0,75 \cdot 2)m;$$

$$t = 3s \text{ da } x(t) = 3,25m = (1 + 2,25)m = (1 + 0,75 \cdot 3)m;$$

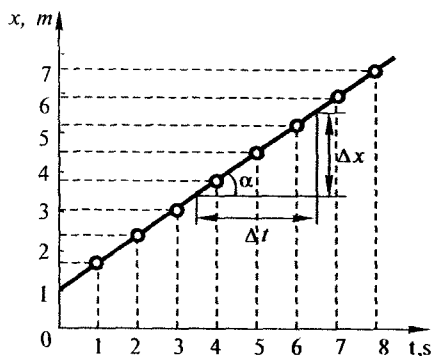
.....

$$t = 8s \text{ da } x(t) = 7,00m = (1 + 6,00)m = (1 + 0,75 \cdot 8)m.$$

Tahlil natijasidan harakatlanayotgan jismning x koordinatasi t vaqtning

$$x(t) = 1 + 0,75t \tag{14}$$

ko'rinishidagi chiziqli funksiyasi ekanligiga ishonch hosil qilish qiyin emas. Harakatning xarakteri o'zgarmaydi, deb faraz qilib,



23- rasm.

dan boshlanadigan tekis harakatda koordinata kattaligi bilan yo‘l kattaligi orasida farq bo‘lmaydi.

23- rasmdagi grafikdan va $x(t)$ funksiyadan ((14) formula)

$t = 0$ da $x_0 = 1\text{m}$ — boshlang‘ich koordinata, $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ — harakat tezligi ekanligi ravshan ko‘rinib turibdi. Demak, to‘g‘ri chiziqli tekis harakatda jism koordinatasining vaqtga bog‘liqligi (harakat qonuni)

$$x = vt + x_0 \quad (15)$$

chiziqli funksiyadan iborat. Demak, bunday funksiya bilan ifodalaniladigan harakat to‘g‘ri chiziqli tekis harakat ekan.

16- §. To‘g‘ri chiziqli o‘zgaruvchan harakat. Tezlik va tezlanish grafiklari

Tabiatda vaqt o‘tishi bilan tezligi o‘zgarib turadigan harakat ko‘p uchraydi. Masalan, tramvay, trolleybus va avtobuslarning harakatini kuzatar ekanmiz, yo‘lning ba’zi qismlarida sekinroq harakatlanishini, to‘xtash joylarida esa tezlik nolga teng bo‘lishini ko‘ramiz. Bunday harakat *notekis harakat* yoki *o‘zgaruvchan harakat* deyiladi.

Vaqt o‘tishi bilan tezligi o‘zgaradigan harakat o‘zgaruvchan harakat deyiladi.

Harakat trayektoriyasi to‘g‘ri chiziqdan iborat bo‘lgan o‘zgaruvchan harakat to‘g‘ri chiziqli o‘zgaruvchan harakat deb ataladi.

vaqtning bizni qiziqtiradigan keyingi paytlarida ham koordinata shu qonun bo‘yicha hisoblab aniqlanishi mumkin deya olamiz.

Endi jadval asosida harakat grafigini yasaylik (23- rasm). Tekis harakatda $x(t)$ funksiya vaqtning chiziqli funksiyasi bo‘lgani uchun bu harakatning grafigi ham to‘g‘ri chiziqdan iborat bo‘ladi. Koordinata boshidan

O'zgaruvchan harakatning eng sodda turi tekis o'zgaruvchan harakatdir. Bunday harakatda har qanday teng vaqt oraliqlari davomida tezlik ayni bir kattalikka o'zgaradi, binobarin, tezlanish o'zgarmas ($a = \text{const}$) bo'ladi.

Tekis o'zgaruvchan harakatni tekis tezlanuvchan va tekis sekinlanuvchan harakatlarga ajratiladi.

Har qanday teng vaqt oraliqlarida tezligi bir tekis ortib boradigan harakat tekis tezlanuvchan harakat deyiladi. Tekis tezlanuvchan harakat o'zgarmas musbat tezlanishli ($\bar{a} > 0$) harakatdir, bunda tezlanish yo'nalishi tezlik (yoki harakat) yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi.

Har qanday teng vaqt oraliqlarida tezligi bir tekis kamayib boradigan harakat tekis sekinlanuvchan harakat deb ataladi. Tekis sekinlanuvchan harakatda tezlanish manfiy ($\bar{a} < 0$) bo'lib, bunda tezlanish tezlik yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi.

Tekis o'zgaruvchan harakatda tezlanish harakat davomida o'zgarmas bo'lgani uchun uni hisoblashda ixtiyoriy vaqt oralig'ini, masalan, butun vaqt oralig'ini olish mumkin. Agar jismning v_0 boshlang'ich tezligi t vaqt davomida v qiymatgacha o'zgaragan bo'lsa, tezlanish ta'rifiga ko'ra

$$a = \frac{v - v_0}{t} \quad (16)$$

bo'ladi, bundan

$$v = v_0 + at \quad (17)$$

ekanni topamiz. Bu formuladan tekis o'zgaruvchan harakat uchun vaqtning ixtiyoriy qiymatidagi yoki trayektoriyaning ixtiyoriy nuqtasidagi tezligini, ya'ni oniy tezligini hisoblash mumkin.

(17) formula v_0 boshlang'ich tezlikka ega bo'lgan tekis tezlanuvchan harakatning tezligini ifodalaydi. Bunday harakat har doim qandaydir harakatning (masalan, tekis harakatning) davomi bo'ladi.

Finch holatdan boshlangan tekis tezlanuvchan harakatda $v_0 = 0$ bo'lgani uchun (17) formuladan

$$v = at \quad (18)$$

kelib chiqadi. Bu formula boshlang'ich tezlikka ega bo'lmagan tekis tezlanuvchan harakatning tezligini ifodalaydi.

Tekis sekinlanuvchan harakatda $\bar{a} < 0$ ekanini nazarga olsak, u holda (17) formula

$$v = v_0 - at \quad (19)$$

ko'rinishga keladi. Bu formula oxirgi tezligi nol bo'lmagan tekis sekinlanuvchan harakatning tezligini ifodalaydi. Oxirgi tezligi nol bo'lgan ($v = 0$) tekis sekinlanuvchan harakatning boshlang'ich tezligini

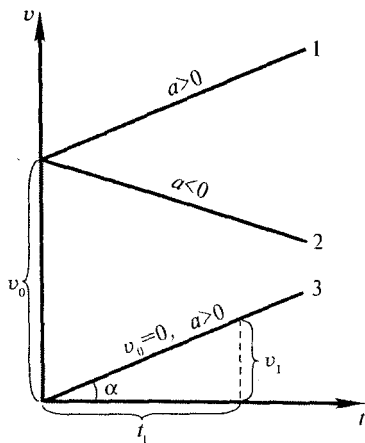
$$v_0 = at \quad (20)$$

formuladan hisoblab topish mumkin.

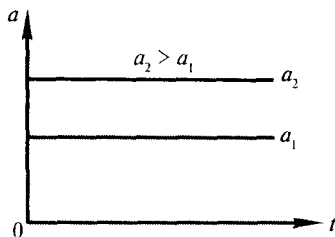
Barcha o'zgaruvchan harakatlarning o'rtacha tezligi kabi, tekis o'zgaruvchan harakatning o'rtacha tezligini ham (8) formula yordamida aniqlash mumkin. Lekin bunday harakatda tezlik bir tekis ortib yoki kamayib borayotganligidan foydalanib, o'rtacha tezlikni osongina topish mumkin. Buning uchun v_0 boshlang'ich va v oxirgi tezliklarni qo'shib, hosil bo'lgan yig'indini ikkiga bo'lish lozim, ya'ni

$$v_{\text{or}} = \frac{v + v_0}{2}. \quad (21)$$

24- rasmda v_0 boshlang'ich tezlikli tekis o'zgaruvchan harakatning tezlik grafiklari keltirilgan. Bu rasmdagi 1 va 2 to'g'ri chiziqlar mos ravishda v_0 boshlang'ich tezlikka ega bo'lgan tekis



24- rasm.



25- rasm.

tezlanuvchan ($\bar{a} > 0$) va tekis sekinlanuvchan ($\bar{a} < 0$) harakatga, 3 to'g'ri chiziq esa boshlang'ich tezliksiz ($v_0 = 0$) tekis tezlanuvchan harakatga tegishlidir. Rasmdan ko'rinadiki, agar $v_0 = 0$ bo'lsa, tezlik grafigi koordinata boshidan o'tuvchi, $v_0 \neq 0$ bo'lganda esa, ordinata o'qidan v_0 ga teng kesmani ajratuvchi to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi. Shuningdek, 24- rasmdan tezlanish son jihatdan

$$a = \operatorname{tg}\alpha = \frac{v_1}{t_1}$$

ga teng ekanini ko'rish qiyin emas.

To'g'ri chizikli tekis o'zgaruvchan harakatda tezlanish o'zgarmas ($\bar{a} = \text{const}$) bo'lgani uchun uning vaqtga bog'lanish grafigi vaqt o'qiga parallel bo'lgan to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi (25- rasm).

17- §. Tekis o'zgaruvchan harakatning tenglamasi. Yo'l grafigi

Endi tekis o'zgaruvchan harakatda t vaqt davomida bosib o'tilgan yo'lni hisoblaylik.

Har qanday o'zgaruvchan harakatda jismning o'tgan yo'lini quyidagi formula bo'yicha hisoblash mumkin:

$$s = v_{o'r} \cdot t. \quad (22)$$

Tekis o'zgaruvchan harakat uchun o'rtacha tezlikning (21) formuladagi ifodasidan foydalanib,

$$s = \frac{v_0 + v}{2} t \quad (23)$$

munosabatni hosil qilamiz. Bunday v ni (17) formula bilan almashtirib va bu almashtirishlar ustida algebraik amallarni bajarib, quyidagi munosabatni olamiz:

$$s = \frac{v_0 + v_0 + at}{2} \cdot t = v_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

Shunday qilib, tekis o'zgaruvchan harakatda o'tilgan yo'lni hisoblash formulasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}. \quad (24)$$

(24) formula tekis o'zgaruvchan harakat tenglamasi deb ataladi. Tezlanish bu holda musbat yoki manfiy bo'lishi mumkin.

Masalalar yechishda ko'p ishlatiladigan yo'l formulasi ifodasini keltirib chiqaraylik.

(17) formuladan t ni topamiz:

$$t = \frac{v - v_0}{a}$$

va t ning bu qiymatini hamda $v_{o'r}$ ning (21) formuladagi ifodasini (22) formulaga keltirib qo'yamiz. U holda

$$s = \frac{v_0 + v}{2} \cdot \frac{v - v_0}{a} = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \quad (25)$$

ga ega bo'lamiz.

Shunday qilib, v_0 boshlang'ich va v oxirgi tezlik hamda a tezlanish ma'lum bo'lgan holda (25) formuladan bosib o'tilgan yo'lni hisoblab topish mumkin. Bu formuladan foydalanib jismning oxirgi tezligini ham aniqlash mumkin:

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2as}. \quad (26)$$

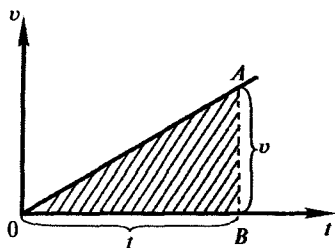
Agar jismning boshlang'ich tezligi $v_0 = 0$ bo'lsa, u holda (24), (25) va (26) formulalardan mos ravishda

$$s = \frac{at^2}{2}, \quad s = \frac{v^2}{2a}, \quad v = \sqrt{2as} \quad (27)$$

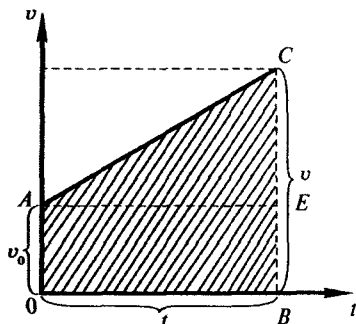
hosil bo'ladi.

18- §. Tekis tezlanuvchan harakatda tezlik grafigidan yo'l formulasini keltirib chiqarish

To'g'ri chiziqli tekis harakatda bosib o'tilgan yo'l shu tekis harakatning tezlik grafigi asosida qurilgan to'g'ri to'rtburchak yuzi bilan tasvirlanishini ko'rdik (14- §, 20- rasimga q.). Tekis o'zgaruvchan harakatda ham tezlik grafigi asosida o'tilgan yo'lni tasvirlash (26- va 27- rasmlar) va undan yo'l formulasini keltirib



26- rasm.



27- rasm.

chiqarish mumkin. Bu maqsadda boshlang'ich tezlikka ega bo'lgan tekis tezlanuvchan harakatning tezlik grafigidan foydalanamiz. 27-rasmda shunday grafik tasvirlangan: bunda v_0 — boshlang'ich tezlik, t — harakat vaqti, v — oxirgi tezlik, AC — tezlik grafigi.

t vaqt davomida bosib o'tilgan yo'l kattalik jihatdan $OACB$ trapetsiyaning yuziga teng bo'ladi. Rasmdan ko'rinadiki, $OACB$ trapetsiyaning yuzini hisoblash uchun $OAEB$ to'g'ri to'rtburchakning yuziga ACE to'g'ri burchakli uchburchakning yuzini qo'shish kerak bo'ladi. Shunday qilib,

$$s = OB \cdot OA + \frac{1}{2} AE \cdot CE.$$

Rasmdan ko'rinadiki, $OB = AE = t$ — harakat vaqti, $OA = BE = v_0$ — boshlang'ich tezlik, $CE = BC - BE = (v - v_0)$ — harakatning t vaqt davomidagi tezlik orttirmasi. $v = v_0 + at$ edi, bunda a — harakat tezlanishi, shuning uchun $CE = (v_0 + at) - v_0 = at$ bo'ladi. Binobarin,

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} t \cdot at = v_0 t + \frac{at^2}{2}. \quad (28)$$

(28) ifoda boshlang'ich tezligi v_0 va tezlanishi a bo'lgan tekis tezlanuvchan harakatning yo'l formulasi bo'ladi. Xuddi shu yo'l bilan tekis sekinlanuvchan harakatning yo'l formulasi

$$s = v_0 t - \frac{at^2}{2} \quad (28a)$$

ko'inishda ekanligini ko'rsatish mumkin. (Bu vazifani bajarishni o'quvchilarning o'zlariga havola qilamiz.)

(28) va (28a)ni birlashtirsak, quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$s = v_0 t \pm \frac{at^2}{2}. \quad (29)$$

19- §. Jismlarning erkin tushishi

Jismlarning erkin tushishi boshlang'ich tezliksiz to'g'ri chiziqli tekis tezlanuvchan harakatga misol bo'la oladi.

Vakuumda jismlarning faqat og'irlik kuchi ta'sirida Yerga tushishi erkin tushish deyiladi.

Jismlarning erkin tushishini birinchi bo'lib tajribada italiyalik olim Galileo Galiley o'rgandi va erkin tushish qonunlarini aniqladi. Bu qonunlarni ta'riflashdan oldin quyidagi tajribani qilib ko'ramiz.

Uzunligi 1,5 m chamasida bo'lgan va bir uchi kavsharlangan, ikkinchi uchiga esa ichidan havoni so'rib olish uchun jo'mrak mahkamlangan shisha nay olib, uning ichiga turli og'irlik va har xil shakldagi jismlarni, masalan, qush pati, bir bo'lak po'kak, qo'rg'oshin pitra solaylik. Nayni to'ntarib tik vaziyatga keltirib, quyidagi hodisani kuzatamiz. Nayning ichida havo bo'lganda har xil jismlar turli tezlik bilan tushadi, bunda qush pati qo'rg'oshin pitradan sezilarli orqada qoladi (28- a rasm). Nayning ichidagi havoni so'rib olib, tajribani takrorlasak, barcha jismlarning, ularning og'irligi va shakllaridan qat'iy nazar, nayning tubiga bir vaqtda tushishini ko'ramiz (28- b rasm). Demak, *vakuumda hamma jismlar birday tezlanish bilan tushadi*.

Galiley davrida havo nasoslari bo'lmagani uchun u o'z tajribalarini havoda o'tkazdi. Galiley og'ma minoralardan turli og'irlikdagi jismlarni baravar tashlab yuborganda ularning og'ir-yengilligiga qaramasdan Yerga deyarli bir vaqtda tushishini kuzatdi. Jismlarning harakatiga havoning ko'rsatadigan qarshiligini nazarga olmay, Galiley erkin tushishning quyidagi qonunlarini kashf etdi:

1. *Jismlarning erkin tushishi boshlang'ich tezliksiz to'g'ri chiziqli tekis tezlanuvchan harakatdir.*

2. *Yerning muayyan joyida, barcha jismlar bir xil tezlanish bilan*

tushadi. Bu tezlanish erkin tushish tezlanishi deb ataladi va g harfi bilan belgilanadi.

Yerning aniq shar shaklida emasligi, ya'ni qutblarda biroz yassilanganligi hamda Yerning o'z o'qi atrofida aylanishi sababli, Yerning turli nuqtalarida erkin tushish tezlanishi turli qiymatlarga ega bo'ladi. Agar Yer sirtida ekvatoridan qutbga tomon borilsa, erkin tushish tezlanishining qiymati ortib boradi. U ekvatorida $9,780 \frac{m}{s^2}$, qutbda esa $9,832 \frac{m}{s^2}$ ga teng. $g = 9,80665 \frac{m}{s^2}$ bo'lgan erkin tushish tezlanishining qiymati *normal qiymat* deb hisoblanadi. Bu qiymat Yerning 45° geografik kengligidagi erkin tushish tezlanishining qiymatiga mos keladi.

Amalda Yerning barcha nuqtalarida erkin tushish tezlanishini bir xil deb hisoblab, uning $g = 9,8 \frac{m}{s^2} = 980 \frac{sm}{s^2}$ qiymatidan foydalaniladi.

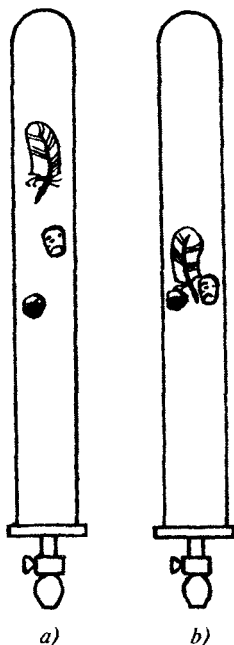
Erkin tushayotgan jism tezligi va yo'li formulalari to'g'ri chiziqli tekis tezlanuvchan harakat formulalaridan farq qilmaydi. Shu sababli boshlang'ich tezliksiz tekis tezlanuvchan harakat tenglamalari (18) va (27) larda s ni h bilan, a ni g bilan almashtirish orqali erkin tushishda tezlik va yo'l formulalarini hosil qilamiz:

$$v = gt, \quad (30)$$

$$h = \frac{gt^2}{2}, \quad h = \frac{v^2}{2g}. \quad (30a)$$

$$v = \sqrt{2gh}. \quad (30b)$$

Jismning ma'lum balandlikdan tushishiga ketadigan vaqtni, tushayotgan jismning istalgan nuqtadagi va istalgan paytdagi tezligini va boshqa kattaliklarni yuqorida keltirilgan (30), (30a) va (30b) formulalardan foydalanib hisoblab topish mumkin.



28- rasm.

20- §. Yuqoriga tik otilgan jismning harakati

Yuqoriga tik otilgan jismning harakati to'g'ri chiziqli tekis sekinlanuvchan harakatga misol bo'la oladi.

Ma'lumki, jismlarning Yerga tortilishi tufayli, ular o'z-o'zidan yuqoriga qarab harakat qilmaydilar, ularni yuqoriga otish kerak, ya'ni ularga yuqoriga tik yo'nalgan biror boshlang'ich tezlik berish kerak.

Tajribalarda aniqlanishicha, yuqoriga tik otilgan jism erkin tushayotgan jismning tezlanishiga son jihatdan teng va unga qarama-qarshi yo'nalishli tezlanish bilan harakat qiladi. Shuning uchun bu harakatda tezlik kamaya boradi, binobarin, harakat tekis sekinlanuvchan bo'ladi. Yuqoriga tik otilgan jism tezligi nolga teng bo'lib qolguncha tekis sekinlanuvchan harakat qilib, yuqorilashib boradi. Tezligi nolga teng bo'lgan paytda u eng katta balandlikka (29- rasm, B nuqta) erishadi, so'ngra shu balandlikdan pastga qarab boshlang'ich tezliksiz erkin tusha boshlaydi. Bu yuqori nuqtada otilishning oxirgi va tushishning boshlang'ich tezligi o'zaro teng bo'ladi ($v = v_0 = 0$).

Agar yuqoriga tik otilgan jismning boshlang'ich tezligi v_0 , t sekunddan keyingi tezligi v , shu vaqt ichida ko'tarilish balandligi h va erkin tushish tezlanishi g bo'lsa, unda quyidagi formulalarni yozish mumkin:

$$v = v_0 - gt. \quad (31)$$

$$h = v_0 t - \frac{1}{2} gt^2, \quad (32)$$

$$h = \frac{v_0^2 - v^2}{2g}. \quad (33)$$

Jism eng yuqori nuqtaga yetganda uning tezligi nolga teng bo'lgani uchun (31) formuladan

$$v_0 = gt \quad (34)$$

va bundan jismning maksimal balandlikka ko'tarilish vaqti

$$t = \frac{v_0}{g} \quad (35)$$

ekanligi kelib chiqadi.

Jismning maksimal ko'tarilish balandligini topishda (28a) formulaga t ning qiymatini (35) formuladan keltirib qo'yamiz, u holda

$$h_{\max} = v_0 \frac{v_0}{g} - \frac{g}{2} \cdot \frac{v_0^2}{g^2} = \frac{v_0^2}{2g} \quad (36)$$

bo'ladi. Jismning tushishini h_{\max} balandlikdan erkin tushishi deb qarash mumkin. Erkin tushishda

o'tgan yo'l (30a) formulaga muvofiq $h_{\max} = \frac{v^2}{2g}$

bo'ladi, shuning uchun quyidagi munosabatni yozish mumkin:

$$\frac{v_0^2}{2g} = \frac{v^2}{2g},$$

bundan

$$v_0 = v$$

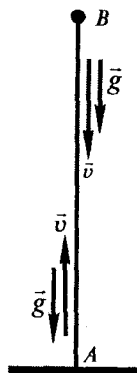
ekanligini ko'rish qiyin emas. Demak, *jismni yuqoriga tik otishda trayektoriyaning ixtiyoriy nuqtasida ko'tarilish va tushish tezliklari teng bo'ladi (29- rasmga q.), ya'ni jism qanday tezlik bilan yuqoriga tik otilgan bo'lsa, shunday tezlik bilan otilish joyiga qaytib tushadi.*

Havoda tik otilgan jism havoning qarshiligi bo'lgani sababli maksimal balandlikka ko'tarila olmaydi va uning qaytib tushgandagi oxirgi tezligi otilgan vaqtdagi boshlang'ich tezlikdan kichik bo'ladi.

Erkin tushishning oxirgi tezligini ifodalovchi (30) formuladan erkin tushish vaqtini topamiz:

$$t = \frac{v}{g}. \quad (37)$$

(35) va (37) formulalarni taqqoslab va $v_0 = v$ ekanligini nazarga olib, quyidagi xulosaga kelish mumkin: *jismning tik yuqoriga ko'tarilish vaqti erkin tushish vaqtiga teng bo'ladi.*



29- rasm.

21- §. To'g'ri chiziqli tekis o'zgaruvchan harakatda koordinataning vaqtga bog'liqlik grafigi. Trayektoriya tenglamasi

Jismlarning erkin tushishi va yuqoriga tik otilgan jismning harakati tekis o'zgaruvchan harakat ekanligini bilamiz (19 va 20-§ larga q.). Shu harakatlar uchun koordinataning vaqtga bog'liqlik grafigini ko'rib chiqaylik.

1. *Jismlarning erkin tushishida harakat qonuni va harakat grafigi.* Bu masalani hal etish maqsadida yetarlicha og'irlikdagi kichik sharchaning biror h balandlikdan erkin tushayotganini ko'z oldimizga keltiraylik. Sharchaning koordinatalarini aniqlashda harakatning fototasviridan foydalaniladi. Fotoapparat zatvorini birday vaqt oraliqlarida ochib sharcha harakatining bir lahzali fotosurati olinadi va koordinata o'qida tegishli belgilar qoldiriladi. Koordinata boshidan belgilargacha bo'lgan masofalar bevosita o'lchanadi.

Tajriba natijalari jadvalga kiritilgan.

Vaqt momentlari, t, s	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Koordinata, y, m	0,049	0,196	0,441	0,784	1,220	1,760	2,400	3,14	3,97	4,90

Jadvalda keltirilgan natijalarni tahlil qilaylik:

$$t = 0,1 \text{ s da } y(t) = 0,049 \text{ m} = 4,9 (0,1)^2 \text{ m};$$

$$t = 0,2 \text{ s da } y(t) = 0,196 \text{ m} = 4,9(0,2)^2 \text{ m};$$

$$t = 0,3 \text{ s da } y(t) = 0,441 \text{ m} = 4,9(0,3)^2 \text{ m};$$

$$t = 1 \text{ s da } y(t) = 4,90 \text{ m} = 4,9 \cdot (1)^2 \text{ m}.$$

Demak, jismning erkin tushishida harakat qonuni

$$y(t) = 4,9 t^2 \tag{38}$$

funksiya ko'rinishida ifodalanar ekan. Bu parabolaning ($y = ax^2$) tenglamasidir.

Erkin tushishda yo‘l y, m
 formulasi (19- § ga q.)

$$h = \frac{gt^2}{2}$$

ga $g = 9,8 \frac{m}{s^2}$ qiymatni
 keltirib qo‘ysak,

$$h(t) = 4,9 t^2 \quad (38a)$$

bo‘ladi. (38) va (38a) ni
 taqqoslab, $y(t) = h(t)$ ekan-
 ligini ko‘ramiz. Demak,
 erkin tushishda jismning

o‘tgan yo‘li uning koordinatasi bilan aniqlanadi, chunki koordinata
 bilan trayektoriya ustma-ust tushadi.

Endi yuqoridagi jadvaldan foydalanib, erkin tushishda (to‘g‘ri
 chizikli tekis tezlanuvchan harakatda) harakat grafigini yasaylik
 (30- rasm). Grafikdan, tekis tezlanuvchan harakatning harakat
 grafigi paraboladan iborat ekanligi ko‘rinib turibdi.

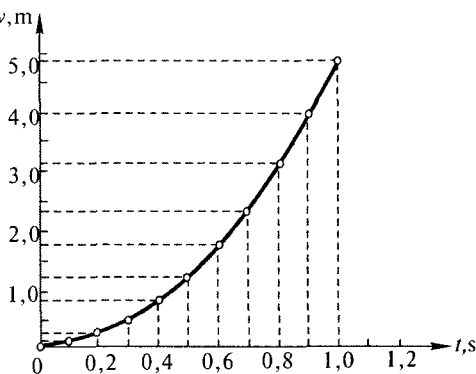
2. Yuqoriga tik otilgan jismning harakat qonuni va grafigi.

Agar yuqorida tavsiflangan usul yordamida yuqoriga tik otilgan
 jismning harakat xarakterini o‘rgansak, u holda quyidagi jadvalda
 keltirilgan natijalarga ega bo‘lamiz:

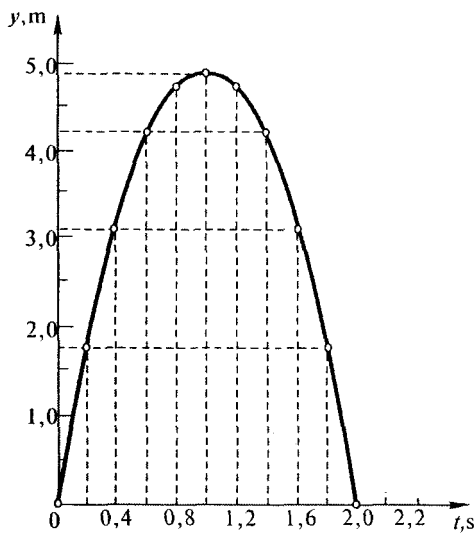
Vaqt mo- mentlari, t, s	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Koordinata, y, m	0	1,74	3,14	4,12	4,70	4,90	4,70	4,12	3,14	1,74	0

Yuqoriga tik otilgan jism v_0 boshlang‘ich tezlik bilan tekis
 sekinlanuvchan harakat qiladi (20- § ga q.). Bu harakatda ham jism
 koordinatasi bilan trayektoriyasi ustma-ust tushadi. Binobarin,
 jismning h ko‘tarilish balandligi y koordinatasi bilan o‘lchanadi.
 Shuning uchun yuqoriga tik otilgan jismning harakat qonunini

$$h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$$



30- rasm.



31- rasm.

$v_0 = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ekanligi kelib chiqadi.

Shunday qilib, yuqoriga tik otilgan jismning harakat qonuni

$$y(t) = 9,8 \cdot t - \frac{gt^2}{2} \quad (39a)$$

funksiya ko‘rinishida ifodalanadi. Bu ham parabolaning tenglamasidir.

31- rasmda (39a) harakat qonuni (ya’ni tekis o‘zgaruvchan harakatda koordinataning vaqtga bog‘liqligi) grafigi tasvirlangan: harakat grafigi paraboladan iboratdir.

Trayektoriya bilan harakat grafigi orasida prinsipial farq borligiga e’tibor berish lozim. Trayektoriya jismning sanoq sistemasida harakatlanish egri chizig‘i bo‘lsa, grafik koordinata-vaqt tekisligidagi chizmada aks ettirilgan nuqtalarni birlashtiruvchi egri chiziqdan iborat.

Erkin tushayotgan jism bilan yuqoriga tik otilgan jism bir xil shakldagi trayektoriya — to‘g‘ri chiziq bo‘yicha harakatlangan bo‘lsa ham, ularning harakat xarakteri bir xil emasligi tufayli harakat grafiklari, binobarin, harakat qonunlari turlicha.

yo‘l formulasiga o‘xshash bo‘lgan

$$y(t) = v_0 t - \frac{gt^2}{2} \quad (39)$$

funksiya ko‘rinishida ifodalash mumkin. Bu funksiyadagi jismning yuqoriga otilish (boshlang‘ich) tezligining qiymatini aniqlash uchun tajriba natijalaridan foydalanamiz. t vaqtning istalgan qiymatini va unga mos kelgan y koordinataning qiymatini (39) formulaga keltirib qo‘yib, tenglamani v_0 ga nisbatan yechilsa,

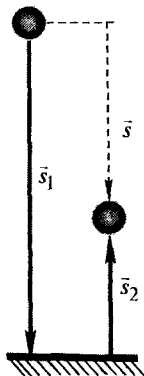


Takrorlash uchun savollar

1. Nyuton mexanikasida nisbiylik prinsipi nimani bildiradi?
2. Sanoq sistemasi deb nimaga aytiladi? Inersial va noinersial sanoq sistemalarini ta'riflang.
3. Moddiy nuqta nima?
4. Trayektoriya, ko'chish va yo'l deb nimaga aytiladi?
5. Qanday harakat mexanik harakat deyiladi?
Mexanik harakatlar trayektoriyaning shakliga qarab qanday turlarga bo'linadi?
6. Tezlik deb nimaga aytiladi? O'rtacha va oniy tezlik deb qanday tezlikka aytiladi?
7. To'g'ri chiziqli tekis harakat deb qanday harakatga aytiladi? Harakat tenglamasini yozing va grafigini chizing.
8. Harakat qonuni va harakat grafigi nima?
9. Nima uchun to'g'ri chiziqli tekis harakatda harakat grafigi yo'l grafigi bilan ustma-ust tushadi?
10. Tekis o'zgaruvchan harakat deb qanday harakatga aytiladi? Uning qanday turlarini bilasiz? Tezlanish deb nimaga aytiladi?
11. Boshlang'ich tezligi noldan farqli bo'lgan tekis o'zgaruvchan harakat tenglamalarini yozing. Bunday harakat uchun tezlik grafigini chizing.
12. Boshlang'ich tezligi nolga teng bo'lgan tekis o'zgaruvchan harakat tenglamalarini yozing. Tezlik grafigini chizing.
13. Tekis tezlanuvchan harakatning tezlik grafigidan yo'l formulasini keltirib chiqaring.
14. Jismlarning erkin tushishi deganda nimani tushunasiz?
15. Erkin tushish tezlanishining qiymati geografik kenglikka bog'liqmi?
16. Jismning erkin tushishida o'tilgan yo'l va tezlik vaqtga qanday bog'lanishda bo'ladi?
17. Nima uchun yuqoriga tik otilgan jism sekinlanuvchan harakat qiladi?
18. Boshlang'ich v_0 tezlik bilan yuqoriga tik otilgan jismning maksimal ko'tarilish balandligining ifodasini yozing.
19. Yuqoriga tik otilgan jismning Yerga tushish paytidagi oxirgi tezligining otilishidagi boshlang'ich tezligiga, ko'tarilish vaqtining tushish vaqtiga teng ekanligini isbotlang.
20. To'g'ri chiziqli tekis ozgaruvchan harakatda koordinataning vaqtga bog'liqlik ifodasini yozing va grafigini chizing.



Masala yechish namunalari



32- rasm.

1- masala. Koptok 3 m balanddan tushadi va poldan qaytib ko'tarilayotganda 1 m balandda tutib olinadi. Koptokning yo'li va ko'chishining modulini toping.

Berilgan: $s_1 = 3$ m; $s_2 = 1$ m.

Topish kerak: $s - ?$ $|\bar{s}| - ?$

Yechilishi. Masalaning shartiga asosan koptok harakatining trayektoriyasini chizamiz (32- rasm). Rasmdan ko'rinishicha,

$s_1 = |\bar{s}_1|$ va $|\bar{s}_2| = s_2$ bo'ladi. Koptokning o'tgan umumiy yo'li uning yuqoridan tushishdagi va balandga ko'tarilishdagi bosib o'tgan yo'llarining yig'indisiga teng bo'ladi, ya'ni $s = s_1 + s_2$. Koptokning ko'chishi esa \bar{s}_1 va \bar{s}_2

vektorlarning geometrik yig'indisiga teng bo'ladi:

$\bar{s} = \bar{s}_1 + \bar{s}_2$. \bar{s}_1 vektor \bar{s}_2 vektorga parallel va qarama-qarshi yo'nalgan

bo'lgani uchun ko'chishning $|\bar{s}|$ moduli quyidagiga teng bo'ladi:

$$|\bar{s}| = |\bar{s}_1| - |\bar{s}_2|.$$

Hisoblash: $s = 3\text{m} + 1\text{m} = 4\text{m}$, $|\bar{s}| = 3\text{m} - 1\text{m} = 2\text{m}$.

2- masala. Moddiy nuqtaning berilgan sanoq sistemasidagi harakati $y = 1 + 2t$, $x = 2 + t$ tenglamalar bilan tavsiflanadi. Trayektoriya tenglamasini toping. Trayektoriyani XOY tekislikda chizing. Nuqtaning $t = 0$ dagi vaziyatini, harakatning yo'nalishini aniqlang.

Berilgan: $y = 1 + 2t$, $x = 2 + t$, $t = 0$.

Topish kerak: $y = f(x)$? $x_0 - ?$ $y_0 - ?$ $\alpha - ?$

Yechilishi. Moddiy nuqtaning harakat trayektoriyasi tenglamasi $y = f(x)$ funksiyadan iborat bo'lib, uning ko'rinishini topish uchun masalaning shartida berilgan

$$y = 1 + 2t, \quad (a)$$

$$x = 2 + t \quad (b)$$

tenglamalardan vaqt t ni yo'qotib, y bilan x orasidagi bog'lanishni aniqlaymiz. Buning uchun (b) tenglamadan t ning $t = x - 2$ qiymatini (a) tenglamaga keltirib qo'yamiz va hosil bo'lgan ifodani soddalashtiramiz:

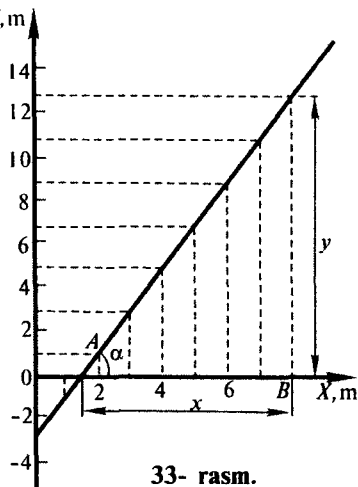
$$y = 1 + 2(x - 2) = 1 + 2x - 4 = 2x - 3.$$

Demak, moddiy nuqtaning harakat tenglamasi

$$y = 2x - 3 \quad (d) \quad Y, m$$

ko'rinishda ekan.

XOY tekislikda trayektoriyani chizish maqsadida x ga 0 dan boshlab butun sonli qiymatlarni berib, (d) tenglama asosida y ning mos qiymatlarini hisoblab topamiz va bu qiymatlar asosida jadval tuzamiz. So'ngra absissa o'qiga x ning, ordinata o'qiga y ning qiymatlarini qo'yib, hosil qilingan nuqtalardan tutash chiziq o'tkazamiz (33- rasm). Rasmdan ko'rinadiki, moddiy nuqtaning harakat trayektoriyasi koordinata boshidan o'tmaydigan to'g'ri chiziqdan iborat ekan.



33- rasm.

Rasmdan $\operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{x} = \frac{13}{8} = 1,625$ va $\alpha = 58^{\circ}21'$ ekanini topamiz. Demak, moddiy nuqtaning harakat yo'nalishi absissa o'qi bilan $58^{\circ}21'$ burchak hosil qilar ekan.

x	$y = 2x - 3$
0	-3
1	-1
2	1
3	3
4	5
5	7
6	9
7	11
8	13

Moddiy nuqtaning $t = 0$ dagi vaziyati $y_0 = 1 + 2t = 1$ va $x_0 = 2 + t = 2$ koordinatalar bilan aniqlanadi, bu koordinatalar grafikda A nuqtaning vaziyatiga mos keladi.

3- masala. Metro eskalatori harakatlanmay turgan yo'lovchini 1 minut davomida ko'taradi. Harakatlanmayotgan eskalatordan yo'lovchi 3 minutda ko'tariladi. Yo'lovchi harakatlanayotgan eskalatorda yurib, qancha vaqtda ko'tariladi?

Berilgan: $t_1 = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$; $t_2 = 3 \text{ min} = 180 \text{ s}$.

Topish kerak: $t - ?$

Yechilishi. Eskalatorning uzunligini l orqali belgilab olamiz. U holda

$$t = \frac{l}{v}$$

bo'ldi, bu yerda v yo'lovchining Yerga nisbatan harakatlanayotgan eskalatoridan yurib ko'tarilish tezligi bo'lib, bu tezlik eskalatorning harakat tezligi v_1 bilan yo'lovchining tinch turgan eskalatoridan yurib ko'tarilish tezligi v_2 ning yig'indisiga teng bo'ldi: $v = v_1 + v_2$, chunki ikkala harakat ham bir tomonga yo'nalgan. U vaqtda tezliklarni

$$v_1 = \frac{l}{t_1} \quad \text{va} \quad v_2 = \frac{l}{t_2}$$

ekanligini e'tiborga olsak, v uchun

$$v = \frac{l}{t_1} + \frac{l}{t_2} = l \frac{t_1 + t_2}{t_1 \cdot t_2}$$

ifodani hosil qilamiz. Demak,

$$t = \frac{l}{l \frac{t_1 + t_2}{t_1 \cdot t_2}} = \frac{t_1 \cdot t_2}{t_1 + t_2}$$

bo'ldi.

Hisoblash:

$$t = \frac{180 \text{ s} \cdot 60 \text{ s}}{180 \text{ s} + 60 \text{ s}} = 45 \text{ s}.$$

4- masala. A va B shaharlardan ikkita avtobus bir vaqtda bir-biriga tomon yo'lga chiqdi. Shaharlar orasidagi masofa 200 km ga teng. A shahardan chiqqan avtobus B shahardan chiqqan ikkinchi avtobus bilan uchrashungacha 120 km yo'l bosib o'tdi. Agar keyingi avtobusning tezligi $50 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ bo'lsa, birinchi avtobusning tezligi qancha bo'lgan? Avtobuslar qancha vaqtdan so'ng bir-biri bilan uchrashgan?

Berilgan: $s = 200 \text{ km} = 2 \cdot 10^5 \text{ m}$, $s_1 = 120 \text{ km} = 12 \cdot 10^4 \text{ m}$,

$$v_2 = 50 \frac{\text{km}}{\text{soat}} \approx 14 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Topish kerak: $v_1 - ?$, $t - ?$

Yechilishi. Ikkala avtobus bir vaqtda yo'lga chiqqani uchun ular uchrashuvga qadar bir xil vaqt o'tgan. Birinchi avtobusning tezligini v_1 bilan, ikkinchi avtobusning bosib o'tgan yo'lini $s_2 = s - s_1$ bilan belgilasak, masalaning shartiga ko'ra

$$t = \frac{s_1}{v_1} \quad \text{va} \quad t = \frac{s_2}{v_2} = \frac{s - s_1}{v_2}$$

ifodalarni yozish mumkin, bunda t — avtobuslarning bir-biri bilan uchrashguncha ketgan vaqt. Ikkala ifodani birgalikda yechib, v_1 ni topamiz.

$$v_1 = v_2 \cdot \frac{s_1}{s - s_1}.$$

Hisoblash:

$$v_1 = 14 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{1,2 \cdot 10^5 \text{ m}}{(2 - 1,2) \cdot 10^5 \text{ m}} = 21 \frac{\text{m}}{\text{s}};$$

$$t = \frac{1,2 \cdot 10^5 \text{ m}}{21 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 5714 \text{ s} \cong 1,6 \text{ soat}.$$

5- masala. Poyezd ikki stansiya orasidagi masofani $72 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ o'rtacha tezlik bilan 20 minutda o'tdi. Tezlashib olish va tormozlanish birgalikda 4 minut davom etdi, boshqa vaqtda esa poyezd tekis harakat qilgan. Tekis harakat qilayotgan poyezdning tezligi qancha bo'lgan?

Berilgan: $v_{\text{or}} = 72 \frac{\text{km}}{\text{soat}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}; t = 20 \text{ min} = 1200 \text{ s}; t_1 = 4 \text{ min} = 240 \text{ s}.$

Topish kerak: $v - ?$

Yechilishi. Ikki stansiya orasidagi s masofani uchta s_1, s_2 va s_3 masofalarga ajratamiz, u holda $s = s_1 + s_2 + s_3$ deb yozish mumkin, bu yerda s_1 — poyezdning tezlanuvchan, s_2 — tekis, s_3 — sekinlanuvchan harakatlanganda bosib o'tgan yo'llari, s_1 va s_3 masofalar bir-biriga teng va poyezd bu masofalarning har birini o'tishda birday $\frac{1}{2} t_1$ vaqt sarf qilgan. s_1 masofa boshlang'ich tezligi nolga va oxirgi tezligi v ga teng bo'lgan tekis tezlanuvchan harakatning yo'l formulasiga asosan aniqlanadi:

$$s_1 = \frac{a}{2} \left(\frac{t_1}{2} \right)^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{2v}{t_1} \cdot \frac{t_1^2}{4} = \frac{vt_1}{4}.$$

Demak,

$$s_1 + s_3 = 2s_1 = 2 \cdot \frac{vt_1}{4} = \frac{vt_1}{2}. \quad (a)$$

s_2 masofani poyezd v tezlik bilan tekis harakatlanib ($t - t_1$) vaqtda o'tadi, binobarin,

$$s_2 = v(t - t_1). \quad (b)$$

Nihoyat, ikki stansiya orasidagi masofa

$$s = v_{or} \cdot t \quad (d)$$

ifodadan aniqlanadi. Shunday qilib, (a), (b) va (d) munosabatlardan foydalanib,

$$v_{or} \cdot t = \frac{vt_1}{2} + v(t - t_1) = v\left(\frac{t_1}{2} + t - t_1\right) = v\frac{2t - t_1}{2}$$

tenglamani hosil qilamiz. Bundan

$$v = \frac{2t}{2t - t_1} v_{or}$$

Hisoblash:

$$v = \frac{2 \cdot 20 \frac{m}{s} \cdot 1200 s}{2 \cdot 1200 s - 240 s} = 22,2 \frac{m}{s}$$

6-masala. Balandligi h bo'lgan minoradan ikkita sharcha: biri v_1 tezlik bilan vertikal ravishda yuqoriga, ikkinchisi esa v_2 tezlik bilan vertikal ravishda pastga tashlanadi. Ularning Yerga tushish paytidagi vaqt oralig'i qanchaga teng?

Berilgan: h, v_1, v_2

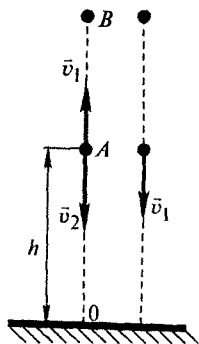
Topish kerak: $\Delta t - ?$

Yechilishi. Birinchi sharchaning harakat vaqtini t_1 bilan, ikkinchi sharchanikini esa t_2 bilan belgilab olamiz, u vaqtda

$$\Delta t = t_1 - t_2$$

bo'ladi. Koordinata boshini A nuqta bilan bog'laymiz (34- rasm).

Birinchi sharcha AB balandlikkacha ko'tariladi, so'ngra BA va AO masofalarni birin-ketin bosib o'tib pastga tushadi. Sharchaning B nuqtadagi tezligi 0 ga teng ($v_B = 0$), tushayotganda A nuqtadagi tezligi esa boshlang'ich v_1 tezligiga teng bo'ladi. Birinchi sharcha uchun harakat qonunlarini (31) va (32) formulalarga ko'ra yozamiz:



34- rasm.

$$v_B = v_1 - g\tau_1, \quad v_1 = v_B + g\tau_2, \quad h = v_1\tau_3 + \frac{g}{2}\tau_3^2,$$

bu yerda τ_1 — birinchi sharchaning AB masofani, τ_2 — BA masofani va τ_3 — AO masofani o'tishi uchun ketgan vaqtlari.

Bu ifodalardan

$$\tau_1 = \frac{v_1}{g}, \quad \tau_2 = \frac{v_1}{g} \quad \text{va} \quad \tau_3 = \frac{-v_1 \pm \sqrt{v_1^2 + 2gh}}{g}.$$

Ma'lumki, vaqt musbat qiymatlarnigina oladi, shu sababli

$$\tau_3 = -\frac{v_1}{g} + \sqrt{\frac{v_1^2}{g^2} + \frac{2h}{g}}$$

bo'ladi. Binobarin, birinchi sharchaning harakatlanish vaqti quyidagiga teng bo'ladi:

$$t_1 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = \frac{v_1}{g} + \frac{v_1}{g} - \frac{v_1}{g} + \sqrt{\frac{v_1^2}{g^2} + \frac{2h}{g}} = \frac{v_1}{g} + \sqrt{\frac{v_1^2}{g^2} + \frac{2h}{g}}.$$

Ikkinchi sharcha h balandlikdan v_2 boshlang'ich tezlik bilan tushadi, binobarin, ikkinchi sharchaning harakat tenglamasi

$$h = v_2 t_2 + \frac{g}{2} t_2^2$$

ko'rinishga ega bo'ladi. Bu ifodadan t_2 ni topamiz:

$$t_2 = -\frac{v_2}{g} + \sqrt{\frac{v_2^2}{g^2} + \frac{2h}{g}}.$$

Shunday qilib, sharchalarning Yerga tushish paytidagi Δt vaqt oralig'i

$$\begin{aligned} \Delta t &= \frac{v_1}{g} + \sqrt{\frac{v_1^2}{g^2} + \frac{2h}{g}} - \left(-\frac{v_2}{g} + \sqrt{\frac{v_2^2}{g^2} + \frac{2h}{g}} \right) = \\ &= \frac{v_1}{g} + \frac{v_2}{g} + \sqrt{\frac{v_1^2}{g^2} + \frac{2h}{g}} - \sqrt{\frac{v_2^2}{g^2} + \frac{2h}{g}} \end{aligned}$$

ifodadan aniqlanadi.



Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Jism koordinatalari $x_1 = 1\text{ m}$, $y_1 = 5\text{ m}$ bo'lgan nuqtadan koordinatalari $x_2 = 5\text{ m}$, $y_2 = -2\text{ m}$ bo'lgan nuqtaga siljidi. Chizma chizib, nuqtaning ko'chish vektorini va uning koordinata o'qlaridagi proyeksiyalarini toping.

2. Ikki moddiy nuqta tekislikda $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ va $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezliklar bilan harakatlanadi. Tezlik vektorlari orasidagi burchak 45° . Bir moddiy nuqtaning ikkinchi moddiy nuqtaga nisbatan tezligini toping. Vaqt o'tishi bilan nuqtalar orasidagi masofa qanday o'zgaradi?

3. Boshlang'ich tezligi $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ bo'lgan jism $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ tezlanish bilan harakatlanmoqda. Jismning $0,2$ minutda bosib o'tgan yo'lini va oxirgi tezligini toping.

4. Jism 4 s vaqt ichida 56 m masofani bosib o'tdi, uning tezligi harakat davomida $1,5$ marta kamaydi. Harakatni tekis sekinlanuvchi deb hisoblab, tezlanishning kattaligini toping.

5. Poyezd stansiyadan $0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ tezlanish bilan harakatlana boshladi va tezligi $36 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ ga yetganda 2 minut davomida tekis harakatlandi, so'ng tormozlanib, to'xtaguncha 100 m yo'lni o'tdi. Poyezdning o'rtacha tezligini toping.

6. Avtobus A qishloqdan B qishloqqa tomon $36 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ tezlik bilan yo'lga chiqib, har 30 minut yurgandan keyin 5 minutdan to'xtab turdi. Ikki soatdan keyin shu yo'nalishda A qishloqdan $72 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ tezlik bilan avtomobil yo'lga chiqdi va to'xtovsiz harakatlandi. Avtobus va avtomobillarning harakat grafiklarini chizing. Shu grafiklardan avtomobil qachon avtobusga yetib olishini aniqlang.

7. Mototsiklchi $0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ o'zgarmas tezlanish bilan harakatlanmoqda. U birinchi, yettinchi va yigirma uchinchi sekundda qancha yo'l o'tadi?

8. Chang'ichi $0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ tezlanish bilan harakatlanib, uzunligi 100 m bo'lgan qiyalikni 20 s ichida o'tdi. Chang'ichining qiyalik boshi va oxiridagi tezliklari qanday?

9. Bola chanada uzunligi 40 m bo'lgan tepalikdan 10 s da tushdi va to'xtaguncha gorizonta uchastkada yana 20 m masofa o'tdi. Tepalik oxiridagi tezlikni, har qaysi uchastkadagi tezlanishni, harakatning umumiy vaqtini va butun yo'l davomida o'rtacha tezlikni toping.

10. Balandligi 0,535 km bo'lgan Ostankino va balandligi 0,375 km bo'lgan Toshkent televizion minoralarining yuqori nuqtasidan tashlangan jism qancha vaqt erkin tushadi? Jismning yo'l oxiridagi tezligini toping. Havoning qarshiligini hisobga olmang.

11. Jism 2 km balandlikdan erkin tushmoqda. U oxirgi 100 m ni qancha vaqtda o'tadi?

12. Agar jism 3 s da erkin tushadigan balandlikdan $9,8 \frac{m}{s}$ tezlik bilan pastga tik tashlansa, u Yerga qancha vaqtda tushadi?

13. Ikkita jism turli balandliklardan Yerga bir vaqtda erkin tushdi. Birinchi jismning harakat vaqti 2 s, ikkinchisniki esa 1 s ga teng. Ikkinchi jism tusha boshlaganda birinchi jism qanday balandlikda bo'lgan?

14. Yerdan yuqoriga tik otilgan jism 8 s da qaytib tushdi. Jism qanday balandlikka ko'tarilgan? Uning boshlang'ich tezligi qanday bo'lgan?

22- §. Egri chiziqli harakat. Aylana bo'ylab tekis harakat. Chiziqli va burchak tezliklar

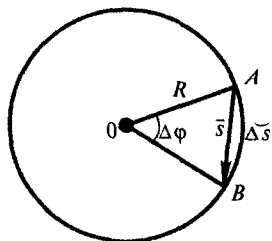
Yuqorida (11- § da) qayd qilib o'tganimizdek, trayektoriyasi egri chiziqdan iborat bo'lgan harakat egri chiziqli harakat deb ataladi. Tabiatda va texnikada egri chiziqli harakatlar ko'p uchraydi. Masalan, sayyora va sun'iy yo'ldoshlar, samolyot parragi, paroxod vinti, transport vositalari, mashinalarning qismlari, issiq va sovuq havo oqimlari va hokazolar egri chiziqli harakat qiladi.

Egri chiziqli turli tuman harakatlar orasida eng oddiysi jism (moddiy nuqta)ning aylana bo'ylab harakatidir.

Agar jism aylana bo'yicha teng vaqtlar ichida teng yoylarni bosib o'tsa, bunday harakat aylana bo'ylab tekis harakat deyiladi.

Jismning aylana bo'ylab harakat tezligi *chiziqli tezlik* deyiladi. Aylana bo'ylab tekis harakatning chiziqli tezligi jismning vaqt birligida o'tgan yoyining uzunligi bilan o'lchanadi, ya'ni

$$v = \frac{\Delta \tilde{s}}{\Delta t}, \quad (40)$$



35- rasm.

bu yerda $\Delta\vec{s}$ — jismning Δt vaqt davomida bosib o'tgan yoyining uzunligi. Egri chiziqli harakatda jismning chiziqli tezligi hamma vaqt harakat trayektoriyasiga urinma bo'ylab yo'nalganligini eslatib o'tamiz (19- rasm q.).

Jism aylana bo'ylab tekis harakat qilganda chiziqli tezlik vektori miqdor jihatdan o'zgarimasdan, butun harakat davomida o'z yo'nalishini o'zgartirib turadi. Shuning uchun aylana bo'ylab harakatlanayotgan jismning harakati chiziqli tezlikdan tashqari *burchak tezlik* deb ataladigan kattalik bilan ham tavsiflanadi.

Burchak tezlik haqida tushuncha hosil qilish uchun biror jismning aylana bo'ylab tekis harakatini ko'rib chiqaylik (35-rasm). Aylananing O markazidan jismning biror A nuqtasiga R radius o'tkazaylik va jism bilan birga unga o'tkazilgan radiusning harakatini ham kuzataylik. Jism aylana bo'ylab harakatlanganda radius ham buriladi. Masalan, jism biror Δt vaqt davomida A nuqtadan B nuqtaga ko'chgan bo'lsa, shu vaqt ichida radius $\Delta\phi$ burchakka buriladi. Bu burchak jismning *burilish burchagi* (*burchak yo'li*) deyiladi.

Jismning aylana bo'ylab biror Δt vaqt davomidagi harakati haqida quyidagilarni aytish mumkin: a) jism aylananing AB yoyi bo'ylab Δs yo'lni bosib o'tdi; b) jism moduli AB vatarining uzunligiga teng bo'lgan \vec{s} vektorga ko'chdi va, nihoyat, d) jism trayektoriyasiga o'tkazilgan urinma $\Delta\phi$ burchakka burildi.

Jismning vaqt birligi ichida burilish burchagi aylana bo'ylab tekis harakatning burchak tezligi deyiladi, ya'ni

$$\omega = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}. \quad (40a)$$

Mexanikada burchaklarni graduslarda emas, balki radianlarda o'lchash qabul qilingan.

Qarshisidagi yoyning uzunligi radiusga teng bo'lgan markaziy burchak bir radianga teng bo'ladi. Δs yoyga mos keluvchi markaziy

burchakni radianlarda ifodalash uchun shu yoyning uzunligini radiusga bo'lish kerak, ya'ni

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta s}{R}. \quad (40b)$$

$\Delta\varphi$ — o'lchamsiz kattalik, lekin uning son qiymati yoniga *rad* (radian) deb yozib qo'yiladi.

Jism aylana bo'ylab bir marta to'liq aylanib chiqqanda bosib o'tgan yoyining uzunligi $2\pi R$ ga teng bo'ladi. Demak, markaziy burchak

$$\varphi = \frac{2\pi R}{R} = 2\pi \text{ rad}$$

bo'ladi. Gradus o'lchovida bu burchak 360° ga teng. Shuning uchun

$$1 \text{ rad} = \frac{360^\circ}{2\pi} = \frac{360^\circ}{6,28} = 57^\circ 18'.$$

SI da burchak tezlikning birligi qilib, bir sekundda bir radian burchakka buriladigan jismning tekis aylanma harakatidagi burchak tezligi qabul qilingan.

(40a) formulaga ko'ra, burchak tezlikning birligi:

$$[\omega] = \frac{[\Delta\varphi]}{[\Delta t]} = \frac{1 \text{ rad}}{1 \text{ s}} = 1 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 1 \frac{1}{\text{s}}.$$

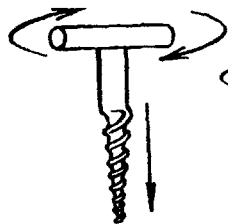
23- §. Chiziqli tezlik bilan burchak tezlik orasidagi bog'lanish. Aylanish davri va aylanish chastotasi

Aylana bo'ylab tekis harakat qilayotgan jismning o'tgan yo'lini (40b) formula asosida hisoblab topish mumkin:

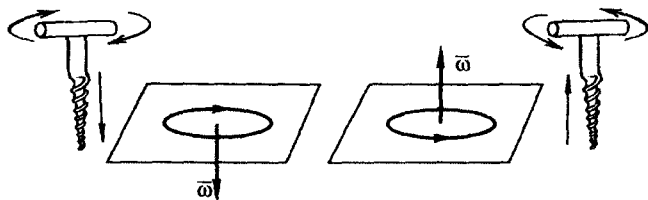
$$\Delta s = \Delta\varphi \cdot R.$$

Bu tenglikning ikkala tomonini Δt ga bo'lib, (40) va (40a) formulalarni nazarga olsak, chiziqli tezlikni burchak tezlik bilan bog'lovchi munosabatni topamiz:

$$v = \omega R. \quad (41)$$



36- rasm.



37- rasm.

Bu munosabatdan ko‘rinadiki, *aylana bo‘ylab harakat qilayotgan jismning chiziqli tezligi burchak tezlik bilan aylana radiusining ko‘paytmasiga teng ekan.*

Umuman olganda, quyidagi uch narsa: 1) burchak tezlik ω (yoki chiziqli tezlik v), 2) jism aylanayotgan tekislik va 3) aylanish yo‘nalishi ma‘lum bo‘lsa, ma‘lum R radiusli aylana bo‘yicha harakat to‘la tavsiflangan bo‘ladi. Bu uchala kattalik birgina vektor orqali berilishi mumkin. Bu vektor *burchak tezlik vektoridir*. Burchak tezlik vektorining yo‘nalishi parma qoidasiga asosan aniqlanadi: agar aylanish yo‘nalishini parma dastasining aylanishi bilan moslashtirsak, parmaning ilgarilama harakati yo‘nalishi burchak tezlik vektorining yo‘nalishini ko‘rsatadi (36-rasm).

Shunday qilib, burchak tezlik vektorining xarakteristikalari: a) uning son qiymati burchak tezlikning son qiymati ω ga teng; b) u aylanma harakat bo‘layotgan tekislikka tik qilib o‘tkazilgan; d) bu vektorning uchidan qaralganda aylanishning yo‘nalishi soat strelkasi yo‘nalishiga teskari bo‘lib ko‘rinadi (37- rasm).

Yo‘nalishi aylanish yo‘nalishi bilan bog‘lanadigan vektorlar aksial vektorlar deb ataladi. Demak, burchak tezlik vektori aksial vektorlarga kiradi, uni $\vec{\omega}$ ko‘rinishida ifodalanadi. (Yo‘nalishi kattaliklarning tabiatidan o‘z-o‘zidan kelib chiqadigan vektorlar *qutb vektorlar* deyiladi. Masalan, tezlik \vec{v} , tezlanish \vec{a} , kuch \vec{F} kabilar qutb vektorlar toifasiga kiradi.)

Burchak tezlikni vektor sifatida tasvirlash \vec{v} chiziqli tezlik vektorini $\vec{\omega}$ burchak tezlik vektori bilan hamda A moddiy nuqtaning aylanish o‘qiga nisbatan o‘rnini aniqlovchi \vec{r} radiusvektor bilan qulay bog‘lashga imkon beradi:

$$\vec{v} = \vec{\omega} \cdot \vec{r},$$

ya'ni \vec{v} vektor $\vec{\omega}$ bilan \vec{r} ning vektor ko'paytmasidan iborat (38-rasm). Chiziqli tezlikning skalyar qiymati

$$v = \omega r \cdot \sin 90^\circ = \omega r$$

ga teng ((41) formula bilan taqqoslang).

Jismning aylana bo'ylab harakati yana ikkita fizik kattalik: *aylanish davri* (T) va *aylanish chastotasi* ν bilan xarakterlanadi.

Jismning bir marta to'liq aylanib chiqishi uchun ketgan vaqt bilan o'lanadigan kattalik aylana bo'ylab harakatning aylanish davri deyiladi.

Jismning vaqt birligi ichida to'liq aylanishlari soni bilan o'lanadigan kattalik aylana bo'ylab harakatning aylanish chastotasi deyiladi.

Yuqoridagi ta'riflardan ko'rinadiki, davr bilan chastota o'zaro teskari bog'langan kattaliklardir. Shuning uchun

$$\nu = \frac{1}{T} \quad (42)$$

deb yoza olamiz.

Jism bilan bog'langan aylana radiusi bir davr ichida 2π radian burchakka burilgani uchun (40a) va (42) formulalarga binoan burchak tezlik

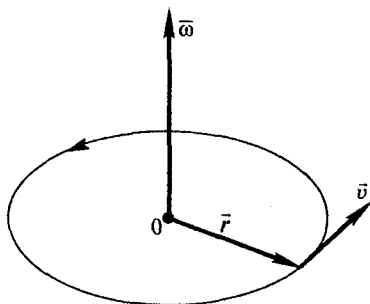
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu, \quad (43)$$

(41) va (43) formulalarga ko'ra chiziqli tezlik

$$v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi\nu R = \omega R \quad (44)$$

ekani kelib chiqadi.

Aylanma harakat bilan bog'liq bo'lgan ko'pgina masalalarda jismning t vaqt davomida n marta aylangan hollari uchrab turadi. Bunday hollarda aylanish chastotasi



38- rasm.

$$v = \frac{n}{t} \quad (45)$$

munosabatdan topiladi, bunda n — o'lcamsiz kattalik, ammo uning son qiymati yoniga *ayl* (aylanish) deb yozib qo'yiladi.

SI da *bir sekundda bir marta to'la aylanadigan jismning aylanish chastotasi chastota birligi qilib qabul qilingan. Bu birlik Gers* deb ataladi.

(42) formulaga binoan

$$[v] = \frac{1}{[T]} = \frac{1}{s} = s^{-1}.$$

Amalda chastotaning $\frac{\text{ayl}}{s}$, $\frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ kabi birliklaridan ham foydalaniladi.

24- §. Jismning aylana bo'ylab tekis harakatidagi tezlanishi. (Markazga intilma tezlanish)

Yuqorida aytib o'tilganidek, jismning aylana bo'ylab tekis harakatida tezlikning faqat miqdori o'zgarib qoladi, ammo tezlikning yo'nalishi hamma vaqt o'zgarib turadi. Ma'lumki, tezlik vektori vaqt davomida o'zgarib tursa, u holda tezlanish paydo bo'ladi. Demak, aylana bo'ylab tekis harakatda hamma vaqt tezlanish mavjud bo'ladi. Shu tezlanishning kattaligini aniqlaylik.

Faraz qilaylik, jism kichik Δt vaqt davomida aylana bo'ylab tekis harakatlanib, A va B nuqtalarda mos ravishda \vec{v}_1 va \vec{v}_2 tezliklarga erishib, Δs yoyni bosib o'tsin hamda jism bilan bog'liq bo'lgan radius $\Delta\varphi$ burchakka burilgan bo'lsin (39- rasm). Vektorlarni ayirish qoidasidan foydalanib, tezlikning o'zgarish vektori $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ ni yasaylik. Buning uchun \vec{v}_2 vektorning oxirini moduli \vec{v}_1 vektor moduliga teng, ammo qarama-qarshi yo'nalgan — \vec{v}_1 vektorning uchi deb olib, \vec{v}_2 vektorning boshini shu — \vec{v}_1 vektorning oxiri bilan tutashtiramiz. Hosil bo'lgan \vec{BD} vektor \vec{v}_1 va \vec{v}_2 tezlik vektorlarining $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ geometrik ayirmasiga teng bo'ladi. Bu yerda $\Delta\vec{v}$ vektorning yo'nalishi tezlanish vektorining yo'nalishi bo'ladi. Shakldan ko'rinadiki, tomonlari o'zaro perpendikular ($OA \perp DC$, $OB \perp BC$) $\angle AOB = \angle BCD$ va tezlik kattalik

jiyatidan o'zgarimas ($|\vec{v}_2| = |\vec{v}_1| = v$) bo'lgani uchun AOB va BCD uchburchaklar o'xshashdir. Binobarin,

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta s}{R}, \text{ bundan } \Delta v = \frac{\Delta s}{R} \cdot v = \frac{v}{R} \cdot \Delta s.$$

U holda (10) ga ko'ra

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v}{R} \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (46)$$

bo'ladi.

Vaqtning oniy qiymati uchun bu formulani quyidagicha o'zgartirib yoza olamiz:

$$\Delta t \rightarrow 0 \text{ da } a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v}{R} \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{v}{R} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t},$$

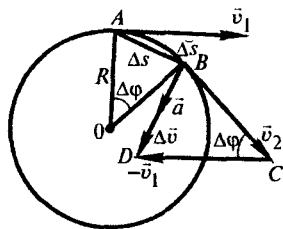
$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = v.$$

Binobarin,

$$a = \frac{v^2}{R}. \quad (47)$$

39-rasmdan tezlanish aylana ichiga yo'nalganligi ko'rinib turibdi. Jismning harakat vaqti kamaytirilib borilsa, u holda B nuqta A nuqtaga yaqinlashib borib, $\Delta\varphi$ burchak nolga intiladi, natijada BDC uchburchakning CBD va BCD burchaklari 90° ga yaqinlasha boradi. Bu esa, harakat vaqti qisqara borishi bilan tezlik vektorlarining ayirmasi $\Delta\vec{v}$ tezlik vektoriga nisbatan perpendikular ravishda, ya'ni aylananing radiusi bo'ylab joylashishga intilishini ko'rsatadi. Vaqt oniy qiymatgacha qisqarganda $\Delta\vec{v}$ vektor, binobarin, \vec{a} tezlanish radius bo'ylab aylana markaziga tomon yo'nalgan ekanini tasavvur qilish qiyin emas.

Shunday qilib, *jismning aylana bo'ylab tekis harakatida tezlanish har doim radius bo'ylab aylana markaziga tomon yo'nalgan bo'ladi.* Bu tezlanishni *markazga intilma* tezlanish deb ataladi va u $a_{m.i.}$ bilan belgilanadi. U vaqtda (47) formula markazga intilma tezlanishni ifodalab, quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:



39- rasm.

$$a_{m.i.} = \frac{v^2}{R}. \quad (48)$$

Chiziqli tezlik bilan burchak tezlik orasidagi bog‘lanishni ifodalovchi (41) munosabatdan v ning qiymatini (48) formulaga keltirib qo‘yib, markazga intilma tezlanishning burchak tezlik orqali ifodasini hosil qilamiz:

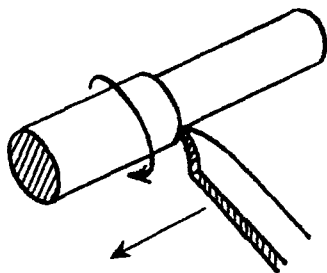
$$a_{m.i.} = \frac{(\omega R)^2}{R} = \omega^2 R. \quad (49)$$

Demak, markazga intilma tezlanish burchak tezlik (yoki chiziqli tezlik)ning kvadratiga to‘g‘ri proporsional ekan.

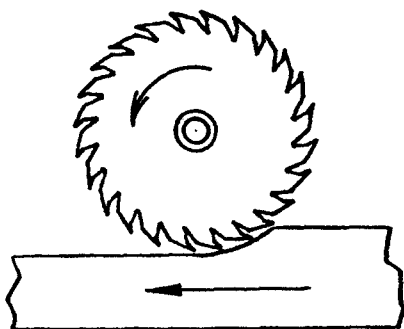
25-§. Aylanma harakatni uzatish

Qattiq jismlarning aylanma harakati tabiatda va texnikada juda ko‘p uchraydi. Yerning o‘z o‘qi atrofida aylanishi, maxovik deb ataladigan g‘ildirak shkivlarining harakati, tegirmon toshining aylanishi, magnitofon kassetasining aylanishi va shu kabilar aylanma harakatga misol bo‘la oladi.

Umuman, qattiq jismning har qanday harakatini harakatlarning mustaqillik prinsipiga asosan ilgarilanma va aylanma harakatlarning yig‘indisidan iborat deyish mumkin. Masalan, g‘ildirakning harakatini olaylik. G‘ildirakning (avtomobil, parovoz, tramvay, trolleybus, aravalar g‘ildiraklarining) harakati o‘z o‘qi atrofidagi aylanma harakatidan va korpus bilan birgalikda ilgarilanma



40- rasm.



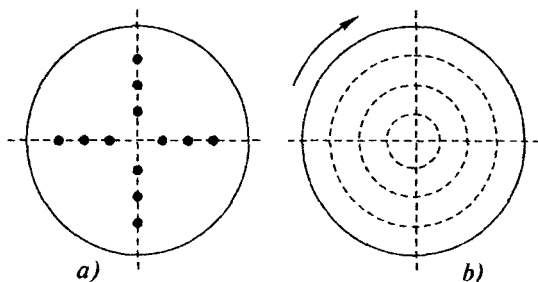
41- rasm.

harakatidan tarkib topgan. 40- rasmda tokarlik stanogida detalning aylanma va keskichning ilgarilanma harakati, 41- rasmda esa detalning ilgarilanma, keskich (freza)ning aylanma harakati tasvirlangan. Shunga o'xshash misollarni juda ko'p keltirish mumkin.

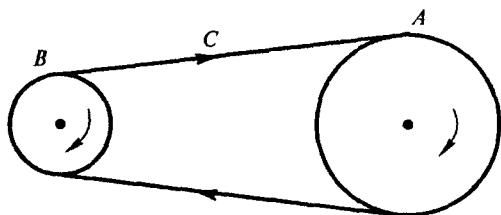
Endi markazdan turli uzoqliklarda doirachalar chizilgan karton diskni olib (42- *a* rasm), uni o'z o'qi atrofida tez aylantiraylik. Bunda biz radiuslari markazdan doirachalargacha bo'lgan masofalarga teng bo'lgan aylanalarni kuzatamiz (42- *b* rasm). Bundan jism aylanma harakat qilganda uning har xil nuqtalari aylanalar bo'ylab harakatlanishini ko'ramiz. Aylanalarning markazlari jismning aylanish o'qi ustida yotishi ravshan. Nuqtalar chizgan aylanalarning radiuslari ma'lum bir vaqt oralig'ida birday burchakka buriladi. Binobarin, aylanayotgan jismning hamma nuqtalarining burchak tezligi birday bo'ladi. Chiziqli tezlik bilan burchak tezlik orasidagi bog'lanish formulasi $v = \omega R$ dan ko'rinadiki, nuqta aylanish o'qidan qancha uzoqda (aylananing radiusi qancha katta) bo'lsa, uning chiziqli tezligi shuncha katta bo'ladi.

Demak, jism aylanayotganda uning turli nuqtalarining burchak tezligi birday, ammo chiziqli tezliklari turlicha bo'ladi. Bu holatdan qattiq jismning aylanma harakatini uzatishda amalda keng foydalaniladi.

Aylanma harakatni uzatishdan foydalaniladigan mexanizm (uskuna)ni ikki tarkibiy qismga ajratish mumkin: dvigatel va mashina — qurol. Dvigatelga, masalan, elektr dvigatel, bug' mashina, bug' turbinasi, gidroturbina kabilar kiradi. Turli-tuman



42- rasm.



43- rasm.

buyumlarni tayyorlaydigan stanok va mashinalar, jumladan, tokarlik stanogi, to‘qish stanogi, yigiruv va tikuv mashinalari kabilar mashina-qurolga kiradi.

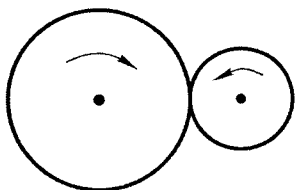
Dvigatelning aylanma harakatini stanokka qanday uzatilishini ko‘raylik. Bunda, ko‘pincha, qayish vositasida uzatish, tishli g‘ildirak yordamida uzatish va friksion uzatish usullari qo‘llaniladi.

1. Aylanma harakatni qayish vositasida uzatish. Dvigatel valiga *A* shkiv, stanok valiga *B* shkiv o‘rnatilgan va ularga ikkala shkivni o‘rovchi *C* uzluksiz qayish kiydirilgan (43- rasm). *A* shkiv *yetaklovchi shkiv*, *B* shkiv *yetaklanuvchi shkiv* deb ataladi. Agar shkivlarning radiuslari har xil bo‘lsa, ularning aylanish chastotalari ham har xil bo‘ladi, chunki shkiv aylanalaridagi chiziqli tezliklar bir-biriga teng. *A* shkivning radiusi R_1 , chastotasi ν_1 va *B* shkivning radiusi R_2 , chastotasi ν_2 bo‘lsa, $v = 2\pi\nu_1 R_1$ va $v = 2\pi\nu_2 R_2$ deb yozish mumkin, bu yerda v — shkivlarning chiziqli tezligi. Bu ifodalardan

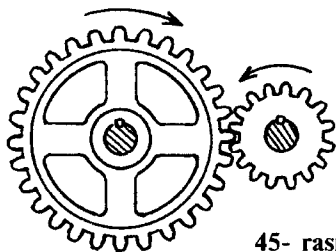
$$\frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{R_1}{R_2} \quad (50)$$

ekanligi ravshan. Demak, shkivlarning aylanish chastotalari ularning radiuslariga teskari proporsional ekan. $\frac{\nu_2}{\nu_1}$ — nisbat *uzatish soni* deyiladi. (50) dan ko‘rinadiki, stanok shkivining radiusi qancha kichik bo‘lsa, valining aylanish chastotasi shuncha katta bo‘ladi. Yetaklanuvchi shkiv unga kiydirilgan qayish bilan shkiv orasida ishqalanish kuchi borligi sababli harakatga keladi.

2. Aylanma harakatni friksion uzatish. Friksion uzatishda ikki g‘ildirak bir-biriga ma‘lum bir kuch bilan qisib qo‘yiladi (44- rasm). G‘ildiraklardan biri dvigatel yordamida aylantirilganda g‘ildiraklar



44- rasm.



45- rasm.

orasida ishqalanish mavjudligi tufayli ikkinchi g'ildirak ham aylana boshlaydi.

Bunday uzatishni tikuv mashinalarida mashinaning katta g'ildiragi bilan g'altakka ip o'raydigan kichik g'ildirak orasida kuzatish mumkin. Uzatiladigan quvvat uncha katta bo'lmagan hollarda friksion uzatish qo'llaniladi. Chunki quvvat katta bo'lganda har ikkala g'ildirak bir-biriga juda katta kuch bilan qisilishi kerak. Bu hol, oxir oqibatda, g'ildiraklar o'rnatilgan valning bukilishiga va mashinaning buzilishiga olib kelishi mumkin.

3. Aylanma harakatni tishli g'ildirak vositasida uzatish. Bunday uzatishning prinsipial sxemasi 45- rasmda tasvirlangan. Ikki tishli g'ildirak bir-biri bilan tishlashtirilgan bo'lib, tishlarning soni ham, aylanishlar chastotasi ham har xil bo'ladi. Faraz qilaylik, yetaklovchi tishli g'ildirak tishlarining soni N_1 , aylanish chastotasi v_1 bo'lsin, ikkinchisi — yetaklanuvchi tishli g'ildirak tishlarining soni N_2 , aylanish chastotasi v_2 bo'lsin. Bir birlik vaqt davomida tishlashish nuqtasidan birinchi g'ildirakning $N_1 v_1$ ta tishi, ikkinchi g'ildirakning $N_2 v_2$ ta tishi o'tadi. Ravshanki, bu sonlar bir-biriga teng: $N_1 v_1 = N_2 v_2$. Bundan

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad (51)$$

bo'ladi, ya'ni bir-birlari bilan tishlashgan tishli g'ildiraklardan har birining bir birlik vaqtda aylanishlar soni ularning tishlari soniga teskari proporsional bo'ladi.

Tishli g'ildirak vositasida harakatni uzatishdan ham amalda keng foydalaniladi. Masalan, avtomobil, traktor, tramvaylarda harakat dvigateldan yurituvchi g'ildiraklarga shu yo'sinda uzatiladi.

26- §. Aylana bo‘ylab tekis o‘zgaruvchan harakat. Burchak tezlanish. Tangensial tezlanish. To‘la tezlanish

Jism aylana bo‘ylab notekis harakat qilganda chiziqli tezlik bilan birga burchak tezlik ham o‘zgaradi. Bunday harakatni to‘liq tavsiflash uchun *chiziqli tezlanish* bilan *burchak tezlanish* tushunchalarini kiritish kerak bo‘ladi.

Jismning aylana bo‘ylab tekis o‘zgaruvchan harakatini ko‘rib chiqaylik. Bunday harakatda chiziqli tezlik ham yo‘nalishi jihatdan, ham kattaligi jihatdan o‘zgarib turadi. Faraz qilaylik, jismning ω burchak tezligi Δt vaqt oralig‘ida $\Delta\omega$ ga o‘zgargan bo‘lsin, u holda β burchak tezlanishi (burchak tezligining bir birlik vaqt davomida o‘zgarishi), tezlanish ta‘rifiga ko‘ra,

$$\beta = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (52)$$

ko‘rinishda ifodalanadi. (52) formuladan burchak tezlanishining birligi quyidagicha bo‘ladi:

$$[\beta] = \frac{[\Delta\omega]}{[\Delta t]} = 1 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 1 \frac{1}{\text{s}} = \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} = \frac{1}{\text{s}^2}.$$

(52) dan ko‘rinadiki, β burchak tezlanish ham aksial vektor, chunki $\Delta\omega$ kattalik $\bar{\omega}$ burchak tezlik vektorining o‘zgarishini ifodalaydi, demak, $\bar{\omega}$ va $\bar{\beta}$ vektorlarning yo‘nalishi ustma-ust tushadi (38- rasmga q.).

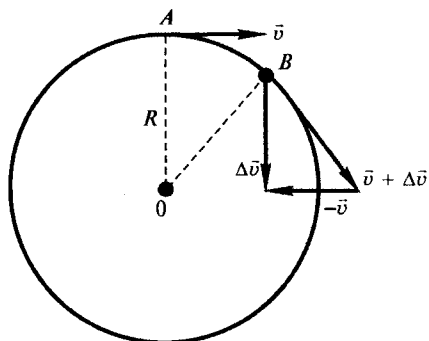
Aylananing radiusi $R = \text{const}$ (o‘zgarmas) bo‘lganda burchak tezligining $\Delta\omega$ o‘zgarishi faqat chiziqli tezlikning Δv o‘zgarishi bilan ro‘y beradi. Shuning uchun (41) formulaga muvofiq,

$$\Delta v = \Delta\omega \cdot R \quad \text{va} \quad \Delta\omega = \frac{\Delta v}{R}$$

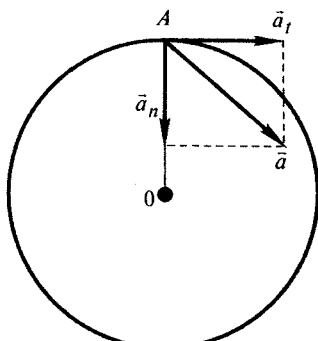
deb yozish mumkin. $\Delta\omega$ ning bu ifodasini (52) formulaga qo‘ysak, burchak tezlanishi uchun

$$\beta = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{a}{R} \quad (53)$$

munosabatni hosil qilamiz. Bundan



46- rasm



47- rasm

$$a = \beta R. \quad (54)$$

Demak, aylana bo'ylab tekis o'zgaruvchan harakatda chiziqli tezlanish burchak tezlanish bilan aylana radiusining ko'paytmasiga teng ekan.

Shunday qilib, aylana bo'ylab tekis o'zgaruvchan harakatda chiziqli (tangensial) tezlanish ham, markazga intilma (normal) tezlanish ham aylananing radiusiga bog'liq ekan ((49) va (54) formulalarga e'tibor bering), aylana radiusi qancha katta bo'lsa, bu tezlanishlarning qiymati ham shuncha katta bo'lar ekan.

Aylana bo'ylab notekis harakatda tezlanishning yo'nalishi tezlik Δv orttirmasining yo'nalishi bilan mos tushadi (46- rasm) va trayektoriyaga burchak ostida uning botiq tomoniga yo'nalgan. Haqiqatan ham shunday yoki shunday emasligiga ishonch hosil qilish uchun faraz qilamiz, jismning aylana bo'ylab A holatdan B holatga ko'chishi Δt vaqt oralig'ida sodir bo'lsin (46- rasimga q.). A nuqtada chiziqli tezlik v , B nuqtada esa $v + \Delta v$ bo'lsin, bu yerda Δv chiziqli tezlikning Δt vaqt davomidagi orttirmasi. Vektorlarni ayirish qoidasiga asoslanib Δv ni aniqlaymiz. Rasmdan ko'rinib turibdiki, Δv (demak, a tezlanish) haqiqatan ham trayektoriyaning botiq tomoniga yo'nalgan.

Aylana bo'ylab o'zgaruvchan harakat tezlanishini ikkita tashkil etuvchiga ajratamiz (47- rasm). Ulardan biri \bar{a}_t trayektoriyaga urinma bo'ylab yo'nalgan chiziqli tezlanish bo'lib, uni *urinma* yoki

tangensial tezlanish deb ataladi. Ikkinchisi aylananing radiusi bo'ylab aylana markaziga tomon yo'nalgan (markazga intilma) tezlanish bo'lib, uni *normal tezlanish* deb ataladi. Tezlanishlar orasidagi munosabatlar vektor ko'rinishda

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$$

va skalyar ko'rinishda

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} \quad (55)$$

ifodalanadi.

27- §. Harakatlarning mustaqillik prinsipi

Ko'p hollarda bir vaqtning o'zida bir necha harakatlarda ishtirok etayotgan jism bilan ish ko'rishga to'g'ri keladi. Jismning bunday harakati *murakkab harakat* deyiladi. Masalan, yuqoriga tik otilgan jismning harakati boshlang'ich tezlik bilan yuqoriga tekis sekinlanuvchan harakat qilayotgan va pastga qarab erkin tushayotgan (tekis tezlanuvchan harakatlanayotgan) jism harakatlaridan tarkib topgan murakkab harakatdir. Murakkab harakat trayektoriyasi tashkil qiluvchi harakatlarning trayektoriyalari orqali aniqlanishi mumkin. Bunga *harakatlarni qo'shish* deyiladi. Murakkab harakatning trayektoriyasi to'g'ri chiziqli ham, egri chiziqli ham bo'lishi mumkin.

Inersiya ta'sirida bo'ladigan to'g'ri chiziqli tekis harakat bilan og'irlik kuchi ta'sirida bo'ladigan tekis tezlanuvchan harakatning qo'shilishidan egri chiziqli murakkab harakat yuzaga kelishini quyidagi misolda ko'rish mumkin. Yuzi silliq bo'lgan stol ustida to'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotgan sharchani ko'z oldimizga keltiraylik. Sharcha stol chetiga yetib kelguncha to'g'ri chiziqli tekis harakat qiladi, bu vaqtda sharchaning og'irligi stolning reaksiya kuchi bilan muvozanatlashgan bo'ladi. Sharcha stol chetidan dumalab ketgan paytdan boshlab bu muvozanat yo'qoladi va sharcha o'zining to'g'ri chiziqli tekis harakatini inersiyasi tufayli saqlaydi, shu bilan bir vaqtda og'irlik kuchi ta'sirida pastga tusha boshlaydi. Natijada sharcha egri chiziqli harakat qiladi (48- rasm).

Bu harakatlarning ikkala turi ham mustaqil ravishda sodir bo'lishi mumkin. Bunga quyidagi tajriba yordamida ishonch hosil qila olamiz.

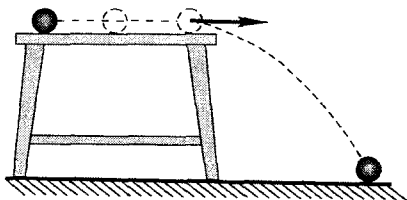
Chetida teshigi bo'lgan stol ustiga ikkita sharchani shunday o'rnatiladiki, ulardan birini A prujina-plastinka stolga mahkamlangan B to'siqqa qisib teshik ustida tushirib yubormasdan ushlab turadi (49- rasm). Plastinkaga C bolg'acha bilan urilganda, teshikcha ustidagi sharchaning \vec{v}_1 tezlik bilan erkin tushishi va ikkinchi sharchaning bir vaqtning o'zida gorizontaal yo'nalishda \vec{v}_2 tezlik bilan harakatlanishi hamda pastga tusha boshlashi kuzatiladi. Tajribadan aniqlanishicha, har ikkala sharchaning polga kelib urilishi bir vaqtning o'zida sodir bo'ladi.

Bundan sharchaning og'irlik kuchi ta'sirida qilgan harakati uning dastlabki paytda tinch turganligiga yoki gorizontaal yo'nalishda harakat qilayotganligiga bog'liq bo'lmas ekan, degan xulosa kelib chiqadi.

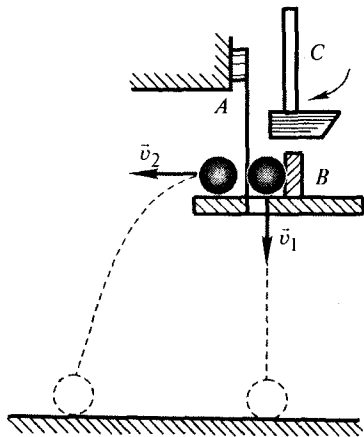
Yuqoridagi tajribalardan ko'rinadiki, *jism bir vaqtning o'zida bir necha harakatda ishtirok etsa, harakatlarning har biri mustaqil ravishda bo'ladi.*

Bu qoida mexanikada *harakatlarning mustaqillik prinsipi* deb yuritiladi.

Harakatlarning mustaqillik prinsipiga asoslanib, quyida gorizontaal va gorizontga qiyalatib otilgan jismlarning harakatini ko'rib chiqamiz.



48- rasm.



49- rasm.

28- §. Gorizontga nisbatan burchak ostida otilgan jismning harakati

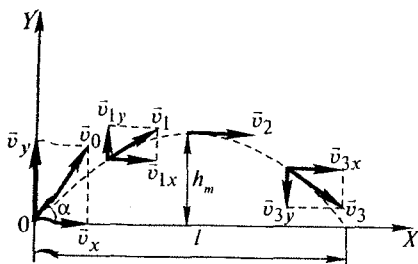
Biror jism gorizont bilan α burchak tashkil qiluvchi va son qiymati v_0 ga teng bo'lgan boshlang'ich tezlik bilan otilgan, deb faraz qilaylik. Shu jism harakat trayektoriyasining ko'rinishini, uning harakat vaqtini, ko'tarilish balandligini va uchish uzoqligini aniqlaylik.

Jismning harakatini Yerga nisbatan qarab, Yerni sanoq boshi sistemasi qilib olamiz va unga to'g'ri burchakli koordinatalar sistemasini joylashtiramiz (50- rasm). Havoning qarshiligini e'tiborga olinmasa, 50- rasmda qabul qilingan belgilarga muvofiq, jism tezligining tashkil etuvchilari uchun quyidagi ifodalarni yoza olamiz:

$$\left. \begin{aligned} v_x &= v_0 \cos \alpha, \\ v_y &= v_0 \sin \alpha - gt. \end{aligned} \right\} \quad (56)$$

Oxirgi formuladan va 50- rasmdan ko'rinishicha, jism tezligining vertikal tashkil etuvchisi avval yuqoriga tik yo'nalgan bo'ladi va vaqt o'tishi bilan kamayib boradi, so'ng esa o'z yo'nalishini pastga tomon tik o'zgartiradi. Jismning koordinatalari vaqt o'tishi bilan o'zgaradi. Shuning uchun ularni vaqtning funksiyalari sifatida quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\left. \begin{aligned} x &= v_0 \cos \alpha \cdot t, \\ y &= v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (57)$$



50- rasm.

Jismning harakati gorizont yo'nalishda v_x tezlikli tekis harakat bilan v_y boshlang'ich tezlikda yuqoriga vertikal yo'nalgan tekis sekinlanuvchan harakat yig'indisidan iborat bo'lgan murakkab harakatdir. x va y ning (57) dagi ifodalardan t vaqtini yo'qotib, trayektoriya tenglamasini topamiz:

$$y = \operatorname{tg}\alpha \cdot x - \frac{g}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \cdot x^2$$

Bu yerda α —berilgan burchak va v_0 — boshlang'ich tezlikning son qiymati bo'lgani sababli x va x^2 oldidagi koeffitsientlar o'zgarmas kattalikdir, ularni a va b bilan belgilasak, u holda

$$y = ax - bx^2 \quad (58)$$

bo'ladi, bu *parabola* tenglamasidir. Demak, *gorizontga nisbatan burchak ostida otilgan jism parabola bo'yicha harakat qilargan*.

Trayektoriyaning eng yuqori nuqtasida tezlikning vertikal tashkil etuvchisi nolga teng ($v_y = 0$). Shuning uchun jismning maksimal balandlikka ko'tarilish vaqti t_1 ni (56- formula)

$$v_0 \sin \alpha - gt_1 = 0$$

tenglikdan aniqlash mumkin, bundan

$$t_1 = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{g} \quad (59)$$

bo'ladi.

Jismning *ko'tarilish balandligi* faqat tezlikning vertikal tashkil etuvchisiga bog'liq. Maksimal ko'tarilish balandligi h_m ni (57) formuladagi y ning ifodasiga maksimal balandlikka ko'tarilish vaqti (t_1) ning qiymatini qo'yib aniqlanadi, ya'ni

$$h_m = v_y \cdot t_1 - \frac{gt_1^2}{2} = v_0 \sin \alpha \cdot \frac{v_0 \sin \alpha}{g} - \frac{g}{2} \left(\frac{v_0 \sin \alpha}{g} \right)^2 = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad (60)$$

Jismning ko'tarilish vaqti uning tushish vaqtiga teng ekanligi 20- § da ko'rsatilgan edi. Shuning uchun jismning uchish vaqti

$$t = 2t_1 = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} \quad (61)$$

munosabatdan topiladi.

Jismning *uchish uzoqligi* tenglikning faqat gorizont tashkil etuvchisiga bog'liq. Shuning uchun t uchish vaqtining qiymatini (57) ga x ning ifodasiga keltirib qo'yib, jismning uchish uzoqligi l ni topish mumkin:

$$l = v_x \cdot t = v_0 \cos \alpha \cdot \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\alpha. \quad (62)$$

Oxirgi formuladan ko'rinadiki, boshlang'ich tezlikning ma'lum qiymatida $\alpha = 45^\circ$ bo'lganda jism eng uzoqqa borib tushadi.

Yuqoridagi formulalarning hammasi jism vakuumda harakat qilgandagina to'g'ri bo'ladi. Jismning havodagi harakatiga havo qarshiligi anchagina ta'sir ko'rsatadi. Harakat vaqtida havo qarshiligi tufayli jismning tezligi kamayib boradi, natijada trayektoriya parabola emas, balki murakkab egri chiziqdan iborat bo'ladi.

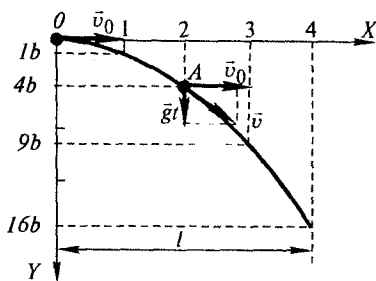
29- §. Gorizontaal otilgan jismning harakati

Stol ustida turgan sharchani ko'z oldimizga keltiraylik (48- rasmga q.). Agar shu sharchani stol ustidan gorizontaal yo'nalishda turtib yuborsak, u stol chekkasiga yetgach, egri chizikli harakat bilan Yerga tusha boshlaydi. Sharchaning bu harakati gorizontaal-otilgan jism harakatiga misol bo'la oladi. Bunday harakat murakkab bo'lib, u gorizontaal yo'nalishda bo'ladigan v_0 tezlikli to'g'ri chizikli tekis harakat bilan vertikal yo'nalishda bo'ladigan g tezlanishli to'g'ri chizikli tekis tezlanuvchan harakatlardan (erkin tushish)ning qo'shilishidan hosil bo'ladi. Biz bu o'rinda havoning jism harakatiga ko'rsatadigan qarshiligini nazarga olmaymiz.

Faraz qilaylik, boshlang'ich payt ($t = 0$) da jism v_0 tezlik bilan gorizontaal yo'nalishda O nuqtadan otilgan bo'lsin (51- rasm). Sanoq boshi deb O nuqtani olib, unga to'g'ri burchakli koordinatalar sistemasini bog'laymiz. X va Y o'qlar yo'nalishida sharchaning vaqt o'tishi bilan harakat tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\left. \begin{aligned} x &= v_0 \cdot t, \\ y &= \frac{1}{2} g t^2. \end{aligned} \right\} \quad (63)$$

Bu tenglamalar sistemasidan t ni yo'qotib, jismning harakat trayektoriyasi tenglamasini topamiz:



51- rasm.

$$y = \frac{g}{2} \left(\frac{x}{v_0} \right)^2 = \frac{g}{2v_0^2} x^2.$$

Bu ifodada x^2 oldidagi $\frac{g}{2v_0^2}$ o'zgarmas kattalik bo'lgani uchun uni b orqali belgilab,

$$y = bx^2 \quad (64)$$

ifodani hosil qilamiz. Bu ifoda gorizontaal otilgan jism harakat trayektoriyasining tenglamasidir. Uning ko'rinishini aniqlash uchun x ga ixtiyoriy, masalan, 1, 2, 3 va hokazo qiymatlar berib, bu qiymatlarga mos keladigan y ning qiymatlarini (64) formula yordamida hisoblab topish va olingan natijalarga asoslanib, y ning x ga bog'lanish grafigini chizish lozim. x va y ning qiymatlari quyidagi jadvalda keltirilgan:

x	0	1	2	3	4
$y=bx^2$	0	b	$4b$	$9b$	$16b$

(63) formuladan y ning yo'nalishi g ning yo'nalishi bilan mos kelishi ko'rinib turibdi (chunki $t^2 > 0$). Shuning uchun OY o'qini O nuqtadan pastga tomon yo'naltirib (51- rasmga q), koordinata o'qlariga tanlab olingan masshtabda jadvaldagi kattaliklarni qo'yib, olingan nuqtalarni birlashtiramiz. Bu egri chiziq gorizontaal otilgan jismning harakat trayektoriyasi bo'ladi. Uni 50- rasmda tasvirlangan parabola bilan taqqoslab, *gorizontaal otilgan jismning harakat trayektoriyasi parabolaning bir tarmog'i ekanligini* ko'rishimiz mumkin.

Gorizontaal otilgan jismning uchish vaqti

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}} \quad (65)$$

va uchish uzoqligi

$$l = x_m = v_0 \cdot t = v_0 \cdot \sqrt{\frac{2y}{g}} \quad (66)$$

formulalardan aniqlanadi.

Trayektoriyaning ixtiyoriy A nuqtasidagi tezlik \vec{v} jism tezligining gorizontal v_x va vertikal v_y tashkil etuvchilari ustida chizilgan parallelogramm diagonali sifatida aniqlanadi:

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y \quad \text{yoki} \quad v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}.$$

Gorizontol otilgan jism uchun $v_x = v_0$ va $v_y = gt$ bo'lganidan

$$v = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2} \quad (67)$$

bo'ladi.



Takrorlash uchun savollar

1. Qanday harakat aylana bo'ylab tekis harakat deyiladi?
2. Aylana bo'ylab tekis harakat to'g'ri chiziqli tekis harakatdan nima bilan farq qiladi?
3. Aylana bo'ylab harakatni tavsiflovchi qanday kattaliklarni bilasiz? Ularni ta'riflang.
4. Burchak va chiziqli tezliklar orasida qanday bog'lanish bor?
5. Markazga intilma tezlanish nima? Uning burchak tezlik va chiziqli tezlik orqali ifodalangan formulalarini yozing.
6. Aylanma harakatni qayish vositasida uzatishni tushuntiring. Uzatish soni nima?
7. Aylanma harakatni friksion uzatish qanday amalga oshiriladi?
8. Aylanma harakatni tishli g'ildirak vositasida uzatishda aylanishlar soni bilan tishlar soni orasida qanday munosabat bor?
9. Aylana bo'ylab tekis o'zgaruvchan harakat deganda nimani tushunasiz? Bu harakat parametrlari burchak tezlanish, chiziqli tezlanishlarni ta'riflang. To'la tezlanish formulasini yozing.
10. Qanday harakat murakkab harakat deyiladi? Harakatlarni qo'shish deganda nimani tushunasiz?
11. Harakatning mustaqillik prinsipi deganda nimani tushunasiz? Misollar keltiring.
12. Gorizontga nisbatan burchak ostida otilgan jism harakatining trayektoriyasi qanday? Trayektoriya tenglamasini keltirib chiqaring.
13. Gorizontol otilgan jism qanday trayektoriya bilan harakatlanadi? Trayektoriya tenglamasini keltirib chiqaring.

14. Uchish vaqti, uchish uzoqligi va ko'tarilish balandligi nima va ular qanday hisoblanadi?
15. Egri chizikli trayektoriyaning ixtiyoriy nuqtasida jismning tezligi qanday yo'nalgan bo'ladi? Bu tezlik qanday aniqlanadi?



Masala yechish namunalari

1- masala. Doiraviy arraning diametri 600 mm. Arra o'qiga diametri 300 mm bo'lgan shkiv o'rnatilgan bo'lib, uni dvigatel valiga mahkamlangan, diametri 120 mm bo'lgan shkiv aylantiradi (52- rasm). Agar arra tishlarining

tezligi $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ bo'lsa, dvigatel rotorining aylanish chastotasi ($\frac{\text{ayl}}{\text{min}}$) qanday?

Berilgan: $D_1 = 600\text{mm} = 0,6\text{m}$; $D_2 = 300\text{mm} = 0,3\text{m}$; $D = 120\text{mm} = 0,12\text{m}$; $v_1 = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Topish kerak: $\omega - ?$

Yechilishi. Arraning ω_1 burchak tezligi bilan uning o'qiga o'rnatilgan shkivning burchak tezligi bir-biriga teng ($\omega_1 = \omega_2$) bo'ladi (52- rasmga q.). Shuningdek, bu shkivning v_2 chiziqli tezligi uni aylantirayotgan (dvigatel valiga o'rnatilgan) shkivning v chiziqli tezligiga teng ($v_2 = v$) bo'ladi. Masalani yechishda chiziqli tezlik bilan burchak tezlik orasidagi bog'lanish formulasidan foydalanamiz:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{2v}{D} = \frac{2v_2}{D}$$

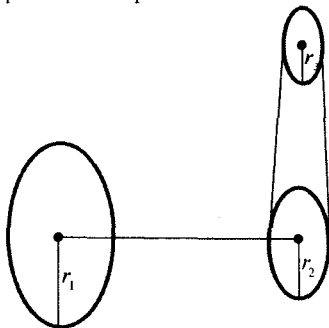
$$v_2 = \omega_2 r_2 = \omega_1 \cdot \frac{D_2}{2} = \frac{v_1}{r_1} \cdot \frac{D_2}{2} = \frac{2}{D_1} \cdot \frac{v_1 D_2}{2} = \frac{v_1 D_2}{D_1}$$

Demak,

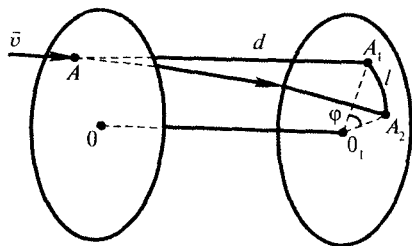
$$\omega = \frac{2}{D} \cdot \frac{v_1 D_2}{D_1}$$

Hisoblash:

$$\omega = \frac{2 \cdot 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,3\text{m}}{0,12\text{m} \cdot 0,6\text{m}} = \frac{15}{0,12} \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \frac{15}{0,12} \cdot \frac{60}{2\pi} \frac{\text{ayl}}{\text{min}} = 1190 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$$



52- rasm.



53- rasm

2- masala. Ikkita yupqa karton disk bitta o'qqa mahkamlangan va 50 Hz chastotali elektr motorcha bilan aylantiriladi. Disklar orasidagi masofa 22,5 sm. Disklardan birining oldida, tashqi tomondan pistoletdan o'q uziladi. O'q teshigi bir-biriga nisbatan aylananing $1/20$ qismini tashkil etadigan qilib ikkala diskni teshib o'tadi. O'qning tezligini toping.

Berilgan: $d = 22,5 \text{ sm} = 22,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$; $\nu = 50 \text{ Hz} = 50 \frac{1}{\text{s}}$; $\varphi = \frac{2\pi}{20}$.

Topish kerak: v —?

Yechilishi. O'q birinchi diskni teshib ikkinchi diskka yetib kelguncha ketgan vaqt $t = \frac{d}{v}$ ga teng bo'ladi, bu yerda v — o'qning tezligi. Shu vaqt davomida disklar φ burchakka burilib qoladi (53- rasm), bunda disklar tinch turganda o'q hosil qilishi mumkin bo'lgan A_1 teshik go'yo disk sirtida l yoyga siljib, A_2 vaziyatni olgandek tuyuladi. Diskning radiusi R , chiziqli tezligi v_1 bo'lsa,

$$l = \varphi \cdot R \quad \text{va} \quad t = \frac{l}{v_1} = \frac{\varphi}{v_1} \cdot R$$

bo'ladi, $v_1 = \omega R = 2\pi\nu R$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$t = \frac{2\pi}{20} \cdot \frac{R}{2\pi\nu R} = \frac{1}{20\nu}$$

hosil bo'ladi.

Ikkinchidan, $t = \frac{d}{v}$ bo'lganligi uchun

$$\frac{d}{v} = \frac{1}{20\nu} \quad \text{va bundan} \quad v = 20\nu d$$

bo'ladi.

$$\text{Hisoblash: } v = 20 \cdot 50 \frac{1}{\text{s}} \cdot 22,5 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 225 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

3- masala. G'ildirak o'zgarmas $\beta = 2 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$ burchak tezlanish bilan aylanadi. Harakat boshlanishidan 0,5 s o'tgach, g'ildirakning to'la tezlanishi $a = 13,6 \frac{\text{sm}}{\text{s}^2}$ ga teng bo'lsa, uning radiusini toping.

Berilgan: $\beta = 2 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$; $t = 0,5 \text{ s}$; $a = 13,6 \frac{\text{sm}}{\text{s}^2} = 13,6 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Topish kerak: R —?

Yechilishi. G'ildirakning to'la tezlanishi (55) formulaga ko'ra

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2},$$

bu yerda a_n va a_t — mos ravishda normal va tangensial tezlanishlar.

$a_n = \omega^2 R$, $a_t = \beta R$ va $\omega = \beta t$ ekanligini hisobga olsak, u holda to'la tezlanishning ifodasi

$$a = \sqrt{\omega^4 R^2 + \beta^2 R^2} = \sqrt{\beta^4 t^4 R^2 + \beta^2 R^2} = \beta R \sqrt{\beta^2 t^4 + 1}$$

ko'rinishga keladi. Bundan, g'ildirakning R radiusi

$$R = \frac{a}{\beta \sqrt{\beta^2 t^4 + 1}}$$

ga teng bo'ladi.

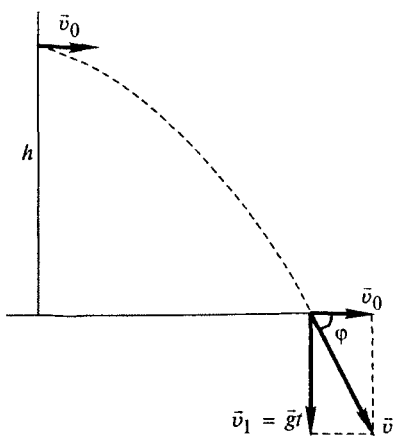
Hisoblash: $R = \frac{13,6 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2 \frac{1}{\text{s}^2} \sqrt{4 \frac{1}{\text{s}^4} (0,5)^4 \text{s}^4 + 1}} \approx 6,1 \text{m}.$

4- masala. Bola balandligi 5m bo'lgan qirg'oqdan yugurib kelib suvga sakradi (sho'ng'idi). Suvga sakrayotganda, ya'ni uchib borayotganida bolaning gorizontaal yo'nalishdagi tezligi $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ga teng bo'lgan. Bola suv sirtiga yetganda tezligining moduli va yo'nalishi qanday bo'lgan?

Berilgan: $h = 5 \text{m}$, $v_0 = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Topish kerak: v — ?, φ — ?

Yechilishi. Bolaning suv sirtiga yetgandagi v tezligi trayektoriyaga urinma ravishda yo'nalgan bo'lib, uni ikkita tashkil etuvchiga ajratish mumkin (54-rasm): gorizontaal tashkil etuvchisi bolaning suvga sakrayotgandagi



54- rasm.

Shakldan

$$\cos \varphi = \frac{v_0}{v} = \frac{v_0}{\sqrt{2gh + v_0^2}}.$$

Hisoblash:

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5\text{m} + 36 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = 11,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

$$\cos \varphi = \frac{6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{11,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,3138, \quad \varphi = 59^\circ.$$

5- masala. Bola yerda turgan koptokni tepib yuborgan edi, u gorizontga nisbatan 37° burchak ostida $14,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan uchib ketdi. Shu vaqtning o'zida otish yo'nalishida boladan 30 m uzoqda turgan ikkinchi bola koptokni yerga tushmasidan avval tutib olishi uchun qanday tezlik bilan qarama-qarshi yo'nalishda chopishi kerak?

Berilgan: $v_0 = 14,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; $\alpha = 37^\circ$, $s = 30 \text{ m}$.

Topish kerak: $v - ?$

Yechilishi. Koptokning uchish vaqti davomida ikkinchi bola s_1 masofani chopib o'tgan bo'lsin, u holda

boshlang'ich v_0 tezligiga, vertikal tashkil etuvchisi esa t vaqt oralig'ida erkin tushishda olgan $v_1 = gt$ tezligiga teng bo'ladi. Shuning uchun

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_0^2} = \sqrt{g^2 t^2 + v_0^2}$$

deb yozish mumkin. t vaqt harakatlarning mustaqillik prinsipiga binoan, bolaning h balandlikdan erkin tushish vaqtiga teng bo'ladi:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Demak,

$$v = \sqrt{2gh + v_0^2}$$

$$v = \frac{s_1}{t}$$

bo'ladi, bu yerda t ko'ptokning uchish vaqti bo'lib, uni (61) ifoda

$$t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

dan aniqlash mumkin. Agar ko'ptokning uzoqqa maksimal otilish masofasi (62) dan

$$s_m = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

ekanligini nazarga olsak, u vaqtda s_1 uchun

$$s_1 = s - s_m = s - \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

munosabatni hosil qilamiz. Demak, bolaning chopish tezligi quyidagicha ifodalanadi:

$$v = \left(s - \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \right) \cdot \frac{g}{2v_0 \sin \alpha} = \frac{sg - v_0^2 \sin 2\alpha}{2v_0 \sin \alpha}$$

$$\text{Hisoblash: } v = \frac{30\text{m} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} - \left(14,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \cdot \sin 74^\circ}{2 \cdot 14,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sin 37^\circ} = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Mustaqil yechish uchun masalalar

15. Oy Yer atrofida Yer radiusidan 60 marta katta radiusli aylana bo'ylab harakatlanadi. Oyning aylanish davri 27 sutka 7 soat 45 minutga, Yerning radiusi 6370 km ga teng deb hisoblab, Oyning Yerga tomon markazga intilma tezlanishini toping.

16. G'ildirak tekis tezlanuvchan aylanib, 10 s da $20 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ burchak tezlikka erishdi. G'ildirakning burchak tezlanishini toping.

17. Ishchi g'ildiragining diametri 9 m bo'lgan GES turbinasi bir minutda 68,2 marta aylanadi. Turbina kuraklari uchlarining tezligini va markazga intilma tezlanishini toping.

18. $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan gorizontol yo'nalishda otilgan jismning uchish uzoqligi otilish balandligiga teng. Jism qanday balandlikdan otilgan?

19. Jism $50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan gorizontga 53° burchak ostida otildi. Havoning qarshiligini e'tiborga olmay va $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ deb hisoblab, 1) jismning ko'tarilish vaqtini va ko'tarilish balandligini, 2) jism harakatining to'la vaqtini va uchish uzoqligini toping.

20. Uy tomidan $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlikda gorizontol otilgan tosh Yerga 60° burchak ostida tushdi. Toshning yerga urilish paytidagi tezligi qancha? Uyning balandligi qancha?

21. Jism gorizontga 30° burchak ostida $12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan otildi. Eng yuqoriga ko'tarilish nuqtasidagi va yerga urilish paytidagi tezligining modulini va yo'nalishini toping.

II bob. DINAMIKA

30- §. Kuch. Mexanikada kuchlarning turlari

Kinematikada harakatning ikki turi: tekis va notekis harakat qonunlari bilan tanishgan edik. Tekis harakatda jism o'zgarmas tezlik bilan harakatlanishini, notekis harakatda esa tezlik vaqt o'tishi bilan o'zgarib turishini, ya'ni jism tezlanish bilan harakatlanishini ko'rgan edik. Jismlarning harakatini kuzatib, ulardan istalgan birining harakat tezligining o'zgarishi boshqa jism ta'sirida yuz beradi, deb aytish mumkin. Bunga ishonch hosil qilish uchun quyidagi misollar bilan tanishib chiqaylik.

1. Vagonetkani itarib, uni harakatga keltirish, ya'ni uning tezligini o'zgartirish mumkin. Bunda vagonetka odam ta'sirida o'z tezligini o'zgartiradi.

2. Aeroportga qo'ngan samolyot yo'lka bo'ylab harakatlanayotganda havoning qarshiligi va g'ildiraklarining Yerga ishqalanishi natijasida tezligi kamayib boradi va oxiri to'xtaydi.

3. Uchib kelayotgan koptokni raketka bilan to'xtatish yoki uning harakat yo'nalishini o'zgartirish mumkin va hokazo.

Bu keltirilgan misollarda jism boshqa jismning ta'siri ostida harakatga keladi, to'xtaydi yoki harakat yo'nalishini o'zgartiradi. Boshqacha qilib aytganda, jismning tezligi unga boshqa jismlar ta'sir etgandagina o'zgaradi.

Bir jismning ikkinchi jismga ta'sirini tavsiflovchi va jismning tezligini o'zgartiruvchi kattalik kuch deb ataladi. Tabiatda faqat jismlarning o'zaro ta'siri mavjuddir, lekin hamma holda bir jism ikkinchi jismga ta'sir qildi va uning harakatini o'zgartirdi deyish o'rniga, oddiygina qilib, jismga kuch ta'sir qildi, deyiladi.

Jismlarning bir-biriga ko'rsatadigan ta'sirining turlari juda ko'p bo'lganidan kuchlarning ham turlari juda ko'pga o'xshab ko'rinadi. Lekin haqiqatda esa tabiati turlicha bo'lgan kuchlar mavjud bo'lib, bular *elektromagnit kuchlar, butun olam tortishish kuchlari, kuchli va kuchsiz o'zaro ta'sir kuchlaridir.* Shuni qayd etish kerakki, kuchlarning tabiati, ularning kelib chiqishi haqidagi masala mexanika bo'limida ko'rilmaydi, bu uning vazifasiga kirmaydi. Lekin fizikaning keyingi bo'limlarida bu kuchlar bilan tanishib boriladi. Mexanika bo'limida esa *elastiklik, ishqalanish va og'irlik (gravitatsion) kuchlarining* xossalari, ularning jismlar mexanik harakatidagi roli o'rganiladi. Tabiiyki, bu kuchlar yuqorida qayd etilgan kuchlarning turlicha namoyon bo'lishidir.

Dinamikada jismlarning harakati bu harakatni yuzaga keltirgan kuchlar bilan bog'liq holda o'rganiladi.

Dinamikaning asosiy qonunlari uchta bo'lib, ularni 1687- yilda ingliz fizigi Isaak Nyuton kashf qilgan va uning sharafiga *Nyuton qonunlari* deb ataladi. Nyuton qonunlari insoniyatning ko'p asrlik tajribasi natijalarini umumlashtirish yo'li bilan maydonga kelgan. Bu qonunlarning to'g'riligi tajriba natijalariga mos kelishi bilan tasdiqlanadi.

31- §. Nyutonning birinchi qonuni

Nyuton tajriba va kuzatishlarga asoslanib, jismlarning qanday holda nisbiy tinchlikda va qanday holda to'g'ri chiziqli tekis harakatda bo'lishini aniqlab, birinchi qonunini kashf etdi. Nyutonning birinchi qonuni quyidagicha ta'riflanadi: *har qanday jism unga boshqa jismlar ta'sir qilmaguncha o'zining tinch holatini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatini saqlaydi.*

Nyutonning birinchi qonunidan jismga tashqi kuch ta'sir qilmasa, u yo'nalishi va kattaligi jihatdan o'zgarmas tezlik bilan harakat qiladi, degan xulosa kelib chiqadi. Tinch holat esa harakatning tezligi nolga teng bo'lgan xususiy holidir.

Nyutonning birinchi qonunidan, agar kuchlarning ta'siri bo'lmasa, har qanday moddiy jism tabiatidan va holatidan qat'iy nazar tinch holatini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatini saqlash xossasiga ega ekanligi kelib chiqadi. Jismning o'zining tinch holatini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakati holatini saqlash xususiyati *inersiya qonuni* deyiladi. Shuning uchun Nyutonning birinchi qonuni *inersiya qonuni* deb ham ataladi.

Inersiyaning namoyon bo'lishiga biz hamma vaqt duch kelamiz. Masalan, harakatlanayotgan vagonning tezligi birdan o'zganganida yo'lovchilar o'zlarining dastlabki holatlarini saqlagan holda, agar tezlik kamaysa — oldinga, tezlik ortsa — orqaga og'adilar. Yelib borayotgan ot birdan to'xtab qolsa, chavandoz o'z harakatini davom ettirib otning boshidan oshib tushadi. Inersiya tufayli jismning tezligini birdan o'zgartirib bo'lmaydi, buning uchun ma'lum muddat kerak bo'ladi.

Nyutonning birinchi qonunini tajribada bevosita tekshirish mumkin emas, chunki atrofdagi barcha jismlarning ta'sirini to'la bartaraf qilish mumkin emas. Ayniqsa, bir jismning ikkinchi jismga ishqalanishini bartaraf qilish ancha qiyin. Biroq, bir qator dalillarni umumlashtirish orqali Nyutonning birinchi qonunining to'g'riligiga ishonch hosil qilishimiz mumkin. Jumladan, harakatlanayotgan jismga atrofdagi jismlar tomonidan qarshilik ko'rsatayotgan kuchlar qancha kam bo'lsa, jismning tezligi shuncha oz kamayishini payqash oson. Masalan, bir xil kuch bilan otilgan sharcha asfaltlangan yo'lda qumdagidan ko'proq dumalaydi, muzning ustida esa asfalt yo'ldagidan yanada kichikroq ishqalanish kuchi ta'sir etadi.

Atrofimizdagi jismlarning odatda kuzatiladigan tinch holatda yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatda bo'lishiga jismga ta'sir etayotgan barcha kuchlarning bir-biri bilan o'zaro kompensatsiyalanishi (bir-birining ta'sirini yo'qotishi) sabab bo'ladi. Masalan, tinch holatda turgan har qanday jismning Yerga tortilish kuchi tayanch yoki

osmaning reaksiya kuchi bilan kompensatsiyalangan bo'ladi; to'g'ri chiziqli tekis harakatlanayotgan avtomobil dvigatelining tortish kuchi g'ildiraklar va Yer orasidagi ishqalanish kuchi bilan kompensatsiyalangan bo'ladi va hokazo. Shuning uchun Nyutonning birinchi qonunini yana quyidagicha ta'riflash mumkin: *agar jismga hech qanday kuch ta'sir etmasa yoki unga ta'sir etuvchi kuchlar bir-biri bilan kompensatsiyalangan bo'lsa, u holda bunday jism o'zining tinch holatini saqlaydi yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatini davom ettiradi.*

Nyutonning birinchi qonuni har qanday sanoq sistemasida ham bajarilavermaydi. Harakatning tavsifi sanoq sistemasining tanlab olinishiga bog'liq ekanligi ta'kidlab o'tilgan edi (9-§ ga q.). Bir-biriga nisbatan biror tezlanish bilan harakat qilayotgan ikki sanoq sistemasiga nisbatan jismning holatini kuzataylik. Agar jism ulardan biriga nisbatan tinch turgan bo'lsa, ravshanki, ikkinchisiga nisbatan u tezlanish bilan harakatlanadi. Demak, Nyutonning birinchi qonuni bir vaqtning o'zida ikkala sistemada qanoatlantirilishi mumkin emas.

Nyutonning birinchi qonuni, shu jumladan, ikkinchi va uchinchi qonunlari faqat inersial sanoq sistemasida qanoatlantiriladi, noinersial sanoq sistemasida esa qanoatlantirilmaydi.

32- §. Jismning massasi va zichligi

Tajribalarning ko'rsatishicha, bir xil kuchlar bilan ta'sir qilinganda turli jismlar o'z tezliklarini turlicha o'zgartirar ekan. Boshqacha aytganda, *ayni bir xil kuch turli jismlarga turlicha tezlanish beradi.* Bunga quyidagi misolda ishonch hosil qilish mumkin.

Gorizontal yo'lda biri yukli, ikkinchisi yuksiz bo'lgan ikki yuk avtomobili bir xil tezlik bilan kelayotgan bo'lsin. Shu ikki avtomobilga bir vaqtda birdan tormozlash kuchi ta'sir eta boshlaganda yukli avtomobilning o'z harakatini yuksiz avtomobilga nisbatan uzoqroq davom ettirishini, binobarin, kamroq tezlanish olishini kuzatamiz. Demak, jismning olgan tezlanishining kattaligi faqat ta'sir etayotgan kuchning kattaligiga emas, shu bilan birga jismlarning

ba'zi xususiy xossasiga ham bog'liq bo'lar ekan. Jismlarning bu xossasi *massa* deb ataladigan skalyar fizik kattalik bilan tavsiflanadi va u *m* harfi bilan belgilanadi.

O'zgarmas kuch ta'sirida kichikroq tezlanish olgan jismning massasi kattaroq va aksincha, kattaroq tezlanish olgan jismning massasi kichikroq bo'ladi. Tinch turgan (yoki harakatdagi) katta massali jismni kichik massali jismga nisbatan harakatga keltirish (yoki harakatini o'zgartirish) uchun kattaroq kuch qo'yish kerakligi tajribalardan ma'lum. Bundan, jismning massasi qancha katta bo'lsa, u o'z harakatining o'zgarishiga shuncha to'sqinlik qiladi, degan xulosa kelib chiqadi. Shu ma'noda, *massa jismning inertlik o'lchovidir* deyish mumkin. Shuning uchun, odatda, *massasi kattaroq bo'lgan jism inertroq* deyiladi. Demak, yuqorida qayd qilingan misolda, yukli avtomobilning massasi yuksiz avtomobilning massasidan ko'proq bo'ladi. Bundan, *jismning massasi shu jismdagi modda miqdoriga to'g'ri proporsional bo'ladi*, degan xulosaga kelamiz.

Shunday qilib, jismning massasi uning qanday o'zaro ta'sirlarda qatnashishiga va qanday harakat qilishiga bog'liq bo'lmagan xossasi — inertligini ifodalaydi.

Turli jismlarning massalarini taqqoslash uchun *modda zichligi* tushunchasidan foydalaniladi. *Moddaning hajm birligidagi massasi bilan o'lchanadigan kattalik modda zichligi* deb ataladi.

Agar jismning massasi *m*, hajmi *V* bo'lsa, u holda uning zichligi, ta'rifga binoan,

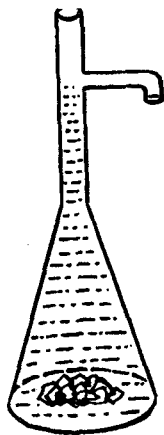
$$\rho = \frac{m}{V} \quad (68)$$

ifodadan aniqlanadi, bu yerda ρ — moddaning zichligi.

Laboratoriya sharoitida moddalarning zichligini aniqlashning turli usullari mavjud. Masalan, piknometrik usul bilan ham suyuqliklarning, ham qattiq moddalarning zichligini o'lchash mumkin.

Abu Rayhon Beruniy o'z qo'li bilan yasagan konussimon asbob yordamida metallar va boshqa bir qator moddalarning zichligini aniq o'lchagan. Konussimon asbob yuqoriga tomon torayib boradigan va silindrsimon bo'yinga ega idishdan iborat bo'lib (55-

rasm), tuzilishi jihatdan hozirgi vaqtda laboratoriyalarda zichlikni aniqlashda ishlatiladigan piknometrga o'xshaydi. Bo'ynining o'rtasi qismida kichik dumaloq teshik bo'lib, unga mos kattalikda bukilgan nay ulangan. Idishga suv quyib, nay sathigacha to'ldiriladi. Zichligi aniqlanadigan metall bo'laklari suvga solinadi. Natijada zichligi izlanayotgan metallning hajmicha suv nay orqali oqib tushadi. Idishning bo'yni shunday tor qilib ishlanganki, hatto suli donidek kattalikdagi modda bo'lagi solinganda ham idishdagi suv sathining o'zgarishi sezilarli bo'lgan. Keyinchalik suvning nay orqali to'xtamasdan oqishini ta'minlash maqsadida nay kichkina tarnovga almashtirilgan.



55- rasm

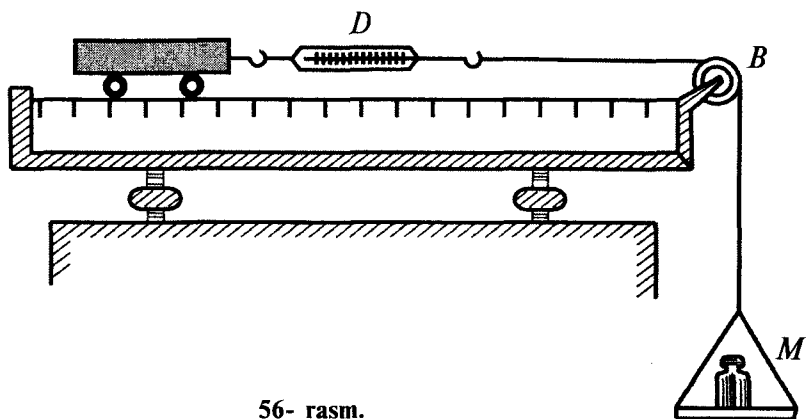
Abu Rayhon Beruniy tomonidan konussimon asbob yordamida aniqlangan moddalarning, xususan, oltin va simobning zichliklari ularning hozirgi qiymatlari bilan taqqoslanganda yetarlicha aniqlikda o'lganligiga amin bo'lamiz.

Modda zichligi temperatura va bosimga bog'liq, chunki temperatura va bosim o'zgarishi bilan jismlarning hajmi ham o'zgaradi; hajm kattalashganda zichlik kamayadi va, aksincha, hajm kichiklashganda zichlik ortadi. Bunga (68) formula asosida ishonch hosil qilish qiyin emas.

Abu Rayhon Beruniy ham o'z davrida moddalarning zichligi ularning tozaligiga va temperaturaga bog'liq deb hisoblagan va zichlikni o'lchashda bir qator amaliy ko'rsatmalar berib o'tgan (2- § ga q.).

33- §. Nyutonning ikkinchi qonuni

Nyutonning ikkinchi qonuni jismga qo'yilgan kuch bilan shu kuch ta'sirida jismning olgan tezlanishi va massasi orasidagi bog'lanishni aniqlaydi. Bu bog'lanishni miqdor jihatdan topish uchun Nyuton tajribalar o'tkazib, o'lchashlar olib bordi. Shu maqsadda u gorizontol stol ustida juda oz ishqalanish bilan harakatlanadigan aravachadan foydalandi (56- rasm). Aravachaga *D* dinamometr mahkamlangan bo'lib, dinamometrning ikkinchi uchiga *B* blokdan o'tkazilgan ipning bir uchi bog'langan. Ipning



56- rasm.

chig'iridanda oshib tushgan ikkinchi uchiga esa M pallacha osilgan. Aravachaga ta'sir etayotgan kuchni dinamometrnin ko'rsatishlariga qarab aniqlash mumkin. Aravachaning massasi shayinli tarozida o'lchanadi. Jism o'zgarmas kuch ta'sirida tekis tezlanuvchan harakat qiladi, shuning uchun aravachaning harakat vaqti t ni sekundomer, metronom vositasida bu vaqt oralig'ida uning bosib o'tgan yo'li s ni metrlar bilan o'lchab,

$$a = \frac{2s}{t^2}$$

formuladan qo'yilgan kuch ta'sirida aravachaning olgan tezlanishini hisoblab topish mumkin.

Nyuton o'z tajribalarida avval jism (aravacha)ning massasini o'zgarmas qilib oldi va unga har xil miqdordagi kuch (yuk) lar bilan ta'sir etib, jism (aravacha)ning olgan tezlanishini aniqladi. So'ng ta'sir etuvchi kuch (yuk)ni o'zgartirmay turib, jism (aravacha)ning massasini (aravacha ustiga turli yuklarni qo'yish yo'li bilan) o'zgartirgan holda tajribalar o'tkazdi. Ko'plab o'tkazilgan tajribalar asosida Nyuton quyidagi xulosalarga keldi:

1) *jism o'zgarmas kuch ta'sirida o'zgarmas tezlanish bilan harakatlanadi;*

2) *jismning massasi o'zgarmas bo'lganda uning tezlanishi ta'sir qiluvchi kuchga to'g'ri proporsional ravishda o'zgaradi, ya'ni*

$$a \sim F;$$

3) o'zgarmas kuch ta'sirida jismning olgan tezlanishi jism massasiga teskari proporsional ravishda o'zgaradi, ya'ni $a \sim \frac{1}{m}$.

Bu xulosalarni birlashtirib, Nyuton dinamikaning ikkinchi qonunini yaratdi:

Jism olgan tezlanish shu jismga ta'sir etuvchi kuchga to'g'ri proporsional va uning massasiga teskari proporsional. Bu qonunning matematik ifodasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$a = \frac{F}{m}. \quad (69)$$

Nyutonning o'zi dinamikaning ikkinchi qonunini quyidagicha ta'riflagan: „Harakat miqdorining o'zgarishi harakatlantiruvchi kuchga proporsional va shu kuch ta'siri yuz berayotgan to'g'ri chiziq yo'nalishi bo'yicha sodir bo'ladi.“ Bu yerda „harakat miqdori“ deganda „jism impulsi“ni tushunish lozim.

Kuch va tezlanish vektor kattalikdir, binobarin, tezlanishning yo'nalishi kuchning yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi. Shunga asosan (69) ifodani vektor ko'rinishda quyidagicha yozish mumkin:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}. \quad (70)$$

Bu munosabatni o'zgartirib yozamiz:

$$\vec{F} = m\vec{a}. \quad (71)$$

Demak, *jismga ta'sir etuvchi kuch shu jism massasi bilan uning shu kuch ta'sirida olgan tezlanishi ko'paytmasiga teng* bo'ladi. Biroq shuni qayd qilish kerakki, kuchning ta'siri faqatgina jismlar harakatining tezlanishida namoyon bo'lmaydi. Kuch ta'sirida jismlar, shuningdek, *deformatsiyalanishi* (shaklini o'zgartirishi) ham mumkin. Masalan, simga osilgan yuk simni cho'zadi. Deformatsiya miqdoriga qarab kuchning kattaligini aniqlash mumkin. Ma'lumki, kuchni prujinali dinamometr yordamida o'lchash shu hodisaga asoslangan.

Jismga hech qanday kuch ta'sir etmaganda Nyutonning birinchi qonuni ikkinchi qonunidan xususiy hol ko'rinishida kelib chiqadi. Haqiqatan ham, kuch nolga teng ($F = 0$) bo'lganda tezlanish ham

nolga teng ($a = 0$) bo'ldi, chunki jismlarning massasi hech qachon nolga teng bo'lmaydi ($m > 0$).

Dinamikaning birinchi va ikkinchi qonunlari buyuk bobokalonimiz Abu Ali ibn Sinoning fizikaga oid kitobida o'z aksini topganligini eslatib o'tamiz (2- § ga q.).

34- §. Massa, zichlik va kuchning birliklari

Massa asosiy fizik kattaliklardan biri bo'lib hisoblanadi. Massa birligi asosiy birliklardan biridir. Xalqaro kelishuvga muvofiq massa birligi qilib SI da kilogramm (kg) qabul qilinganligini eslatib o'tamiz (3- § ga q.).

Amalda massaning bu birligidan tashqari boshqa quyidagi birliklari

$$1 \text{ g (gramm)} = 10^{-3} \text{ kg};$$

$$1 \text{ mg (milligramm)} = 10^{-3} \text{ g} = 10^{-6} \text{ kg},$$

$$1 \text{ mkg (mikrogramm)} = 10^{-6} \text{ g} = 10^{-9} \text{ kg}$$

va sistemaga kirmagan birligi

$$1 \text{ t (tonna)} = 10^3 \text{ kg dan ham foydalaniladi.}$$

(68) formuladan foydalanib, modda zichligining birligini aniqlash mumkin: *zichlik birligi massa birligining hajm birligiga nisbatiga teng.*

SI da zichlik birligi qilib bir kub metr hajmdagi massasi bir kilogramm bo'lgan moddaning zichligi qabul qilingan. Ta'rifga asosan:

$$[\rho] = \frac{[m]}{[V]} = \frac{1 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Shuningdek, zichlikning

$$1 \frac{\text{g}}{\text{sm}^3}, \quad 1 \frac{\text{mg}}{\text{mm}^3}, \quad 1 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}, \quad 1 \frac{\text{T}}{\text{m}^3}$$

kabi birliklari ham qo'llaniladi. Bu birliklar orasidagi bog'lanish quyidagicha:

$$1 \frac{\text{g}}{\text{sm}^3} = \frac{10^{-3} \text{ kg}}{10^{-6} \text{ m}^3} = 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3};$$

$$1 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} = \frac{10^{-6} \text{kg}}{\text{m}^3} = 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3};$$

$$1 \frac{\text{mg}}{\text{mm}^3} = \frac{10^{-6} \text{kg}}{10^{-9} \text{m}^3} = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3};$$

$$1 \frac{\tau}{\text{m}^3} = \frac{10^3 \text{kg}}{\text{m}^3} = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Modda zichligi temperatura va bosimga bog‘liq ekanligini 32- § da qayd etib o‘tilgan edi. Shuning uchun jadvallarda, odatda, moddalarning normal sharoit ($1,013 \cdot 10^5$ Pa ga teng bosim va 0°C temperatura) dagi zichligi beriladi.

(71) formuladan foydalanib kuchning birligini aniqlash mumkin.

Kuch birligi qilib birlik massali jismga birlik tezlanish bera oladigan kuch qabul qilingan:

$$[F] = [m] \cdot [a].$$

SI da kuch birligi qilib nyuton (N) qabul qilingan. *1 kg massali jismga $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ tezlanish bera oladigan kuch 1 nyuton deyiladi:*

$$1\text{N} = 1\text{kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Amalda kuchning quyidagi birliklaridan ham foydalaniladi:

$$1 \text{ MN (meganyuton)} = 10^6 \text{ N};$$

$$1 \text{ kN (kilonyuton)} = 10^3 \text{ N};$$

$$1 \text{ mN (millinyuton)} = 10^{-3} \text{ N};$$

$$1 \mu\text{N (mikronyuton)} = 10^{-6} \text{ N}.$$

35- §. Kuchlar ta’sirining mustaqillik qonuni

Bizga ma’lumki, jism tinch holatdan erkin tushayotganda og‘irlik kuchi ta’sirida bo‘ladi va g tezlanish bilan tekis tezlanuvchan harakat qiladi. Jismning o‘tgan yo‘li

$$s = \frac{gt^2}{2}$$

formula bo‘yicha aniqlanadi.

Shu jismni biror v_0 boshlang'ich tezlik bilan tik pastga tashlab yuborsak, bu holda ham jism g tezlanish bilan tekis tezlanuvchan harakat qiladi va uning o'tgan yo'li (24) formula bo'yicha aniqlanar edi:

$$s = v_0 t + \frac{gt^2}{2}.$$

Bu formuladagi birinchi had $v_0 t$ jismning inersiya bo'yicha harakatidagi o'tgan yo'lini, ya'ni v_0 boshlang'ich tezlik bilan t vaqt ichidagi to'g'ri chizikli tekis harakatidagi o'tgan yo'lini bildiradi.

Ikkinchi had $\frac{gt^2}{2}$ esa jismning tinch holatdan erkin tushishdagi o'tgan yo'lini bildiradi.

Demak, *jismga kuch, masalan, og'irlik kuchi ta'sir qilsa, jismning tezlanishi uning nisbatan tinch holatda turishi yoki harakatda bo'lishiga bog'liq bo'lmaydi.*

Biroq jismga bir vaqtda bir necha kuch ta'sir qilishi mumkin. Masalan, samolyotga bir vaqtning o'zida motorning tortish kuchi, havoning qarshilik kuchi, og'irlik kuchi va qanotning ko'tarish kuchi ta'sir etadi. Tajribalardan ko'rinadiki, alohida olingan har bir kuch jism harakatda yoki tinch holatda bo'lishiga bog'liq bo'lmagan holda unga kattalik jihatidan ham, yo'nalishi jihatidan ham ma'lum bir tezlanish beradi. Haqiqatan, agar m massali jismga \vec{F}_1 kuch ta'sir etsa, uning olgan \vec{a}_1 tezlanishini Nyutonning ikkinchi qonunidan foydalanib hisoblab topish mumkin. Shu jismning o'ziga boshqa \vec{F}_2 kuch ta'sir etsa, uning olgan yangi \vec{a}_2 tezlanishini ham shu usul bilan topish mumkin. Endi shu jismga bir vaqtning o'zida bir xil yo'nalish bo'yicha \vec{F}_1 va \vec{F}_2 kuchlar ta'sir etsin. Bu holda tajriba jismning olgan tezlanishi \vec{a}_1 va \vec{a}_2 tezlanishlarning yig'indisiga teng bo'lishini ko'rsatadi. Agar \vec{F}_1 va \vec{F}_2 kuchlar qarama-qarshi tomonga yo'nalgan bo'lsa, tajriba jism katta kuch yo'nalgan tomonga qarab \vec{a}_1 va \vec{a}_2 tezlanishlar farqiga teng tezlanish bilan harakatlanishini ko'rsatadi.

Demak, har bir kuch, bir o'zi yoki boshqa kuchlar bilan birgalikda ta'sir etishidan qat'iy nazar, o'zining ta'sir yo'nalishi bo'yicha tezlanish beradi, deb ayta olamiz.

Bu holat kuchlar ta'sirining mustaqillik qonuni deb ataladi va quyidagicha ta'riflanadi:

Agar jismga bir necha kuch ta'sir etayotgan bo'lsa, har bir kuch boshqa kuchlar bilan birga yoki yakka o'zi ta'sir qilayotganidan qat'iy nazar jismga hamma vaqt bir xil tezlanish beradi.

36- §. Jism impuls. Kuch impuls

Nyutonning ikkinchi qonunidan foydalanib, vaqtning ayni payti uchun jismning harakatlantiruvchi kuchi, massasi va tezlanishi qiymatlarini aniqlash mumkin. Biroq ko'p hollarda bu kattaliklarni vaqtning oldindan berilgan ixtiyoriy payti uchun aniqlash kerak bo'ladi. Bunday hisoblashlarda *jism impuls* va *kuch impuls* deb ataladigan fizik kattaliklar orasidagi bog'lanishdan foydalaniladi.

Jism impuls deb, jism massasining uning tezligiga ko'paytmasi bilan ifodalangan $m\vec{v}$ vektor kattalikka aytiladi.

Kuch impuls deb, jismga ta'sir etayotgan kuchning shu kuch ta'sir etgan vaqt oralig'i qiymatiga ko'paytmasi bilan ifodalangan $\vec{F}\Delta t$ vektor kattalikka aytiladi.

Jism impuls bilan kuch impuls orasidagi bog'lanishni aniqlaylik.

Biror \vec{v}_0 boshlang'ich tezlik bilan harakatlanayotgan m massali jismga Δt vaqt oralig'ida o'zgarmas \vec{F} kuch ta'sir etayotgan bo'lsin. Bu kuch jismga doimiy \vec{a} tezlanish beradi va natijada jism \vec{v} tezlikka erishadi. Tezlanishning ta'rifi ko'ra

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}$$

ekanini nazarga olib, Nyutonning ikkinchi qonunini ifodalaydigan (71) formulani quyidagicha o'zgartirib yozamiz:

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t} = \frac{m\vec{v} - m\vec{v}_0}{\Delta t}. \quad (72)$$

Bundan

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m\vec{v} - m\vec{v}_0. \quad (73)$$

Bu ifodadan $\bar{F}\Delta t$ — kuch impulsini, $m\bar{v}_0$ va $m\bar{v}$ — mos ravishda kuch ta'sir etmasdan avvalgi va ta'sir oxiridagi jism impulsini. (73) formuladan ko'rinadiki, jism impulsining o'zgarishi bilan kuch impulsini bir xil yo'nalishga ega ekan. Bu formula *impulsning o'zgarishi qonunini* ifodalaydi.

Jism impulsining o'zgarishi kuch impulsiga teng. (72) ifodaga asosan, *vaqt birligida jism impulsining o'zgarishi shu jismga ta'sir etayotgan kuchga teng.*

Demak, jismning boshlang'ich va oxirgi tezliklarini hamda massasini o'lchab, unga ta'sir etayotgan kuch kattaligini hisoblab topish mumkin.

Impuls birligi qilib, birlik massali jismning birlik tezlik bilan harakatlantira oladigan jism impulsini qabul qilingan, ya'ni

$$[mv] = [m] \cdot [v].$$

SI da jism impulsining birligi

$$[mv] = 1\text{kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Kuch impulsining birligi qilib, vaqt birligida bir birlik kuchning jismga beradigan impulsini qabul qilingan, ya'ni

$$[F \cdot \Delta t] = [F] \cdot [\Delta t].$$

SI da kuch impulsining birligi

$$[F \cdot \Delta t] = 1\text{N} \cdot 1\text{s} = 1\text{N} \cdot \text{s}.$$

(72) formulaga binoan

$$1\text{N} = \frac{1\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1\text{s}}$$

deb yoza olamiz. Demak, bir nyuton jismning impulsini bir sekunda $1\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$ o'zgartiradigan kuchga teng ekan, degan xulosaga kelamiz.

37- §. Nyutonning uchinchi qonuni

Kuch tushunchasining ta'rifidan (30- § ga q.) o'zaro ta'sir qilayotgan jismlar teng huquqli ekanligi kelib chiqadi, faqat ta'sir etuvchi yoki faqat ta'sirga duch keluvchi jismlar bo'lmaydi. Hamma vaqt jismlarning o'zaro ta'siri mavjud. Masalan, muz ustida konkida turib, chanani itarib yuboraylik. Chana oldinga siljiganda biz shu vaqtda orqaga sirpanib ketamiz. Darvoza ustuni (shtanga)ga tekkan futbol to'pining harakatini kuzataylik. To'p ustunga urilgandan so'ng orqaga sapchib ketadi. Binobarin, urilish paytida faqat to'p ustunga ta'sir etmasdan, balki ustun ham to'pga aks ta'sir etadi. Jismlarning o'zaro ta'sirini namoyon qiluvchi shunga o'xshash misollarni juda ko'plab keltirish mumkin. O'zaro ta'sirlashayotgan jismlarga qo'yilgan kuchlar orasidagi munosabatlarni Nyuton o'rganib, *bir jismning ikkinchi jismga har qanday ta'siri ikkinchi jismning birinchi jismga ko'rsatadigan teng va qarama-qarshi yo'nalishdagi ta'siri bilan mos keladi*, degan xulosaga keladi. Boshqacha qilib aytganda, *o'zaro ta'sirlashuvchi ikki jism bir-biriga kattalik jihatdan teng va yo'nalishi jihatdan qarama-qarshi bo'lgan kuchlar bilan ta'sir qiladi*, ya'ni

$$\vec{F}_1 = - \vec{F}_2, \quad (74)$$

bu yerda \vec{F}_1 — ikkinchi jismning birinchi jismga ta'sir kuchi, \vec{F}_2 — birinchi jismning ikkinchi jismga ta'sir kuchi.

(74) formula Nyutonning uchinchi qonunini ifodalaydi. Bu qonun *ta'sir va aks ta'sir qonuni* deb ham yuritiladi.

Ta'sir va aks ta'sir kuchlarining jismlarga beradigan tezlanishlari ham qarama-qarshi tomonga yo'nalgan bo'ladi. Bundan shu narsa kelib chiqadiki, ikki jismning faqat bir-biriga o'zaro ta'sirining o'zi ikkala jismni bir yo'nalishda harakatlantira olmaydi, o'zaro ta'sir qilayotgan ikki jism bir yo'nalishda harakatga kelishi uchun ular (yoki ulardan biri) biror uchinchi jism bilan o'zaro ta'sirlashishi kerak. Masalan, elektrovoz vagonlar bilan o'zaro ta'sirlashishi tufayli emas, balki o'zining rels (tayanch) bilan o'zaro ta'siridan yuzaga keladigan ishqalanish kuchlari (41- § ga q.) tufayli vagonlarni tortadi.

Shuni ta'kidlab o'tish kerakki, jismlarning o'zaro ta'sirida yuzaga keladigan kuchlar boshqa-boshqa jismlarga qo'yilgan bo'lgani uchun ular bir-birini muvozanatlay olmaydi, chunki bir jismga qo'yilgan kuchlarga muvozanatlasha oladi.



Takrorlash uchun savollar

1. Kuch deb nimaga aytiladi? Mexanikada qanday kuchlar bilan ish ko'riladi?
2. Nyutonning birinchi qonunini ta'riflang.
3. Nima uchun Nyutonning birinchi qonunini bevosita tekshirib ko'rish mumkin emas?
4. Inersiya deb nimaga aytiladi? Turmushda va texnikada inersiya hodisasi yuz berishiga misollar keltiring.
5. Jismning massasi deb nimaga aytiladi?
6. Ikkita jism massasini o'zaro qanday taqqoslash mumkin? Ularning qaysi biri inertroq?
7. Moddaning zichligi deb nimaga aytiladi? Zichlik qanday aniqlanadi?
8. Massa, kuch va zichlikning SI dagi va boshqa birliklarini aytib bering.
9. Nyutonning ikkinchi qonunini ta'riflab bering. Tajribada bu qonunni qanday tekshirish mumkin?
10. O'zgarmas kuch ta'sirida jism qanday harakat qilishi mumkin? Fikringizni asoslab bering.
11. $\frac{F_1}{F_2} = \frac{a_1}{a_2}$, $\frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1}{m_2}$ ba $\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$ munosabatlar qanday hollarda to'g'ri bo'ladi?
12. Kuchlar ta'sirining mustaqillik qonunining fizik mohiyati nimadan iborat?
13. Jism impulsi deb nimaga aytiladi? Kuch impulsi deb-chi? Ularning SI dagi birliklarini aytib bering.
14. Jism impulsining o'zgarish qonuni qanday ta'riflanadi?
15. Nyutonning uchinchi qonunining mohiyati nimadan iborat? Misollar keltiring.
16. Nima uchun jismlarning o'zaro ta'siridan yuzaga keladigan kuchlar bir-birini muvozanatlamaydi?



Masala yechish namunalari

1- masala. Oltin qotishmasining tarkibida 85% oltin va 15 % mis bor. Qotishmaning zichligini toping.

$$\text{Berilgan: } \frac{m_1}{m} = 85\% = 0,85; \quad \frac{m_2}{m} = 15\% = 0,15; \quad \rho_1 = 19,3 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3};$$

$$\rho_2 = 8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Topish kerak: ρ — ?

Yechilishi. Qotishmaning massasi m , hajmi V bo'lsa, u holda uning zichligi

$$\rho = \frac{m}{V}$$

formuladan aniqlanadi. Qotishmaning hajmi $V = V_1 + V_2$ yig'indiga teng, bu yerda V_1 — oltinning, V_2 — esa misning hajmi. Zichlik formulasiga ko'ra

$$V_1 = \frac{m_1}{\rho_1} \quad \text{va} \quad V_2 = \frac{m_2}{\rho_2}$$

bo'ladi, bunda ρ_1 va ρ_2 — mos ravishda oltin va misning zichligi, ularning son qiymatlari jadvaldan olinadi.

Demak, qotishmaning hajmi

$$V = \frac{m_1}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2} = \frac{0,85m}{\rho_1} + \frac{0,15m}{\rho_2}$$

ifodaga ega bo'ladi. V ning bu qiymatini qotishma zichligining ifodasiga qo'y sak, u quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\rho = \frac{m}{0,85 \frac{m}{\rho_1} + 0,15 \frac{m}{\rho_2}} = \frac{\rho_1 \rho_2}{0,85 \rho_2 + 0,15 \rho_1}.$$

Hisoblash:

$$\rho = \frac{19,3 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{(0,85 \cdot 8,9 \cdot 10^3 + 0,15 \cdot 19,3 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 16,4 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

2- masala. Ikkita sharchaning o‘zaro ta’sir qilishi natijasida ulardan birining tezligi $10 \frac{\text{sm}}{\text{s}}$ ga, ikkinchisini $25 \frac{\text{sm}}{\text{s}}$ ga o‘zgaradi. Sharchalardan qaysi birining massasi kattaroq va necha marta?

$$\text{Berilgan: } \Delta v_1 = 10 \frac{\text{sm}}{\text{s}} = 0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}; \quad \Delta v_2 = 25 \frac{\text{sm}}{\text{s}} = 0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

$$\text{Topish kerak: } \frac{m_1}{m_2} - ?$$

Yechilishi. Inersiya qonuniga asosan, jismlarning o‘zaro ta’sir qilishida massasi kattaroq bo‘lgan jismning tezligi kamroq o‘zgaradi va, aksincha, massasi kichikroq bo‘lgan jismning tezligi esa ko‘proq o‘zgaradi. Masalaning shartiga binoan, birinchi sharchaning massasi ikkinchi sharchaning massasidan kattaroq bo‘ladi. Inersiya qonunidan yana shu narsa kelib chiqadiki, ta’sirlashayotgan jismlar massalarining nisbati ular tezliklarining o‘zgarishi nisbatiga teskari proporsional bo‘ladi. Shuning uchun

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\Delta v_2}{\Delta v_1}$$

deb yozish mumkin. Bundan $m_1 = \frac{\Delta v_2}{\Delta v_1} \cdot m_2$ bo‘ladi.

$$\text{Hisoblash: } m_1 = \frac{0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}} m_2 = 2,5 m_2; \quad m_1 > m_2.$$

3- masala. 2 mN kuch tinch turgan 10 g massali jismga ta’sir qilib, uni to‘g‘ri chiziqli tekis tezlanuvchan harakatga keltirdi. 5 sekunddan keyin jism qanday tezlikka erishgan va bu vaqt ichida jism qancha yo‘l o‘tgan?

$$\text{Berilgan: } v_0 = 0; \quad F = 2 \text{ mN} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ N}, \quad m = 10 \text{ g} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ kg}; \quad t = 5 \text{ s}.$$

$$\text{Topish kerak: } v - ? \quad s - ?$$

Yechilishi. Masalaning shartiga ko‘ra, jism boshlang‘ich tezliksiz tekis tezlanuvchan harakat qiladi. Shuning uchun jismning t vaqtning oxirida erishgan tezligi $v = at$ bo‘ladi, bu yerda a — jismning kuch ta’sirida olgan tezlanishi. Tezlanishning qiymatini Nyutonning ikkinchi qonuniga muvofiq topsak,

$$a = \frac{F}{m}$$

va jismning tezligi $v = \frac{F}{m} t$ bo‘ladi.

Jismning t vaqtida oʻtgan yoʻli esa

$$s = \frac{at^2}{2} = \frac{Ft^2}{2m}$$

formuladan aniqlanadi.

Hisoblash: $v = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ N}}{1 \cdot 10^{-2} \text{ kg}} \cdot 5 \text{ s} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

$$s = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ N}}{2 \cdot 1 \cdot 10^{-2} \text{ kg}} \cdot 25 \text{ s}^2 = 2,5 \text{ m}.$$

4- masala. Arqonga osilgan, ogʻirligi 100N boʻlgan yukka gorizontal yoʻnalishda 60N kuch bilan taʼsir etiladi. Arqonning taranglik kuchini va uning gorizontga nisbatan yoʻnalishini toping.

Berilgan: $F_1 = 100\text{N}$, $F_2 = 60\text{N}$.

Topish kerak: F_T — ? α — ?

Yechilishi. Vektorlarni parallelogramm qoidasiga asosan qoʻshish usulidan foydalanib, \vec{F}_1 va \vec{F}_2 kuchlarning teng taʼsir etuvchisi \vec{F} ni yasaymiz (57- rasm). Bu kuch taʼsirida ip tarang tortiladi va ipning \vec{F}_T taranglik kuchi yuzaga keladi. Rasmdan koʻrinishicha, F_T taranglik kuchi (Nyutonning uchinchi qonuniga muvofiq) son qiymati jihatidan \vec{F} teng taʼsir etuvchi kuchga teng va qarama-qarshi yoʻnalgan. Binobarin,

$$\vec{F} = -\vec{F}_T = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad \text{yoki} \quad F_T = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}.$$

\vec{F}_T ning gorizontga nisbatan yoʻnalishi

$$\text{tg}\alpha = \frac{F_1}{F_2}$$

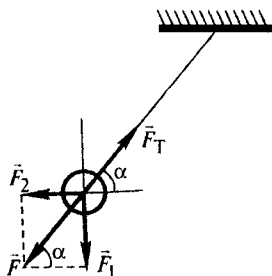
munosabatdan aniqlanadi.

Hisoblash:

$$F_T = \sqrt{(10\,000 + 3\,600)\text{N}^2} \approx 117\text{N},$$

$$\text{tg}\alpha = \frac{100\text{N}}{60\text{N}} = 1,667; \quad \alpha = 59^\circ.$$

5- masala. $200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan harakatlantiruvchi 10 g massali oʻq taxtaga kelib tegib,



57- rasm

4 sm ichkari kirgan. O'qning taxta ichidagi harakatini tekis sekinlanuvchan deb hisoblab taxtaning o'rtacha qarshilik kuchi va o'qning taxta ichidagi harakat vaqti topilsin.

$$\text{Berilgan: } v_0 = 200 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad m = 10\text{g} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ kg}, \quad s = 4 \text{ sm} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}, \\ v = 0.$$

Topish kerak: F — ? t — ?

Yechilishi. Nyutonning ikkinchi qonuniga muvofiq, taxtaning qarshilik kuchi

$$F = ma$$

formuladan aniqlanadi, bunda a — o'qning tezlanishi masalaning shartiga ko'ra harakat yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalgan. Tekis o'zgaruvchan harakatning yo'l formulasi

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$

dan o'qning tezlanishi quyidagiga teng:

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2s}$$

Tezlanishning bu qiymatini kuch formulasiga keltirib qo'ysak,

$$F = m \frac{v^2 - v_0^2}{2s}$$

munosabat hosil bo'ladi.

O'qning taxta ichidagi harakat vaqti taxta qarshilik kuchining ta'sir vaqtiga tengdir. Shuning uchun impulsning o'zgarish qonuni

$$F \cdot t = mv - mv_0$$

dan bu vaqtning qiymati

$$t = \frac{mv - mv_0}{F} = \frac{m(v - v_0)}{F}$$

bo'ladi. Bu ifodaga kuchning yuqoridagi ifodasini keltirib qo'ysak, u holda

$$t = \frac{2s}{v + v_0}$$

munosabatdan kuchning ta'sir vaqtini hisoblab topish mumkin.

Hisoblash:

$$F = \frac{10^{-2} \text{ kg} \cdot 4 \cdot 10^4 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = 5 \cdot 10^3 \text{ N.}$$

$$t = \frac{2 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{2 \cdot 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ s.}$$

6- masala. Tinch turgan 2 kg massali jismga 1 N va 2 N ga teng ikki kuch o'zaro 60° burchak hosil qilib ta'sir etmoqda. Jism qanday tezlanish bilan harakatlanadi va harakat boshlangandan keyin o'tgan 3 sekund ichida qancha masofaga siljiydi?

Berilgan: $v_0 = 0$, $F_1 = 1\text{N}$, $F_2 = 2\text{N}$, $m = 2\text{kg}$, $\alpha = 60^\circ$, $t = 3\text{s}$.

Topish kerak: a —? s —?

Yechilishi. Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan jismning tezlanishi

$$a = \frac{F}{m}$$

bo'ladi, bunda F — jismga ta'sir etuvchi kuchlarning teng ta'sir etuvchisidir, binobarin, $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ bo'ladi (58- rasm). F_1 va F_2 kuchlar orasidagi burchak 90° dan kichik ekanligini e'tiborga olib, kosinus teoremasiga ko'ra

$$F^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha$$

deb yoza olamiz. Bundan F ning qiymatini tezlanish ifodasiga keltirib qo'ysak, u holda tezlanishni

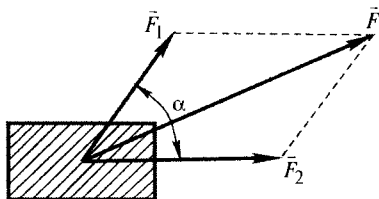
$$a = \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha}}{m}$$

formuladan hisoblab topish mumkin bo'ladi.

O'zgarmas kuch ta'sirida jism tekis o'zgaruvchan harakat qiladi. Shuning uchun boshlang'ich tezliksiz tekis tezlanuvchan harakatda yo'l formulasi

$$s = \frac{at^2}{2}$$

dan foydalanib, jismning t vaqt ichida o'tgan yo'lini hisoblab topish mumkin.



58- rasm.

Hisoblash:

$$a = \frac{\sqrt{1N^2 + 4N^2 + 2 \cdot 1N \cdot 2N \cdot \cos 60^\circ}}{2\text{kg}} = 1,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2},$$

$$s = \frac{1,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 9\text{s}^2}{2} = 5,85\text{m}.$$



Mustaqil yechish uchun masalalar

22. 3 l kerosinning massasi 2,4 kg. Kerosinning zichligini hisoblang.

23. Radiuslari 2 sm dan bo'lgan po'lat va aluminiy sharlarning massasini toping. Po'latning zichligi $7,8 \frac{\text{g}}{\text{sm}^3}$ ga, aluminiyning zichligi esa $2,7 \frac{\text{g}}{\text{sm}^3}$ ga teng.

24. Ko'ndalang kesim yuzi 3 mm^2 bo'lgan mis sim o'ramning massasi 1,78 kg. Simning uzunligini toping. Misning zichligi $8,9 \frac{\text{g}}{\text{sm}^3}$ ga teng.

25. 64% temirdan va 36% nikeldan tarkib topgan qotishma invar deb ataladi. Invarning zichligini toping. Temirning zichligi $7,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ga, nikelning zichligi esa $8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ga teng.

26. 100N kuchni MN, kN, mN larda ifodalang.

27. 30 N kuch jismga $40 \frac{\text{sm}}{\text{s}^2}$ tezlanish beradi. Bu jismga qanday kuch $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ tezlanish bera oladi?

28. Massasi 2 t bo'lgan avtomobil joyidan qo'zg'alib, 10 sekunda 100 m yo'l o'tdi. Tortish kuchini toping.

29. 49 N kuch ta'sirida jismning tezligi 10 sekund davomida $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ga o'zgargan bo'lsa, uning massasi qancha bo'lgan?

30. Odam tinch turgan qayiqqa $5 \frac{\text{sm}}{\text{s}}$ tezlik bilan sakrasa, bunda qayiq $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlikda orqaga ketadi. Qayiqning massasi odam massasidan necha marta katta?

31. Massasi 600 g bo'lgan aravacha ikkinchi aravacha bilan to'qnashdi. Agar to'qnashish natijasida ikkinchi aravacha tezligining o'zgarishi birinchi aravacha tezligining o'zgarishiga qaraganda 3 marta ortiq bo'lsa, ikkinchi aravachaning massasini aniqlang.

32. Massasi 5 kg bo'lgan miltiqdan massasi 10 g bo'lgan o'q $600 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlikda uchib chiqdi. Tepki tufayli miltiq qanday tezlik oladi?

33. Massasi $2 \cdot 10^6$ kg bo'lgan poyezd to'g'ri chiziqli harakatlanib, 1 minut 40 sekundda tezligini $36 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ dan $72 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ gacha oshirdi. Tortish kuchini va impulsning o'zgarishini toping.

34. Massasi $5 \cdot 10^3$ t bo'lgan poyezd $36 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ tezlik bilan harakatlanmoqda. Agar tormozlanish kuchi $2,5 \cdot 10^5$ N ga teng bo'lsa, tormozlangandan keyin bir minut ichida poyezd qanday masofani o'tadi?

38- §. Og'irlik kuchi va jismning og'irligi

Erkin tushishda hamma jismlar tekis tezlanuvchan harakat qiladi, binobarin, ularga kuch ta'sir qiladi. Bu kuch jismlarning Yerga tortilish kuchi bo'lib, uni *og'irlik (gravitatsiya) kuchi* deb ataladi. Og'irlik kuchi, odatda, P harfi bilan belgilanadi. Dinamikaning ikkinchi qonunidan foydalanib, og'irlik kuchini hisoblash mumkin. Buning uchun (71) formulada a ni erkin tushish tezlanishi g bilan, F ni og'irlik kuchi P bilan almashtiramiz, u holda jismga ta'sir etayotgan og'irlik kuchini hisoblash uchun quyidagi formulani yoza olamiz:

$$\vec{P} = m\vec{g}. \quad (75)$$

Fizikada og'irlik kuchi tushunchasidan tashqari *jismlarning og'irligi* tushunchasi ham ishlatiladi.

Jismning Yerga tortilishi tufayli tayanchga yoki osmaga ko'rsatadigan ta'sir kuchi og'irlik deb ataladi.

Shuni aytib o'tish kerakki, og'irlik va og'irlik kuchi hamma vaqt boshqa-boshqa jismga qo'yilgan: og'irlik kuchi jismga, og'irlik esa tayanch (taglik, osma va hokazolar)ga qo'yilgan. Shu sababli jism tayanchga tekkandagina og'irlik namoyon bo'ladi. Jismning og'irligini ham P harfi bilan belgilash qabul qilingan.

Tayanch yoki osma Yerga nisbatan faqat tinch turganda yoki to'g'ri chiziqli tekis harakat qilganda jismning og'irligi (Nyutonning uchinchi qonuniga binoan) og'irlik kuchiga teng bo'ladi.

Og'irlik jismning Yer sirtidan balandligiga va jism turgan joyning geografik kengligiga bog'liq bo'ladi (47-, 48- § larga q.).

Ikki turli jismning og'irligini (75) formula yordamida

$$P_1 = m_1 g, \quad P_2 = m_2 g$$

ko'rinishda yozish mumkin. Birinchi tenglikni ikkinchisiga hadma-had bo'lib, quyidagi nisbatni hosil qilamiz:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{m_1}{m_2},$$

ya'ni *Yer sirtining berilgan nuqtasidagi jismlarning og'irligi ularning massasiga to'g'ri proporsional ekan.*

2- § da qayd etilganidek, buyuk alloma Abu Rayhon Beruniy o'zining ilmiy kuzatishlari natijasida dengiz va okean suvlari sirtining sferik shaklda bo'lishiga og'irlik kuchi sabab degan xulosaga keladi. Yerning o'zi sharsimon, ya'ni sharga yaqin shaklda, og'irlik kuchi hamma tomondan Yerning markaziga tortilib turadi. Okean va dengiz suvlarining og'irlik kuchi tufayli Yerning markaziga tortilib turishi natijasida ularning sirti ham sferik shaklda bo'ladi, degan fikrni bildirgan.

39- §. Elastiklik kuchi. Guk qonuni

Tashqi kuch ta'sirida jism shaklining yoki hajmining o'zgarishi deformatsiya deb ataladi. Jism tashqi kuch ta'sirida bo'lmaganda uning zarralari (atom yoki molekulari) orasida o'zaro ta'sir kuchlari — itarishish va tortishish kuchlari bir-birini muvozanatlab turadi. Agar jismga tashqi kuch ta'sir ko'rsatsa, u holda jism deformatsiyalanadi, zarralari bir-biriga nisbatan siljiydi, ular orasidagi masofa o'zgaradi, natijada o'zaro ta'sir kuchlarining muvozanati buziladi. Zarralar bir-biridan uzoqlashganda tortishish kuchlari itarishish kuchlaridan ustunlik qiladi, aksincha, zarralar bir-biriga yaqinlashganda itarishish kuchlari tortishish

kuchlaridan ustunlik qiladi. Oqibatda jismning har bir kesimida noldan farqli natijaviy ichki kuchlar paydo bo'ladi. Bunday ichki kuchlarning yig'indisi, Nyutonning uchinchi qonuniga ko'ra, tashqi kuchga, jismni deformatsiyalovchi kuchga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Bu kuch *elastiklik kuchi* deb ataladi. Elastiklik kuchi deformatsiyalangan jismni avvalgi holatiga qaytarishga harakat qiladi. Masalan, po'lat prujinaning bir uchini mahkamlab, ikkinchi uchidan tortsak, prujina cho'ziladi (deformatsiyalanadi) va unda elastiklik kuchi yuzaga keladi. Prujinani qo'yib yuborsak, bu kuch ta'sirida u avvalgi holatiga qaytadi.

Shunday qilib, deformatsiyalangan jismda elastiklik kuchi jism zarralari orasidagi o'zaro ta'siridan yuzaga keladi va o'z tabiati bilan elektromagnit kuch hisoblanadi.

Jismning deformatsiyasi uning moddasi turiga va qo'yilgan kuchga bog'liq bo'ladi.

Tashqi kuchning ta'siri to'xtashi bilan deformatsiya yo'qolib, jism o'zining dastlabki holatiga to'la qaytsa, bunday deformatsiya elastik deformatsiya deyiladi.

Jismga tashqi ta'sir to'xtatilgandan so'ng deformatsiya butunlay yo'qolmasa va jism o'zining dastlabki holatiga to'la qaytmasa, bunday deformatsiya plastik deformatsiya deyiladi.

Elastiklik kuchining kattaligini quyidagicha aniqlash mumkin.

Faraz qilaylik, jismga uni deformatsiyalovchi tashqi kuch qo'yilgan bo'lsin. U holda jismda tashqi kuchga qarshi yo'nalgan elastiklik kuchi paydo bo'ladi. Bu kuchning kattaligi tashqi kuchga tenglashguncha ortib boradi. Elastiklik kuchi tashqi kuch bilan muvozanatlashgan (tenglashgan) paytda jismning deformatsiyasi tayinli bir qiymatga erishadi va boshqa o'zgarmaydi. Binobarin, barqarorlashgan deformatsiyada tashqi kuchning kattaligini o'lchab, elastiklik kuchining kattaligini aniqlash mumkin.

Deformatsiyalangan jismning holati *mexanik kuchlanish* (*qisqacha kuchlanish*) deb ataladigan fizik kattalik bilan tavsiflanadi.

Kuchlanish deb jism ko'ndalang kesimining bir birlik yuzasiga ta'sir etuvchi elastiklik kuchi bilan o'lchanadigan kattalikka aytiladi. Demak,

$$p = \frac{F_{el}}{S}, \quad (76)$$

bu yerda F_{el} — elastiklik kuchi, S — jismning ko'ndalang kesimi yuzi, p — kuchlanish.

Jism sirtining bir-birlik yuzasiga perpendikular yo'nalishda ta'sir etuvchi tashqi kuch bilan o'lchanadigan kattalik zo'riqish deyiladi.

Yuqoridagi ta'riflardan ko'rinadiki, SI da kuchlanish ham, zo'riqish ham $\frac{N}{m^2}$ birligida o'lchanadi.

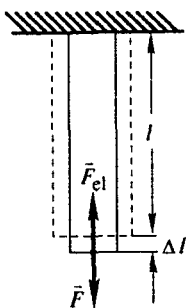
Deformatsiyaning cho'zilish (siqilish), siljish, egilish va buralish kabi ko'rinishlari mavjud. Deformatsiyaning barcha ko'rinishlarida uni *deformatsiya kattaligi* deb ataladigan kattalik bilan tavsiflanadi. Deformatsiya kattaligi ϵ turli deformatsiyalar uchun turlicha ifodalanadi. Masalan, cho'zilish (siqilish) deformatsiyasi uchun deformatsiya kattaligi sifatida jism uzunligining nisbiy uzayishi, har tomonlama cho'zilish va siqilishda — hajmning nisbiy o'zgarishi, siljish deformatsiyasida — siljish burchagi kabi kattaliklar olinadi.

1660- yilda ingliz fizigi R.Guk juda ko'p o'lchashlar asosida elastik deformatsiya sohasida ϵ deformatsiya kattaligi bilan p kuchlanish orasidagi bog'lanishni aniqladi va o'zining nomi bilan ataladigan *Guk qonunini* yaratdi. U shunday ta'riflanadi:

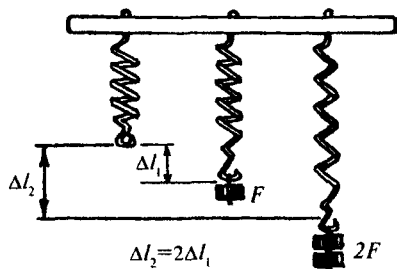
Elastik deformatsiyalangan jismda yuzaga keladigan kuchlanish deformatsiya kattaligiga to'g'ri proporsional bo'ladi. Ya'ni

$$p = K\epsilon, \quad (77)$$

bu yerda K — proporsionallik koeffitsienti *elastiklik moduli* deb ataladigan fizik kattalik bo'lib, u qattiq jism elastik xossalari asosiy xarakteristikalaridan biri hisoblanadi. Cho'zilish (siqilish) deformatsiyasi, ya'ni bo'ylama deformatsiya uchun K elastiklik moduli *Yung moduli* deb ataladi va E harfi bilan belgilanadi. Yung moduli jism moddasining elastik cho'zilish (siqilish) deformatsiyasiga qarshilik ko'rsatish qobiliyatini ifodalaydi va jismning o'lchamlariga bog'liq emas. Siljish deformatsiyasi uchun K elastiklik moduli *siljish moduli* deb ataladi va G harfi bilan belgilanadi. Siljish moduli ham jism moddasiga bog'liq bo'lib,



59- a rasm.



59- b rasm.

uning o'lchamlariga bog'liq emas. Odatda moddalarning Yung va siljish modullarining qiymati jadvallarda beriladi.

Elastiklik moduliga teskari bo'lgan kattalik $\alpha = \frac{1}{K}$ *elastiklik koeffitsienti* deb ataladi.

Quyida ba'zi elastik deformatsiyalar uchun Guk qonunining ko'rinishini aniqlaymiz.

1. **Cho'zilish (yoki siqilish).** Uzunligi l bo'lgan va o'zgarmas kesimli silindrsimon sterjen olaylik. Uning bir uchi mahkamlangan va ikkinchi uchiga sterjen o'qiga parallel yo'nalgan \bar{F} deformatsiyalovchi kuch ta'sir etayotgan bo'lsin (59- a rasm). Kuch ta'sirida sterjen Δl kattalikka cho'ziladi va unda \bar{F}_{el} elastiklik kuchi hosil bo'ladi. Δl kattalik *absolyut uzayish* deb ataladi. Tajribalarning ko'rsatishicha, Δl uzayish deformatsiyalovchi kuchga va sterjenning dastlabki l uzunligiga bog'liq bo'ladi. Shu sababli Δl uzayish deformatsiyani tavsiflovchi kattalik sifatida

qabul qilinishi mumkin emas. Deformatsiya kattaligi sifatida $\frac{\Delta l}{l}$ nisbatni olish lozim, chunki endi bu nisbat l uzunlikka bog'liq bo'lmaydi. $\frac{\Delta l}{l}$ nisbat *nisbiy uzayish* (ya'ni sterjenning bir birlik uzunligiga to'g'ri kelgan absolyut uzayish) deb ataladi. Demak, cho'zilish (siqilish) deformatsiyasi uchun $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$ va $K = E$ ekanligidan Guk qonuni quyidagicha ifodalanadi:

$$p = E \cdot \frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\Delta l}{l}. \quad (78)$$

Bu formuladan $p=1$ bo'lganda $\frac{\Delta l}{l} = \alpha$ ekanligi ko'rinib turibdi. Demak, *elastiklik koeffitsienti son jihatidan sterjenning birga teng bo'lgan kuchlanishdagi nisbiy uzayishiga teng ekan.*

SI da E Yung modulining birligi

$$[E] = \frac{[p]}{\left[\frac{\Delta l}{l}\right]} = \frac{N}{m^2}$$

ga teng ekan, ya'ni kuchlanish birligi kabi ekan.

2. Elastik prujinaning deformatsiyasi. Elastik prujinaning tashqi kuch ta'sirida deformatsiyalanishi 59- b rasmda tasvirlangan. Bu holda ham prujinaning cho'zilishi Δl ta'sir etuvchi kuchga bog'liq. Rasmdan, deformatsiyalovchi F kuchning qiymati ikki marta ortganda prujinaning cho'zilishi ham ikki marta ortganligi ko'rinib turibdi. Elastik deformatsiyalangan prujina uchun Guk qonuni

$$F_{cl} = k \cdot \Delta l \quad (79)$$

ko'rinishga ega, ya'ni *elastik deformatsiyalangan prujinada yuzaga kelgan elastiklik kuchi prujinaning absolyut uzayishiga to'g'ri proporsional bo'ladi.* Bu formulada k — prujinaning *bikrligi* deb ataladigan kattalik. Δl bir birlikka teng bo'lganda F_{cl} kuch k ga teng bo'ladi. Demak, *prujinaning bikrligi son jihatdan prujinaning bir birlik uzunlik qadar deformatsiyalanishida vujudga keladigan elastiklik kuchiga teng ekan.*

SI da bikrlikning birligi:

$$[k] = \frac{[F_{cl}]}{[\Delta l]} = \frac{N}{m}$$

(79) formuladan ko'rinadiki, elastik deformatsiyada deformatsiya jismga qo'yilgan kuchning ta'siri bilan bir tekis o'zgarib boradi, ya'ni elastiklik kuchi bilan deformatsiya o'zaro chiziqli bog'lanishda.

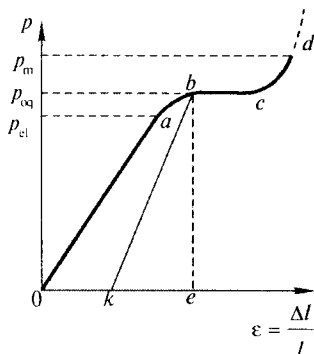
40- §. Kuchlanishning deformatsiyaga bog'liqligi

Jismning deformatsiyalanish jarayonini tajriba ma'lumotlari asosida chizilgan diagrammadan foydalanib batafsilroq ko'rib chiqaylik. Diagramma ϵ deformatsiya kattaligi bilan p kuchlanish

orasidagi bog‘lanishni ifodalaydigan egri chiziq bo‘lib, *kuchlanish diagrammasi* deb ataladi. Umuman olganda, diagrammaning ko‘rinishi har bir berilgan jism moddasining tabiatiga, jismning ishlanish sifatiga va shuningdek, kuchlarning ta‘sir qilish muddatiga bog‘liq bo‘ladi. Kuchlanish diagrammasini olish uchun absissalar o‘qi bo‘yicha ε deformatsiya kattaligining, ordinatalar o‘qi bo‘yicha p kuchlanishning qiymatlarini qo‘yib, hosil qilingan nuqtalarni o‘zaro tutashtirish lozim. Aniq bo‘lsin uchun, masalan, bir tomonlama cho‘zilish deformatsiyasini olaylik. 60- rasmda temir sterjenning kuchlanish diagrammasi

tasvirlangan, bunda $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ sterjenning nisbiy uzayishi. Tashqi kuchning uncha katta bo‘lmagan qiymatlarida, ya’ni diagrammaning to‘g‘ri chizikli Oa qismida Guk qonuni o‘rinli bo‘ladi. Binobarin, diagrammaning Oa qismi elastik deformatsiya sohasi bo‘ladi. Elastik deformatsiya kuchlanish p_{el} qiymatga erishguncha davom etadi.

Deformatsiya elastik bo‘lib qoladigan eng maksimal kuchlanish elastiklik chegarasi deb ataladi. Demak, temir uchun p_{el} elastiklik chegarasi ekan. a nuqtadan keyin deformatsiya tezroq ortadi, diagrammada Oa to‘g‘ri chiziq ab egri chiziqqa aylanadi. Bu sohada Guk qonuni bajarilmaydi, deformatsiya elastiklikdan chetlashadi: kuchlanish deformatsiyadan orqada boradi. Agar deformatsiyani, masalan, Oe ga teng bo‘ladigan qiymatgacha orttirilsa (diagrammada b nuqta) va so‘ngra tashqi ta‘sirini nolgacha asta-sekin kamaytirib borilsa, u holda deformatsiya ham kamayadi, biroq u baO egri chiziq bo‘yicha emas, balki bk to‘g‘ri chiziq bo‘yicha kamayadi. Tashqi ta‘sir batamom olingandan keyin ham jism Ok kattalikda deformatsiyalangan qoladi. Bu *qoldiq deformatsiya* bo‘ladi. Endi deformatsiya qaytuvchan bo‘lmaydi. Binobarin, bu plastik deformatsiya hisoblanadi. b nuqtadan keyin deformatsiyani orttirib borsak



60- rasm.

ham kuchlanishning qiymati p_{oq} ga tengligicha o'zgarib qoladi (diagrammada bc gorizontall qism). Odatda, bunday hollarda material „oqadi“ deb gapiriladi. Kuchlanishning bu p_{oq} qiymati *oquvchanlik chegarasi* deb, diagrammaning bc gorizontall qismi *oquvchanlik supachasi* deb ataladi. Tashqi kuch yana ortira borilsa, jism yana deformatsiyalanishga qarshilik ko'rsatish qobiliyatiga ega bo'lib qoladi: egri chiziq yuqoriga ko'tariladi (cd qism). Tashqi kuchning yanada ortishi pirovardida jismning yemirilishiga olib keladi va d nuqtada jism buziladi (bizning holda temir sterjen uziladi). Kuchlanishning d nuqtaga mos kelgan qiymati p_m *materialning mustahkamlik chegarasi* deb ataladi.

Modda tuzilishining atom-molekulyar tasavvurlariga asosan qattiq (kristall) jismning deformatsiya jarayonini oson tushuntirish mumkin (134- § ga q.).

Har xil qurilishlarda, inshootlarda yemirilishlar yuz bermasligi uchun detallarga qo'yilgan yuklar ularning mustahkamlik chegarasiga teng yoki unga yaqin bo'lmasligi kerak. Amalda yo'l qo'yilgan kuchlanish mustahkamlik chegarasining faqat biror qismini tashkil qiladigan qilib tanlanadi.

Mustahkamlik chegarasi yo'l qo'yilgan kuchlanishdan necha marta katta ekanligini ko'rsatadigan son *mustahkamlik zaxirasi* deb ataladi. Masalan, mustahkamlik zaxirasi temirda 4 dan 5 gacha, cho'yanda 6 dan 8 gacha, yog'ochda 8 dan 10 gacha va h.k.

Mustahkamlik zaxirasi inshootning qanday inshoot bo'lishiga va unga tushadigan yukning tabiatiga qarab tanlanadi. Yuk o'zgarib qolgan bo'lganda mustahkamlik zaxirasi yuk o'zgarib qolgan bo'lgandagiga qaraganda kamroq olinadi. Har xil zarbalarga duch keladigan inshootlarda mustahkamlik zaxirasi katta bo'ladi.

41- §. Ishqalanish kuchlari

Jismlarning (havosiz fazodagi harakatidan boshqa) har qanday harakatida ishqalanish mavjuddir. Motor o'chirilgandan keyin gorizontall yo'l bo'yicha avtomobil harakatining sekinlashib borishi, qiya novdan yerga dumalab tushgan sharchaning yerda ham biroz dumalab, ko'p o'tmay to'xtab qolishi, qiya tekislik

ustiga qo'yilgan yog'och taxtachaning pastga sirpanib tushmay, tinch (qo'zg'almay) turishi va hokazolar faqat ishqalanish tufayli bo'ladi. Bir-biriga tegib turgan jismlar orasidagi ishqalanish *tashqi ishqalanish* deyiladi. Biz bu ishqalanishlar ustida to'xtalib o'tamiz.

Ishqalanish tufayli jismlarning harakatiga to'sqinlik qiluvchi kuch hosil bo'ladi. Bu kuch *ishqalanish kuchi* deyiladi. Ishqalanish kuchi jismlarning bir-biriga tegib turuvchi sirtlariga urinma ravishda harakat yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi.

Tashqi ishqalanishning quyidagi turlari mavjud: *tinchlikdagi (tinch holatdagi) ishqalanish, sirpanish ishqalanishi va dumalash ishqalanishi*.

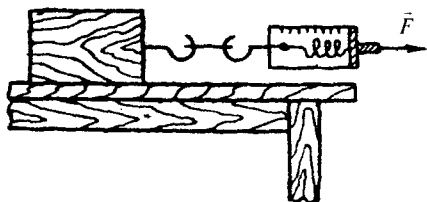
Jism nisbiy tinchlikda turganda ishqalanish kuchi uni bir joyda ushlab turadi. Bu kuch jismning joyidan qo'zg'alishiga to'sqinlik qiladi va u *tinchlikdagi ishqalanish kuchi* deb ataladi.

Tinchlikdagi ishqalanish kuchi yuz berishi mumkin bo'lgan harakat yo'nalishiga hamma vaqt qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Binobarin, tinchlikdagi ishqalanish kuchi jismni siljitishda yuzaga keladi.

Yuqorida aytilgan qiya tekislikda tinch turgan yog'och taxtachani tinchlikdagi ishqalanish kuchi ushlab turadi. Tekislikning qiyalik burchagini kattalashtirsak, taxtacha pastga qarab harakatlana boshlaydi. Bunda harakatlantiruvchi kuch kattaligi tinchlikdagi ishqalanish kuchini yengadi. Agar shu taxtachani gorizontol sirtga qo'yib, dinamometr bilan tortsak (61-rasm), dinamometrning ko'rsatishlari kattalashib, ma'lum kattalikka yetganidan keyingina taxtacha harakatga keladi. Dinamometrning ko'rsatishiga teng bo'lgan kuch tinchlikdagi ishqalanish kuchining maksimal qiymati bo'ladi.

Tinchlikdagi ishqalanishning maksimal kuchi kattalik jihatdan jismni sirpantiruvchi eng kichik tashqi kuchga teng bo'ladi.

Tajribalarning ko'rsatishicha, tinchlikdagi ishqalanishning maksimal kuchi $\bar{F}_{t.i.m}$ bir-biriga tegib turgan qismlarni normal ravishda siqib turgan bosim kuchiga (\bar{P}_0) to'g'ri proporsional bo'lar ekan:



61- rasm.

$$\vec{F}_{t.i.m} = k\vec{P}_0, \quad (80)$$

bu yerda k — o'lichamsiz kattalik bo'lib, *ishqalanish koeffitsienti* deb ataladi, uning qiymati moddaning turiga, bir-biriga tegib turgan sirtlarga berilgan ishlovning sifatiga bog'liq bo'ladi.

Tinchlikdagi ishqalanishga jismlar sirtining g'adir-budurligi va bir jism zarralarining ikkinchi jism zarralariga tortilishi sabab bo'ladi.

Birinchi jism ikkinchi jismning sirti bo'ylab harakatlenganda *sirpanish ishqalanishi* yuzaga keladi. Sirpanish ishqalanishining sabablari ham tinchlikdagi ishqalanish sabablarining o'zginasidir.

O'lchashlar sirpanish ishqalanish kuchi tinchlikdagi maksimal ishqalanish kuchiga taxminan teng ekanligini ko'rsatadi. Sirpanish ishqalanishi hamma vaqt urinuvchi jismlar nisbiy tezligining yo'nalishiga qarama-qarshi tomonga yo'naladi.

Sirpanish ishqalanish kuchi ham normal bosim kuchiga to'g'ri proporsional bo'ladi:

$$\vec{F}_i = k\vec{P}_0, \quad (81)$$

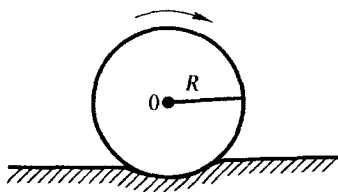
bu yerdagi k proporsionallik koeffitsienti tinchlikdagi maksimal ishqalanish kuchi formulasi (80) dagi koeffitsientning o'zidir. Ishqalanish koeffitsientining qiymati ishqalanuvchi jismlarning qanday materialdan yasalganligiga, ularning sirtiga berilgan ishlovga, sirtlarning tozaligiga va shu kabi omillarga bog'liqdir.

Ishqalanish kuchining qiymati bir-biriga tegib turgan sirtlarning kattaligiga bog'liq bo'lmaydi.

Ishqalanish tufayli hosil bo'luvchi *sirpanish ishqalanish kuchi tashqi (harakatlantiruvchi) kuch bilan muvozanatlashgandagina jism to'g'ri chiziqli tekis harakat qiladi.*

Bir jism ikkinchi jismning sirti bo'ylab dumalaganda *dumalash ishqalanishi* yuzaga keladi. Dumalash ishqalanishiga, masalan, temiryo'l vagoni g'ildiraklarining relslarga, avtomobil, velosiped g'ildiraklarining yo'lga, katta bochkalar, quvurlar, xodalarni dumalatishda ularning yerga ishqalanishi misol bo'la oladi.

Dumalash ishqalinishi hosil bo‘lishining asosiy sababi dumalayotgan jism tegib turgan sirtida jism og‘irligi tufayli yuzaga keluvchi deformatsiyadir. Bosim tufayli sirtida chuqurlik hosil bo‘ladi, jism sirtga urinish nuqtasida biroz yassilanadi (62- rasm). Bu hol jismning dumalanishini qiyinlashtiradi.



62- rasm.

Dumalash ishqalanishi kuchi $\vec{F}_{d.i}$ normal bosim kuchiga to‘g‘ri proporsional, dumalayotgan jismning R radiusiga teskari proporsional ekani tajribalarda aniqlangan, ya‘ni

$$\vec{F}_{d.i} = \mu \frac{P_0}{R}, \quad (82)$$

bu yerda μ — *dumalash ishqalanishi koeffitsienti bo‘lib*, u bir-biriga tegib turgan sirtlar moddasining xossalriga bog‘liqdir.

Uning o‘lchamligi uzunlik o‘lchamligi bilan bir xil ekanligi formuladan ko‘rinib turibdi.

Ko‘pgina tajribalarning ko‘rsatishicha, bir xil sharoitda dumalash ishqalanish kuchi sirpanish ishqalanish kuchidan ancha kichik bo‘lar ekan.

Jismning suyuqlik yoki gazda, jumladan, havoda harakatlani-shida ham jismning harakatiga qarshilik ko‘rsatuvchi kuch paydo bo‘ladi. Bu kuch jismga havo zarralari tomonidan ta’sir etadi, u *qarshilik kuchi* deb ataladi. Qarshilik kuchi ishqalanish kuchidan muhim xossasi — tinchlikdagi ishqalanish kuchining mavjud emasligi bilan farq qiladi. Bunga suyuqlikda suzayotgan jismni etarlicha juda kichik kuch bilan o‘z joyidan siljitish mumkinligi dalil bo‘la oladi. Gaz yoki suyuqlik tomonidan harakatlanayotgan jismga ta’sir etuvchi qarshilik kuchi qattiq sirtlar orasidagi ishqalanish kuchi kabi hamma vaqt jismning harakat yo‘nalishiga qarama-qarshi yo‘nalgan.

Qarshilik kuchining kattaligi jismning harakat tezligiga bog‘liq. Aniqlanishicha, yetarlicha kichik tezliklarda qarshilik kuchi jism tezligiga proporsional bo‘ladi:

$$F_q = \alpha v, \quad (83)$$

katta tezliklarda esa tezlikning kvadratiga proporsional

$$F_q = \beta v^2, \quad (84)$$

bu yerda α va β lar gaz yoki suyuqlikning xossalriga, shuningdek, harakatlanayotgan jismning shakli va o'lchamlariga bog'liq bo'lgan koeffitsientlar.

Ishqalanish tabiatda va texnikada juda katta rol o'ynaydi. Ishqalanish inshootlarning mustahkamligini oshiradi, ishqalanish bo'lmasa, binolarning devorlarini qurish, transportyor lentalarida g'ishtlarni tashish, mashina va mexanizmlarning qismlarini boltlar, mixlar bilan mahkamlash, yerda piyoda yurish, transportni harakatga keltirish va to'xtatish hamda buyumlarni qo'lda tutish kabi ishlarni amalga oshirib bo'lmasdi. Zarur bo'lgan hollarda ishqalanishni oshirish ham, kamaytirish ham mumkin. Masalan, yer muzlaganda yo'llarga qum sepish, avtomobillarning orqa g'ildiraklariga zanjir o'rash bilan ishqalanishni oshirish mumkin.

Ma'lumki, ishqalanish mashina va mexanizmlar detallarining yeyilishiga sabab bo'ladi, sarflangan ishning bir qismi ishqalanish kuchini yengishga ketadi, shu sababli ishqalanuvchi jismlar isiydi. Bunday hollarda ishqalanish zararli bo'ladi va uni bartaraf qilishga harakat qilinadi. Ishqalanishni kamaytirish uchun ishqalanuvchi sirtlar moylanadi yoki sirpanish ishqalanishi dumalash ishqalanishi bilan almashtiriladi.

42- §. Ilgarilanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasi

Mexanikaning asosiy masalasi ma'lum kuchlar va boshlang'ich shartlarga qarab harakatlanayotgan jismning tezlanishini, tezlanishga qarab tezlikni va nihoyat, jismning istalgan paytdagi vaziyati (koordinatalari)ni aniqlashdan iboratdir. Nyuton qonunlaridan foydalanib, kuchlarni hisoblash va o'lchashni bilgan holdagina, bunday masalani hal qilish mumkin.

Jismlarning faqat bitta kuch ta'siri ostidagi, masalan, elastiklik, ishqalanish yoki og'irlik kuchlari ta'siri ostidagi harakati kamdan kam uchraydi. Ko'pgina hollarda jismga bir vaqtning o'zida bir necha kuch ta'sir qiladi. Jumladan, jismga elastiklik va og'irlik

kuchlari bilan bir qatorda hamma vaqt ishqalanish kuchi ham ta'sir qiladi. Bunday hollarda Nyutonning ikkinchi qonunini ifodalovchi

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

tenglamada \vec{F} — jismga qo'yilgan barcha kuchlarning geometrik yig'indisi, ya'ni bu kuchlarning teng ta'sir etuvchisi deb olinadi.

Faraz qilaylik, jismga n ta kuch ta'sir qilayotgan bo'lsin. Kuchlar ta'sirining mustaqillik qonuniga muvofiq har bir kuch jismga

$$\vec{a}_i = \frac{\vec{F}_i}{m}$$

tezlanish beradi, bu yerda \vec{a}_i — jismga \vec{F}_i kuch tomonidan berilgan tezlanish.

Superpozitsiya prinsipi (tezlanishlarning qo'shilish prinsipi) ga asosan barcha ta'sir etuvchi kuchlar tomonidan jismning olgan natijaviy tezlanishi

$$\vec{a} = \sum_{i=1}^n \vec{a}_i = \sum_{i=1}^n \frac{\vec{F}_i}{m} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

ifodadan aniqlanadi. Demak, *agar jismga n ta kuch ta'sir etsa, uning tezlanishi barcha kuchlarning geometrik yig'indisiga to'g'ri proporsional bo'lar ekan:*

$$\vec{a} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{F}_i}{m} \quad (85)$$

Bu formulani quyidagicha o'zgartirib yozamiz:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = m\vec{a}. \quad (86)$$

(86) formula *ilgarilanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasi* deb ataladi. Bu tenglamadan foydalanib, har qanday jismning ilgarilanma harakatini o'rganish mumkin.

43- §. Jismlarning ilgarilanma harakatiga Nyuton qonunlarining tatbiqi

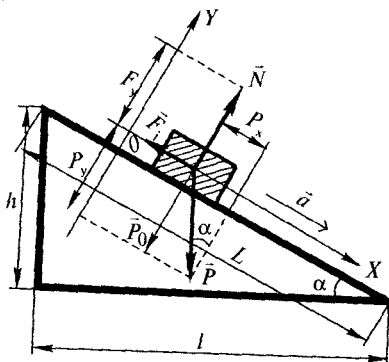
Ilgarilanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasidan foydalanib, jismning qiya tekislik bo'yicha harakatini ko'rib chiqaylik. Faraz qilaylik, qiyalik burchagi α ga teng bo'lgan qiya tekislik bo'yicha m massali taxtacha harakatlanayotgan bo'lsin. Shu taxtacha qanday tezlanish bilan pastga tushishini aniqlaylik (63-rasm).

Harakatlanayotgan taxtachaga uchta kuch ta'sir etadi: $\vec{P} = m\vec{g}$ og'irlik kuchi, tayanch (qiya tekislik)ning o'ziga perpendikulyar ravishda yo'nalgan \vec{N} — reaksiya kuchi, harakatga qarshi yo'nalgan $\vec{F}_i = kP_0$ — ishqalanish kuchi, bunda P_0 — taxtachaning qiya tekislikka ko'rsatayotgan bosim kuchi bo'lib, u kattalik jihatidan \vec{N} reaksiya kuchiga teng va qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi (Nyutonning uchinchi qonuniga asosan).

Shartga ko'ra taxtachaning \vec{a} tezlanishi qiya tekislikka parallel yo'nalgandir. Nyutonning ikkinchi qonuniga binoan:

$$m\vec{a} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{P} + \vec{N} + \vec{F}_i. \quad (a)$$

Endi OX va OY koordinata o'qlarini qiya tekislik bo'ylab va unga perpendikulyar ravishda yo'naltiramiz (63-rasmga q.) va (a) tenglamani vektorlarning shu o'qlardagi proyeksiyalari orqali yozamiz.



63- rasm.

Dastlab hamma vektorlarning OX o'qdagi proyeksiyalarini topaylik. Rasmdan:

$$(\vec{a})_x = a, \quad (\vec{N})_x = 0, \quad (\vec{F}_i)_x = -F_i \quad \text{va}$$

$$(\vec{P})_x = P_x = P \sin \alpha.$$

U holda OX o'q uchun quyidagi tenglamani yoza olamiz:

$$ma = P \sin \alpha - F_i. \quad (b)$$

Shuningdek, rasmdan foydalanib hamma vektorlarning

OY o'qdagi proyeksiyalarini topaylik:

$$(\vec{a})_y = 0, (\vec{P})_y = -P_y = N = -P \cos \alpha, (\vec{N})_y = N, (\vec{F}_i)_y = 0.$$

Demak, OY o'q uchun

$$0 = -P \cos \alpha + N$$

bo'ladi. Oxirgi ifodadan qiya tekislik reaksiya kuchining kattaligi

$N = P \cos \alpha$ bo'ladi. $|\vec{N}| = |\vec{P}_0|$ ekanidan $P_0 = P \cos \alpha$, binobarin, $F_i = kP \cos \alpha$. Ishqalanish kuchining bu ifodasini (b) tenglamaga keltirib qo'yaylik, u holda

$$ma = P \sin \alpha - kP \cos \alpha$$

bo'ladi. $P = mg$ ekanini e'tiborga olsak,

$$ma = mg \sin \alpha - kmg \cos \alpha.$$

Bundan taxtachaning tezlanishi uchun

$$a = g(\sin \alpha - k \cos \alpha) \quad (87)$$

ifodani hosil qilamiz. Demak, qiya tekislik bo'yicha harakatlanayotgan taxtachaning tezlanishi qiya tekislikning qiyalik burchagiga va ishqalanish koeffitsientiga bog'liq ekan. Bino-barin, bu kattaliklarni bilgan holda a tezlanishni hisoblab topish mumkin.

Agar ishqalanish koeffitsienti nolga teng bo'lsa (ishqalanish kuchini e'tiborga olmasak), u holda taxtacha qiya tekislikdan

$$a = g \sin \alpha$$

tezlanish bilan harakatlanib tushadi.

Qiya tekislikning balandligini h bilan, asosini l bilan va uzunligini L bilan belgilaylik (63- rasmga q.). U holda

$$\sin \alpha = \frac{h}{L} \quad \text{va} \quad \cos \alpha = -\frac{l}{L}$$

bo'ladi. Demak, tezlanishning ifodasi

$$a = g \left[\frac{h}{L} + k \frac{l}{L} \right] = \frac{g}{L} (h + kl) \quad (88)$$

ko'inishga ega bo'ladi. h , l , L uzunliklarni o'lchab, taxtachaning qiya tekislik bo'yicha harakatidagi tezlanishini hisoblash mumkin.

44- §. Markazga intilma kuch

Biz 24- § da moddiy nuqta aylana bo'ylab tekis harakat qilganida radius bo'ylab aylanish markaziga yo'nalgan markazga intilma tezlanish hosil bo'lishini ko'rib o'tdik. Binobarin, moddiy nuqtaga tezlikning yo'nalishini o'zgartiradigan va radius bo'ylab aylana markaziga yo'nalgan kuch ta'sir qiladi. Bu kuchni *markazga intilma kuch* deb ataladi. Jismlarning trayektoriyasi va tezligini oldindan hech qanday cheklashlar qo'yilmagan holda muayyan kuchlar ta'siridagi harakati *erkin* harakat deyiladi. Aksincha, jismning trayektoriyasiga va tezligiga oldindan muayyan cheklashlar qo'yilgan bo'lsa, jismning harakati *erksiz* harakat bo'ladi. Masalan, ipga bog'langan sharchaning gorizont tekislikda aylanishi, vagonlarning relslar bo'yicha harakati, jismning qiya tekislikda sirpanishi kabi harakatlar erksiz bo'ladi.

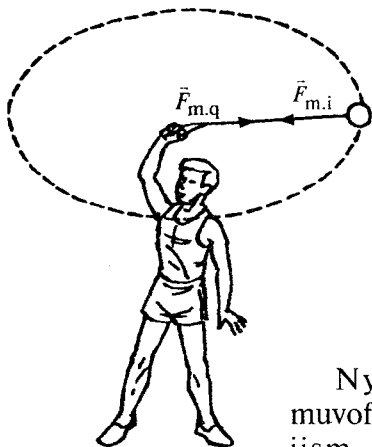
Jismning erksiz harakatiga, unga ta'sir qilayotgan kuchlar kattaligidan qat'iy nazar, boshqa jismlar tomonidan mexanikada *bog'lanishlar* deb ataluvchi muayyan shartlar qo'yilgan bo'ladi. Masalan, yuqoridagi misollarda ip tomonidan sharchaga, relslar tomonidan vagonlarga bog'lanishlar qo'yilgan bo'ladi.

Jismning erksiz harakatida unga tashqi (oldindan berilgan) kuchlardan tashqari yana bog'lanishni yuzaga keltiruvchi jism tomonidan ham kuchlar ta'sir qiladi. Bu kuchlar *bog'lanish reaksiyalari* deb ataladi. Ipga bog'langan sharcha aylana bo'ylab harakatlanganda ipning sharchaga ko'rsatgan ta'sir kuchi $\vec{F}_{m.i}$ (bog'lanish reaksiyasi) markazga intilma kuch bo'ladi (64- rasm).

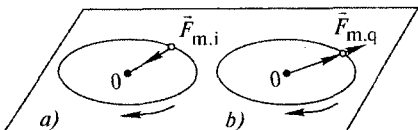
Markazga intilma kuchning kattaligini Nyutonning ikkinchi qonuni

$$F = ma$$

dan foydalanib aniqlash mumkin. Bu formulaga markazga intilma tezlanish qiymatini (48) va (49) formuladan keltirib qo'yib, markazga intilma kuch uchun quyidagi munosabatlarni hosil qilamiz:



64- rasm.



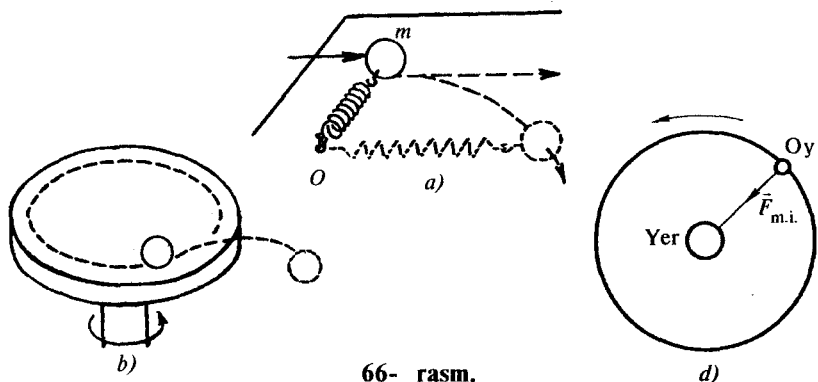
65- rasm.

$$F_{m.i} = m \frac{v^2}{R} = m \omega^2 R. \quad (89)$$

Nyutonning uchinchi qonuniga muvofiq, aylana bo'ylab harakatlanayotgan jism o'z navbatida unga bog'lanish qo'yayotgan jismga kattaligi markazga intilma kuchga teng, lekin qarama-qarshi yo'nalgan kuch bilan ta'sir qiladi. Masalan, ipga bog'langan sharchaning aylanma harakatida ip sharchaga qanday kuch bilan ta'sir qilsa, sharcha ham ipga shu kuchga teng, lekin qarama-qarshi tomonga yo'nalgan kuch bilan ta'sir qiladi. Bu kuchni *markazdan qochma kuch* deb ataladi. Markazdan qochma kuch radius bo'ylab aylana markazidan yo'nalgan bo'ladi. 65- a rasmda markazga intilma $\vec{F}_{m.i}$ kuch sharchaga, 65- b rasmda markazdan qochma $\vec{F}_{m.q}$ kuch esa ipga, u orqali aylanish markaziga (masalan, qo'lga) ta'sir qilishi tasvirlangan. Markazdan qochma kuch o'z tabiati bilan markazga intilma kuchdan hech ham farq qilmaydi.

Markazga intilma kuch mavjud bo'lgandagina markazdan qochma kuch mavjud bo'ladi. Bu kuchlar bir-birini muvozanatlamaydi, chunki ular boshqa-boshqa jismlarga qo'yilgan.

Markazga intilma kuch qandaydir alohida bir kuch emas. Har qanday boshqa kuchlar kabi, markazga intilma kuch ham berilgan jismga boshqa jismlarning ta'sirini tavsiflaydi. Jismni egri chiziqli trayektoriyada saqlaydigan har qanday kuch, masalan, elastiklik kuchi, ishqalanish kuchi, og'irlik kuchi markazga intilma kuch sifatida namoyon bo'la oladi. Markazga intilma kuchning hosil bo'lishini quyidagi tajribalarda ko'rib chiqaylik.



66- rasm.

Bir uchi biror O nuqtaga mustahkamlangan prujinaning ikkinchi uchiga m massali metall sharchani biriktiraylik va sharchani turtib yuborib harakatga keltiraylik (66- *a* rasm). Avval sharcha qisqa vaqt bo'lsa-da, to'g'ri chiziq bo'ylab harakat qiladi, so'ng sharcha bilan u mahkamlangan O nuqta orasi orta borib, prujina cho'zila boshlaydi. Bunda sharchaga cho'zilgan prujinaning elastiklik kuchi (bog'lanish reaksiyasi) ta'sir qilib, uni egri chiziqli harakatlanishga majbur qiladi. Prujinaning elastiklik kuchi markazga intilma kuchga teng bo'lib qolganda, sharcha aylana bo'ylab harakat qila boshlaydi.

Bu tajribada prujinaning elastiklik kuchi markazga intilma kuch sifatida namoyon bo'ladi.

O'z o'qi atrofida aylanish imkoniyatiga ega bo'lgan disk ustiga biror jism, masalan, shaybani qo'yib, diskni aylantiraylik (66- *b* rasm). Disk bilan birga shayba ham aylanadi. Bunda tinchlikdagi ishqalanish kuchi (diskning bog'lanish reaksiyasi) shaybani aylanada ushlab turadi. Agar diskni tezroq aylantirsak, shayba bilan disk-orasida bo'lgan tinchlikdagi ishqalanish kuchi shaybani aylanada ushlab turishi uchun yetarli bo'lmay, shayba diskdan chetga otilib ketadi.

Bu tajribada tinchlikdagi ishqalanish kuchi markazga intilma kuch sifatida namoyon bo'ladi.

Yerning Oyga ta'sir qiladigan tortish kuchi markazga intilma kuch bo'lib, bu kuch Oyning Yer atrofida aylanishiga sabab bo'ladi (66- *d* rasm).

45- §. Markazga intilma kuchning ta'siriga ba'zi misollar

Markazga intilma kuch aylana bo'ylab harakat qilayotgan har qanday jismga ta'sir etadi.

Ba'zi hollarda jism aylana bo'ylab tekis harakat qilganda hosil bo'lgan markazga intilma kuch jismga qo'yilgan barcha kuchlarning teng ta'sir etuvchisi bo'ladi.

Bir necha shunday misollarni ko'raylik.

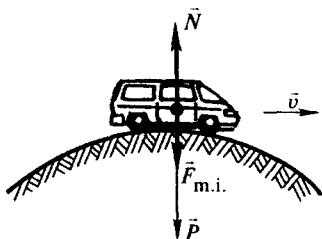
1. Avtomobil qavariq ko'prik ustida biror \vec{v} tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsin (67- rasm). Avtomobil ko'prikning o'rtasiga yetganda unga \vec{P} og'irlik kuchi va \vec{N} reaksiya kuchi bir vertikal bo'ylab qarama-qarshi yo'nalishda ta'sir qiladi. Bu kuchlarning teng ta'sir etuvchisi markazga intilma kuch bo'ladi va ko'prikning egrilik markaziga, ya'ni jismning og'irlik kuchi ta'sir qilgan tomonga yo'nalgan bo'ladi. 67- rasmdagi markazga intilma kuch og'irlik kuchi bilan reaksiya kuchi orasidagi ayirmaga tengligi, ya'ni

$$\vec{F}_{m.i.} = \vec{P} - \vec{N}$$

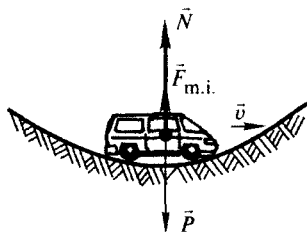
ekanligi ko'rinib turibdi. Bundan

$$N = P - F_{m.i.} \quad \text{yoki} \quad N = P - \frac{mv^2}{R} \quad (90)$$

bo'ladi. Nyutonning uchinchi qonuniga muvofiq, ko'prik avtomobilga qanday kuch bilan bossa, avtomobil ham ko'prikka shunga teng kuch bilan bosadi, binobarin, topilgan N kuch harakat qilayotgan avtomobilning ko'prikka ko'rsatadigan bosim kuchi bo'ladi.



67- rasm.



68- rasm.

Shunday qilib, *harakatlanayotgan avtomobil (yoki har qanday boshqa jism) ning qavariq ko'prikka bo'lgan bosim kuchi avtomobil (jism) og'irligidan markazga intilma kuch qadar kam bo'ladi.*

2. Endi avtomobil botiq ko'prik ustida biror \bar{v} tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsin (68- rasm). Bunda avtomobilga ta'sir etayotgan markazga intilma kuch reaksiya kuchi yo'nalgan tomonga (yuqoriga) qarab yo'nalgan bo'ladi. Shuning uchun

$$\bar{F}_{m.i.} = \bar{N} - \bar{P}$$

deb yoza olamiz. Bundan

$$N = F_{m.i.} + P = \frac{mv^2}{R} + P \quad (91)$$

bo'ladi.

Shunday qilib, *avtomobil (yoki har qanday boshqa jism)ning botiq ko'prikka bo'lgan bosim kuchi avtomobil (jism) og'irligidan markazga intilma kuch qadar ortiq ekan.*

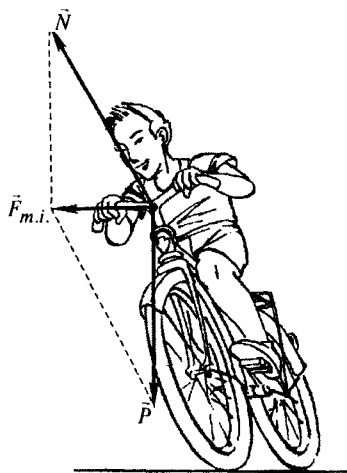
3. Velosipedchining yo'lining burilgan joyidagi harakatini ko'raylik (69- rasm).

Velosipedchi yo'lining to'g'ri qismida ketayotganida vertikal yo'nalish bo'ylab ta'sir qilgan og'irlik kuchi bilan yo'l (tayanch)ning reaksiya kuchi bir-birini muvozanatlaydi.

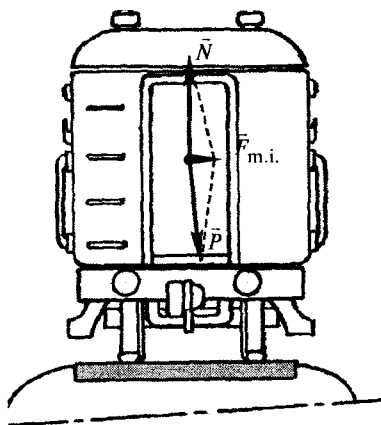
Yo'lining burilish joyidagi harakatda markazga intilma kuch yuzaga keladi. Bu kuchni hosil qilish uchun velosipedchi burilish ichkarisi tomon og'adi (69- rasimga q.). Bu vaqtda uning P og'irlik kuchi bilan N tayanch reaksiya kuchining teng ta'sir etuvchisi bo'lgan $F_{m.i.}$ markazga intilma kuch harakatdagi burilishni hosil qiladi.

Mototsiklchilar, yuguruvchilar, konkida uchuvchilar yo'lining burilgan joyida harakat qilganda ham yuqorida aytilgan kabi hollar ro'y beradi. Bu hollarning hammasida ham harakat qilayotgan odam o'z gavdasini ma'lum bir tomonga og'diradi. Tezlik qancha katta bo'lsa va burilish radiusi qancha kichik bo'lsa, gavdaning aylananing ichkarisiga tomon og'ish burchagi shunchalik katta bo'ladi.

4. Poyezd temiryo'lining burilgan joyida harakat qilganda



69- rasm.



70- rasm.

markazga intilma kuch hosil qilish maqsadida tashqi rels ichkarisidagidan balandroq qilib ishlanadi, ya'ni yo'lining burilgan joyida relslar egrilik markaziga tomon og'maroq qilib o'rnatilgan bo'ladi (70- rasm). Bunda vagonning og'irlik kuchi bilan rels (tayanch)ning reaksiya kuchining teng ta'sir etuvchisi markazga intilma kuch bo'ladi. Temiryo'lining qiyaligi, albatta, qandaydir bir o'rtacha tezlikka mo'ljallangan bo'ladi.



Takrorlash uchun savollar

1. Mexanikada qanday kuchlar bilan ish ko'riladi?
2. Og'irlik kuchi va jismning og'irligi deb nimaga aytiladi?
3. Elastiklik kuchi nima?
4. Elastik deformatsiya deb nimaga aytiladi? Plastik deformatsiya deb-chi?
5. Guk qonunini ta'riflang.
6. Cho'zilish deformatsiyasi uchun Guk qonunini yozing va tushuntiring.
7. Elastiklik koeffitsienti deb nimaga aytiladi? Yung moduli deb-chi? Ular orasida qanday bog'lanish mavjud?
8. Elastik cho'zilgan prujina uchun Guk qonunini yozing. Sterjenning bikrligi deganda nimani tushunasiz?
9. Elastiklik chegarasi, mustahkamlik chegarasi nima? Qanday jismlar mo'rt jismlar deb ataladi?

10. Mustahkamlik zaxirasi nima?
11. Ishqalanish, ishqalanishning turlarini tushuntiring.
12. Ishqalanish kuchi nima? Sirpanish va dumalash ishqalanishi kuchlarining formulasini yozib bering. Sirpanish ishqalanish kuchi bilan tinchlikdagi ishqalanishning maksimal kuchi o'zaro tengligini qanday isbotlash mumkin?
13. Ishqalanish koeffitsienti nima? Uning kattaligi nimalarga bog'liq?
14. Ishqalanishning foydali va zararli tomonlarini aytib bering.
15. Qanday usullar bilan ishqalanishni kamaytirish yoki ko'paytirish mumkin?
16. Ilgarilanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasini yozing va uning fizik ma'nosini tushuntiring.
17. Qiya tekislik bo'yicha harakatlanayotgan taxtachaga qanday kuchlar ta'sir qiladi? Bu harakat uchun Nyutonning ikkinchi qonunini yozing.
18. Qiya tekislik bo'yicha harakatlanayotgan taxtacha tezlanishining formulasini keltirib chiqaring.
19. Markazga intilma kuch nima? Uning kattaligi nimaga teng? Markazdan qochma kuch-chi?
20. Nima uchun markazga intilma kuch bilan markazdan qochma kuchning teng ta'sir etuvchisi bo'lmaydi?
21. Mexanikada qanday kuchlar markazga intilma kuch sifatida namoyon bo'ladi?
22. Qavariq ko'priknig o'rtasiga ta'sir qiluvchi bosim kuchi nimaga teng? Botiq ko'prikada-chi?
23. Nima uchun burilishlarda velosipedchi yo'lning egrilik markazi tomoniga gavdasini og'diradi?
24. Nima uchun burilish joylarda temiryo'l egrilik markaziga tomon qiyalatib quriladi?



Masala yechish namunalari

1- masala. Massasi 4 kg bo'lgan jism havoda $8,3 \frac{m}{s^2}$ tezlanish bilan tushmoqda. Havoning qarshilik kuchini toping.

Berilgan: $m = 4 \text{ kg}$, $a = 8,3 \frac{m}{s^2}$, $g = 9,8 \frac{m}{s^2}$.

Topish kerak. F_q — ?

Yechilishi. Havoda tushayotgan jisimga \vec{P} og'irlik kuchi bilan havoning qarshilik kuchi ta'sir qiladi (71- rasm). Jismning harakati tekis

tezlanuvchan bo‘lib, shu ikki kuchning teng ta’sir etuvchisi jismga \vec{a} tezlanish beradi.

Nyutonning ikkinchi qonuniga muvofiq jismning harakat tenglamasi, vektor ko‘rinishda, quyidagicha ifodalanadi:

$$\vec{m}\vec{a} = \vec{P} + \vec{F}_q,$$

bu yerda \vec{P} va \vec{F}_q kuchlar bir vertikal bo‘ylab qarama-qarshi tomonga yo‘nalgan bo‘lgani uchun bu tenglamaning skalyar ko‘rinishi quyidagicha bo‘ladi:

$$ma = P - F_q.$$

$P = mg$ ekanligini e’tiborga olib, havoning qarshilik kuchi uchun

$$F_q = P - ma = mg - ma = m(g - a)$$

ifodani hosil qilamiz.

Hisoblash: $F_q = 4\text{kg} (9,8 - 8,3) \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 6\text{N}.$

2- masala. Yuk avtomobili massasi 2 t bo‘lgan yengil avtomobilni tortib, tekis tezlanuvchan harakat bilan 50 sekunda 400 m yo‘l yurdi.

Agar avtomobillarni ulovchi po‘lat simning bikrligi $2 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ bo‘lsa, bu harakatda po‘lat sim qanchaga cho‘zilgan? Ishqalanishni hisobga olmang.

Berilgan: $m = 2\text{t} = 2 \cdot 10^3 \text{kg}, t = 50 \text{s}, s = 400 \text{m}, k = 2 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}}.$

Topish kerak: Δx — ?

Yechilishi. Guk qonuniga muvofiq, cho‘zilgan po‘lat simning elastiklik kuchi $F_{el} = -k\Delta x$. Bundan po‘lat sim cho‘zilishining absolyut kattaligi

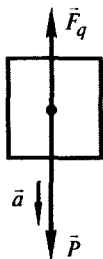
$$|\Delta x| = \frac{F_{el}}{k}$$

bo‘ladi. Po‘lat simning elastiklik kuchi yengil avtomobilga tezlanish beradi, shuning uchun

$$F_{el} = ma$$

deb yozish mumkin.

Boshlang‘ich tezliksiz tekis tezlanuvchan harakat tenglamasi



71- rasm.

$$s = \frac{at^2}{2}$$

dan tezlanishning $a = \frac{2s}{t^2}$ qiymatini kuch formulasiga keltirib qo'ysak, u holda

$$F_{el} = m \frac{2s}{t^2}$$

bo'ladi. Binobarin, po'lat simning cho'zilish kattaligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta x = 2m \frac{s}{kt^2}.$$

Hisoblash:

$$\Delta x = 2 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 2 \frac{400 \text{ m}}{2 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 2500 \text{ s}^2} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 3,2 \text{ mm}.$$

3- masala. Massalari 200 g va 100 g bo'lgan ikkita yuk ipga bog'langan bo'lib, chig'iriq orqali o'tkazilgan va prujinali taroziga osilgan (72-rasm). Yuklarning tezlanishini, prujinali tarozining ko'rsatishini va ipning tarangligini toping. Blok o'qidagi ishqalanishni va uning massasi-ni hisobga olmag.

Berilgan: $m_1 = 200 \text{ g} = 0,2 \text{ kg}$, $m_2 = 100 \text{ g} = 0,1 \text{ kg}$.

Topish kerak: a — ? F_T — ? F — ?

Yechilishi. Har bir yukka og'irlik kuchi bilan ipning taranglik kuchi ta'sir etadi. Chig'iriq o'qidagi ishqalanish va uning massasi juda kichik bo'lgani uchun ipning taranglanishini barcha qismida o'zgarmas deb olish mumkin, $\vec{P}_1 > \vec{P}_2$ bo'lgani uchun butun sistemaning harakati rasmda ko'rsatilgandek yo'nalishda bo'ladi.

Endi yuklarning harakat tenglamalarini yozamiz.

$$m_1 \vec{a} = \vec{P}_1 + \vec{F}_T, \quad m_2 \vec{a} = \vec{P}_2 + \vec{F}_T$$

yoki skalyar ko'rinishda

$$m_1 a = P_1 - F_T, \quad m_2 a = F_T - P_2 \quad (\text{a})$$

bo'ldi, bunda a — yuklarning tezlanishi. Bu tenglamalarni birgalikda yechib, a tezlanishni topamiz:

$$a = \frac{P_1 - P_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g.$$

Tezlanishning bu qiymatini (a) tenglamalarning ixtiyoriy biriga keltirib qo'yib, ipning taranglik kuchini topamiz:

$$F_T = P_1 - m_1 a = m_1 g - m_1 \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g = \frac{2m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} g.$$

Yuklar osilgan chig'iriqning ikki tomonida hosil bo'lgan taranglik kuchi ta'siri ostida prujina cho'ziladi. U vaqtda prujinani cho'zuvchi kuch

$$F = 2F_T = \frac{4m_1 m_2}{m_1 + m_2} g.$$

Hisoblash: $a = \frac{0,2\text{kg} - 0,1\text{kg}}{0,2\text{kg} + 0,1\text{kg}} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3,27 \frac{\text{m}}{\text{s}^2},$

$$F_T = \frac{2 \cdot 0,2\text{kg} \cdot 0,1\text{kg}}{0,2\text{kg} + 0,1\text{kg}} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 13,1\text{N}, \quad F = 2F_T = 26,2\text{N}.$$

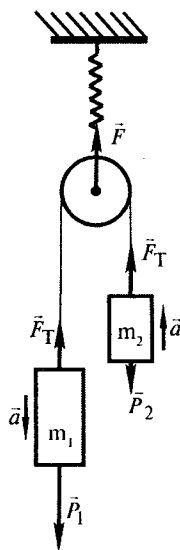
4- masala. Massasi 10 t bo'lgan trolleybus joyidan qo'zg'alib, 50 m masofada $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlikka erishdi. Agar tortish kuchi 14 kN ga teng bo'lsa, qarshilik koeffitsientini toping.

Berilgan: $m = 10\text{t} = 10^4\text{kg}, \quad v_0 = 0, \quad s = 50\text{m}, \quad v = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}},$

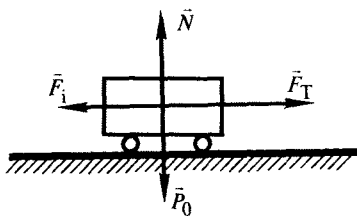
$$F = 14\text{kN} = 14 \cdot 10^3\text{N}.$$

Topish kerak: k — ?

Yechilishi. Trolleybusga uchta kuch: \vec{F}_T — tortish kuchi, \vec{F}_i — ishqalanish kuchi va \vec{N} — yo'l (tayanch)ning reaksiya kuchi ta'sir qiladi (73-rasm). \vec{N} reaksiya kuchi trolleybusning \vec{P}_0 normal bosim kuchi bilan muvozanatlashadi (ular bir nuqtaga qo'yilgan, kattalik jihatdan teng va



72- rasm.



73- rasm.

qarama-qarshi tomonga yo'nalgan). Gorizontalk tekislikda jismning normal bosim kuchi uning og'irlik kuchiga teng bo'ladi. Ishqalanish kuchi esa $F_i = kP_0$ ga teng bo'ladi.

Trolleybusga tortish kuchi bilan ishqalanish kuchining teng ta'sir etuvchisi tezlanish beradi. Bu kuchlar o'zgarmas bo'lgani uchun trolleybus tekis tezlanuvchan harakat qiladi.

Trolleybusning harakat tenglamasi

$$m\vec{a} = \vec{F}_T + \vec{F}_i \quad \text{yoki} \quad ma = F_T - F_i$$

bo'ladi. Boshlang'ich tezliksiz tekis tezlanuvchan harakat tenglamasi

$$s = \frac{v^2}{2a}$$

dan a tezlanishni topamiz:

$$a = \frac{v^2}{2s}$$

va tezlanishning hamda ishqalanish kuchining qiymatlarini trolleybusning harakat tenglamasiga keltirib qo'yib, quyidagi munosabatni hosil qilamiz:

$$m \frac{v^2}{2s} = F_T - kmg.$$

Bundan ishqalanish koeffitsientini topsak,

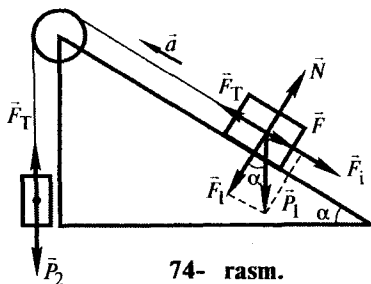
$$k = \frac{F_T - m \frac{v^2}{2s}}{mg} = \frac{2F_T s - mv^2}{2smg}$$

bo'ladi.

Hisoblash:

$$k = \frac{2 \cdot 14 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot 50 \text{ m} - 10^4 \text{ kg} \cdot 100 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \cdot 50 \text{ m} \cdot 10^4 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,04.$$

5- masala. Gorizont bilan 30° burchak tashkil qilgan qiya tekislik ustida turgan 20 kg massali jismga ip bog'lab, uni qiya tekislikning eng yuqori cho'qqisiga o'rnatilgan vaznsiz chig'irliq orqali o'tkazilgan. Ipnning ikkinchi uchiga massasi 12 kg bo'lgan jism osilgan. Jismning qiya tekislikka ishqalanish koeffitsienti 0,1 ga teng.



74- rasm.

Jismlarning tezlanishini va ipning taranglik kuchini toping. Chig'irliqdagi ishqalanishni hisobga olmang.

Berilgan: $\alpha = 30^\circ$, $m_1 = 20$ kg, $m_2 = 12$ kg, $k = 0,1$.

Topish kerak: $a - ?$ $F_T - ?$

Yechilishi. 3- masaladagi kabi, bu masalada ham jismlarning tezlanishi bir xil va ipning barcha qismida taranglanishi o'zgarmas deb olamiz.

Masalaning shartiga ko'ra chizma chizib, jismlarga ta'sir etayotgan kuchlarning yo'nalishini belgilab olamiz (74- rasm).

Qiya tekislikda turgan jismga to'rtta kuch: ishqalanish kuchi $\vec{F}_i = k\vec{N} = km_1 g \cos \alpha$, og'irlik kuchi $\vec{P}_1 = m_1 \vec{g}$, ipning taranglik kuchi \vec{F}_T va tayanch (qiya tekislik)ning reaksiya kuchi $|\vec{F}_1| = |\vec{N}| = P_1 \cos \alpha = m_1 g \cos \alpha$ ta'sir qiladi. \vec{P}_1 kuchning $\vec{F} = m_1 \vec{g} \sin \alpha$ tashkil etuvchisi qiya tekislikka parallel yo'nalgan. m_2 jismga $\vec{P}_2 = m_2 \vec{g}$ og'irlik kuchi bilan F_T — ipning taranglik kuchi ta'sir etadi.

Endi har bir jismning harakat tenglamasini yozamiz. m_1 massali jism uchun:

$$m_1 \vec{a} = \vec{F}_T + \vec{F} + \vec{F}_i \quad \text{yoki} \quad m_1 \vec{a} = \vec{F}_T + m_1 \vec{g} \sin \alpha + km_1 \vec{g} \cos \alpha;$$

m_2 massali jism uchun:

$$m_2 \vec{a} = \vec{P}_2 + \vec{F}_T \quad \text{yoki} \quad m_2 \vec{a} = m_2 \vec{g} + \vec{F}_T.$$

Bu tenglamalarning skalyar ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$m_1 a = F_T - m_1 g \sin \alpha - km_1 g \cos \alpha,$$

$$m_2 a = m_2 g - F_T.$$

Tenglamalarni hadma-had qo'shib, jismlarning tezlanishi uchun

$$a = \frac{m_2 - m_1 \sin \alpha - km_1 \cos \alpha}{m_1 + m_2} g$$

va hadma-had ayirib, ipning taranglik kuchi uchun

$$F_T = \frac{(m_1 - m_2)a - m_1 g \sin \alpha - km_1 g \cos \alpha - m_2 g}{2}$$

ifodalarni hosil qilamiz. Oxirgi ifodaga tezlanishning yuqoridagi ifodasini keltirib qo'yib va matematik amallarni bajarib, F_T uchun quyidagi munosabatni hosil qilamiz:

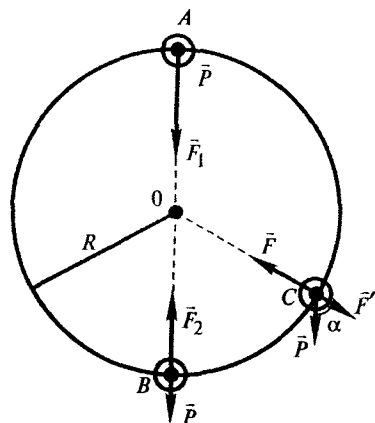
$$F_T = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (1 + \sin \alpha + k \cos \alpha) g.$$

Hisoblash:

$$a = \frac{(12\text{kg} - 20\text{kg} \cdot \sin 30^\circ - 0,1 \cdot 20\text{kg} \cdot \cos 30^\circ)}{20\text{kg} + 12\text{kg}} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 0,09 \frac{\text{m}}{\text{s}^2},$$

$$F_T = \frac{20\text{kg} \cdot 12\text{kg}}{20\text{kg} + 12\text{kg}} (1 + \sin 30^\circ + 0,1 \cos 30^\circ) \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 117\text{N}.$$

6- masala. Ipga bog'langan tosh vertikal tekislikda $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ chiziqli tezlik bilan aylantirilmoqda. Agar ipning maksimal va minimal taranglik kuchining farqi $9,8 \text{ N}$ ga tengligi ma'lum bo'lsa, toshning massasini toping.



75- rasm.

Berilgan: $v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $F_2 - F_1 = 9,8\text{N}$.

Topish kerak: $m - ?$

Yechilishi. Trayektoriyaning ixtiyoriy nuqtasida toshga ikkita kuch — og'irlik kuchi \vec{P} va ipning taranglik kuchi (osmaning reaksiya kuchi) \vec{F} ta'sir qiladi (75- rasm). Toshni aylana bo'ylab harakat qilishiga majburlovchi, ya'ni unga markazga intilma tezlanish beruvchi kuchning kattaligi trayektoriyaning ixtiyoriy nuqtasida (masalan, C nuqtada) quyidagiga teng bo'ladi:

$$m \frac{v^2}{R} = F - F' = F - P \cos \alpha,$$

bunda R — aylananing radiusi.

Trayektoriyaning eng yuqori (A) nuqtasida

$$\frac{mv^2}{R} = F_1 + P = F_1 + mg$$

va trayektoriyaning eng quyi (B) nuqtasida

$$\frac{mv^2}{R} = F_2 - P = F_2 - mg$$

bo'ladi, bu yerda F_1 va F_2 lar mos ravishda toshning A va B nuqtalardan o'tayotgan vaqtdagi ipning taranglik kuchlari.

Bu ikki tenglamadan ko'rinib turibdiki, $F_1 + mg = F_2 - mg$. Bundan toshning massasini topsak,

$$m = \frac{F_2 - F_1}{2g}$$

bo'ladi.

Hisoblash:

$$m = \frac{9,8\text{N}}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,5 \text{ kg.}$$

7- masala. Uzunligi 60 sm bo'lgan ipga osilgan yuk tekis harakatlanib, gorizontal tekislikda aylana chizadi. Yuk aylanayotgan vaqtda ip vertikal bilan 30° li o'zgarimas burchak tashkil qilsa, yuk qanday tezlik bilan harakatlanayotgan bo'ladi?

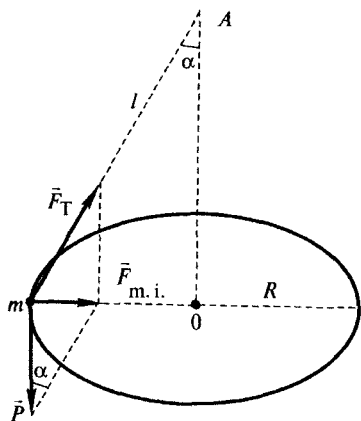
Berilgan: $l = 60 \text{ sm} = 0,6 \text{ m}$, $\alpha = 30^\circ$.

Topish kerak: $v - ?$

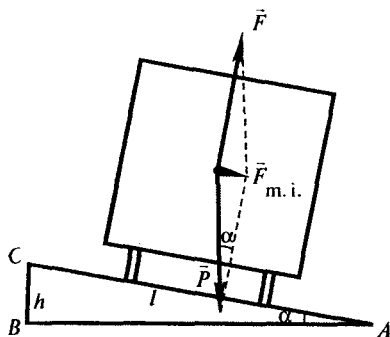
Yechilishi. Yukka \vec{P} og'irlik kuchi bilan ipning \vec{F}_T taranglik kuchi ta'sir qiladi. Bu kuchlarning teng ta'sir etuvchi $\vec{F}_{m.i.}$ kuchi yukka markazga intilma tezlanish beradi (76- rasm). Nyutonning ikkinchi qonuniga muvofiq, yukning harakat tenglamasi quyidagicha bo'ladi;

$$m\vec{a} = \vec{F}_T + \vec{P} = \vec{F}_{m.i.},$$

bu yerda $a = \frac{v^2}{R}$ — markazga intilma tezlanish, R — aylananing radiusi.



76- rasm.



77- rasm.

Rasmdan:

$$F_{m.i.} = P \operatorname{tg} \alpha = mg \operatorname{tg} \alpha, R = l \sin \alpha.$$

Binobarin,

$$\frac{mv^2}{l \sin \alpha} = mg \operatorname{tg} \alpha$$

bo'ladi. Bundan yukning chiziqli tezligini topamiz:

$$v = \sqrt{l g \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha}.$$

Hisoblash:

$$v = \sqrt{0,6 \text{ m} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin 30^\circ \cdot \operatorname{tg} 30^\circ} = 1,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

8- masala. Poyezd radiusi 400 m bo'lgan burilishdan $54 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ tezlik bilan ketayotganda poyezdning relslarga bosim kuchi unga perpendikulyar bo'lishi uchun tashqi relsni ichki relsdan qancha baland ko'tarish kerak? Relslar oralig'ining kengligi 152,4 sm ga teng.

Berilgan: $R = 400 \text{ m}$, $v = 54 \frac{\text{km}}{\text{soat}} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $l = 152,4 \text{ sm} = 1,524 \text{ m}$.

Topish kerak: $h - ?$

Yechilishi. Vagonga \vec{P} og'irlik kuchi bilan \vec{F} tayanch reaksiyasi kuchi ta'sir qiladi (77- rasm). Ularning gorizontal yo'nalgan $\vec{F}_{m.i.}$ teng ta'sir etuvchisi poyezdga markazga intilma tezlanish beradi. Rasmdan

$$F_{m.i.} = P \operatorname{tg} \alpha \quad \text{va} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{\sqrt{l^2 - h^2}}$$

ekanligini aniqlab olamiz. $P = mg$ va $F_{m.i.} = \frac{mv^2}{R}$ ekanligini e'tiborga olib, quyidagi munosabatni hosil qilamiz:

$$\frac{mv^2}{R} = mg \frac{h}{\sqrt{l^2 - h^2}}$$

Bu tenglamani izlanayotgan kattalikka nisbatan yechsak,

$$h = \frac{v^2 l}{\sqrt{v^4 + R^2 g^2}}$$

ifoda kelib chiqadi.

Hisoblash:

$$h = \frac{\left(15 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 1,524 \text{ m}}{\sqrt{\left(15 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^4 + (400 \text{ m})^2 \cdot \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2}} = 8,57 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$



Mustaqil yechish uchun masalalar

35. Massasi 2,5 kg, 800 g, 1,2 t, 50 g bo'lgan jismga ta'sir qiladigan og'irlik kuchini toping.

36. Og'irligi $5 \cdot 10^3 \text{ N}$ bo'lgan vagoncha $30 \frac{\text{sm}}{\text{s}^2}$ tezlanish bilan harakatlanmoqda. Harakatlantiruvchi kuchni toping.

37. Massasi 70 kg bo'lgan ishchi massasi 40 kg bo'lgan yukni ko'tarib turibdi. Ishchi yerga qancha kuch bilan ta'sir etmoqda?

38. Sirpanchiq yo'lda yukli avtomobilning g'ildiragi yuksiz avtomobil g'ildiragiga qaraganda nima uchun joyidan tezroq siljib ketadi?

39. Avtomobil gorizontaal tekislikda $36 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ tezlik bilan harakatlanmoqda. Motor o'chirilgandan keyin u 125 m masofani o'tib, so'ng to'xtaydi. Ishqalanish koeffitsientini aniqlang.

40. Agar ishqalanish koeffitsienti 0,05 ga teng bo'lsa, gorizontaal yo'lda 600 N kuch bilan qanday massali yukni tekis harakatga keltirish mumkin?

41. Velosipedchi $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan harakat qilmoqda. U pedalni

to'xtatgandan keyin qancha masofani bosadi? Ishqalanish koeffitsienti 0,05 ga teng.

42. Bikrligi $10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ bo'lgan prujinani 10 sm cho'zish uchun unga qancha yuk osish kerak?

43. Massasi 2 t bo'lgan avtomobilni $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ tezlanish bilan shatakka olib ketayotganda bikrligi $100 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ bo'lgan po'lat simning cho'zilishini toping. Ishqalanishni hisobga olmang.

44. Massasi 10 kg bo'lgan taxtacha gorizont tekislikda yotibdi. Agar taxtacha bilan tekislik orasidagi ishqalanish kuchi 5 N ga teng bo'lsa, gorizont yo'nalishda taxtachaga qanday kuch bilan ta'sir etganda, u 2 sekunddan keyin $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlikka erishadi?

45. Uzunligi 5 m va balandligi 3 m bo'lgan qiya tekislikda 50 kg massali yuk turibdi. Bu yukni tutib turish uchun tekislik bo'ylab yo'nalgan qanday kuch qo'yish lozim? Yuqoriga tekis chiqarish uchun-chi? $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ tezlanish bilan chiqarish uchun-chi? Ishqalanish koeffitsienti 0,2.

46. Uzunligi 30 sm bo'lgan rezina shnurga bog'langan 50 g massali sharcha gorizont tekislikda $3 \frac{\text{ayl}}{\text{s}}$ chastota bilan aylanadi. Agar shurning bikrlik koeffitsienti $980 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ bo'lsa, bu aylanishda shnur qancha cho'ziladi?

47. Gorizont turgan disk $15 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ chastota bilan aylanadi. Diskda aylanish o'qidan 12 sm uzoqlikda jism yotibdi (66- b rasmga q.). Jismning diskdan sirpanib uchib ketmasligi uchun ishqalanish koeffitsienti qanday bo'lishi kerak?

48. 60 sm uzunlikdagi ipga osilgan 100 g massali toshni gorizont tekislikda 20 sm radiusli aylana bo'ylab aylanishga majbur etuvchi kuchni toping. Toshning og'irligi 0,98 N ga teng.

49. $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan harakatlanayotgan konkida uchuvchining muzga nisbatan qiyaligi 60° bo'lganda, uning aylanish radiusi qancha?

50. Samolyot $360 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ o'zgarimas tezlik bilan vertikal tekislikda „Nesterev sirtmog'i“ (aylana)ni yasayapti. Agar uchuvchining massasi 70 kg bo'lsa, trayektoriyaning eng yuqori va eng quyi nuqtalarida u o'rindiqqa qanday kuch bilan bosadi?

46- §. Butun olam tortishish qonuni. Gravitatsion va inert massa

Tajriba va kuzatishlardan ma'lumki, Yerning tortishi ta'sirida jismlar Yerga tushadi. Yerga tushishga qarshilik ko'rsatayotgan taglikni bosadi yoki osmani cho'zadi. Ko'zga ko'rinmaydigan juda mayda zarralar ham ko'zga ko'rinadigan narsalar singari Yerga tortiladi. Qisqasi, hamma jismlar, katta-kichikligidan qat'iy nazar Yerga tortiladi. Bunday tortishish kuchi og'irlik kuchi deb atalishini biz 38- § da ko'rgan edik.

Yer sharoitida jismlarning tushishini va osmon jismlarining harakatini o'rganib Nyuton, og'irlik kuchi faqat Yer sirti yaqinida turgan jisimgagina ta'sir etmasdan, balki jismlar qayerda turgan bo'lsa ham ta'sir etadi, degan xulosaga keladi. Binobarin, barcha jismlar o'zaro bir-biriga tortiladi. Jismlar orasidagi o'zaro tortishish kuchlari *butun olam tortishish kuchlari* deb ataladi. Jismlarning Yerga tushishi, Oyning Yer atrofida berk orbita bo'ylab harakatlanishi, sayyoralarning Quyosh atrofida harakatlanishi va shunga o'xshash boshqa harakatlar butun olam tortishish kuchlari ta'sirida bo'ladi.

Buyuk alloma Abu Rayhon Beruniy hatto atomdan keyingi bo'lakchalar orasida ham o'zaro tortishish kuchi mavjudligini aytgan. U Abu Ali Ibn Sinoga yo'llagan maktublaridan birida shunday yozadi: „... Faraz qilaylik, atom ikki bo'lakka bo'linsin. Bu bo'lakchalar orasida bo'shliq bo'lib, bu bo'lakchalar harakatda va ul bo'lakchalar orasida o'zaro ta'sir kuchi mavjuddir“.

Maktab kursidan ma'lumki, atom tarkibida elektron va proton bo'lib, elektron Yevropada XIX asrning oxirlarida kashf qilindi. Bobokalonimiz Beruniy esa ana shu zarrachalar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlarini eslatish bilan birga, jismlar orasida ham, osmon jismlari bilan Yer orasida ham o'zaro tortishish kuchi mavjudligini eslatadi. Beruniyning bu g'oyalari qariyb olti asr keyin I. Nyutonning butun olam tortishish qonunida takomilla-shib, o'zining to'liq ifodasini topdi.

Nyuton o'zining va o'zigacha bo'lgan olimlarning kuzatishlariga asoslanib sayyoraning Quyosh bilan tortishish kuchi Quyosh va sayyoraning massalari ko'paytmasiga to'g'ri pro-

proporsional, ular orasidagi masofaning kvadratiga teskari proporsional bo'lishini aniqladi. Yer va uning tabiiy yo'ldoshi Oy orasidagi tortishish kuchi, shuningdek, Yer va Yerdagi ixtiyoriy jismning tortishish kuchini hisoblab, Nyuton jismning og'irlik kuchi ham Yer va shu jismning massalari ko'paytmasiga to'g'ri proporsional va ularning orasidagi masofaning kvadratiga teskari proporsional ekanligini aniqladi. Bundan *jismlarning Yerga tortishish kuchi* (ya'ni og'irlik kuchi) *tortishish namoyon bo'lishining xususiy holi*, degan xulosa kelib chiqadi.

Xulosalar natijasida Nyuton 1697- yili quyidagi qonunni yaratdi: *barcha moddiy nuqtalar ularning massalari ko'paytmasiga to'g'ri proporsional va ular orasidagi masofaning kvadratiga teskari proporsional kuch bilan bir-biriga tortiladi.*

Bu qonun *butun olam tortishish qonuni* deb ataladi.

Moddiy nuqtalarning massalarini m_1 va m_2 bilan, ular orasidagi masofani r bilan belgilab, butun olam tortishish qonunini quyidagi formula orqali ifodalash mumkin:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (92)$$

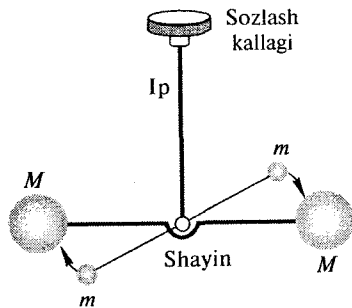
bunda F — butun olam tortishish kuchi, G — tabiatdagi barcha jismlar uchun bir xil bo'lgan proporsionallik koeffitsienti bo'lib, bu koeffitsientni *tortishish doimiysi* yoki *gravitatsion doimiy* deb ataladi.

Gravitatsion doimiyning fizik ma'nosini aniqlaylik.

Agar, $m_1 = m_2 = 1$ kg va $r = 1$ m bo'lsa, u holda (92) formuladan $F = G$ ni hosil qilamiz. Demak, gravitatsion doimiy son qiymati jihatidan bir-biridan birlik masofada turgan birlik massali ikki moddiy nuqtaning o'zaro tortishish kuchiga teng ekan. Gravitatsion doimiyning son qiymatini birinchi marta qariyb yuz yildan so'ng ingliz olimi Kavendish 1798- yilda sezgir burama tarozi yordamida aniqladi.

Tajriba quyidagicha amalga oshirilgan. Yengil shayinga mahkamlangan har birining massasi m ga teng bo'lgan ikkita qo'rg'oshin shar elastik ip yordamida simmetrik o'rnatilgan (qo'zg'almas) M sharlar yoniga joylashtirilgan (78- rasm). Sharlar bir-biriga tortilganda ip buraladi. Uning buralishiga

qarab tortishish kuchini aniqlash mumkin. Ipinning yuqorigi uchi sozlash moslamasiga mahkamlanib, bu moslamani burash orqali m va M sharlar orasidagi masofani o'zgartirish mumkin. Sharlarning massasi m va M lar, sharlar orasidagi r masofa va tortishish kuchi ma'lum bo'lgandan so'ng, gravitatsion doimiyning qiymati



78- rasm.

$$G = \frac{Fr^2}{mM} \quad (93)$$

ifodadan hisoblab topiladi. Hozirgi vaqtda gravitatsion doimiyning qiymati quyidagiga teng:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}. \quad (94)$$

Jismlarning fazoda o'zaro tortishishi maxsus ko'rinishdagi moddiy bog'lanish (vositachi) yordamida amalga oshadi. Bu quyidagicha tushuntiriladi.

Hozirgi zamon fizikasi nuqtayi nazaridan materiyaning yashash shakli modda va maydon ko'rinishida bo'ladi. Maydonning xossalari moddaning xossalaridan ancha farq qiladi. Agar modda biror maydon ta'siriga duch kelsa, uning o'zi ham shunday maydonni hosil qilishi mumkin: modda va maydon o'zaro dialektik bog'lanishdadir. Shuning uchun jismlarning fazo orqali bo'ladigan har qanday o'zaro ta'sirini shunday tasavvur qilish mumkin: birinchi jism o'z atrofida ikkinchi jismga ta'sir qiladigan maydon hosil qiladi va shu maydon orqali unga ta'sir etadi; o'z navbatida ikkinchi jism o'z maydoni orqali birinchi jismga ta'sir ko'rsatadi.

Shunday qilib, jismlarning fazo orqali o'zaro ta'siri faqat moddiy vositachi asosidagina amalga oshadi. Jismlarning fazo orqali o'zaro tortishishida *gravitatsion maydon*, ya'ni *tortishish kuchlari maydoni* moddiy vositachi bo'ladi.

Gravitatsion maydon materiyaning maxsus ko'rinishi bo'lib, uning vositasida jismlar o'zaro tortishishadi.

Nyutonning ikkinchi qonunida va butun olam tortishish qonunida massa tushunchasi ishtirok etadi. Birinchi holda u jismning inert xossalarini tavsiflaydi va *inert massa* deb ataladi; ikkinchisida esa — gravitatsion xossalarini tavsiflaydi va *gravitatsion massa* deb ataladi. Bu massalar bir-biridan farq qiladimi yoki yo'qmi, degan savol tug'ilishi tabiiy. Bu savolga faqat tajribalargina javob berishi mumkin. Shu maqsadda amalga oshirilgan tajribalardan topilgan dalillarning hammasi *hamma jismlarning inert va gravitatsion massalari qat'iy bir-biriga proporsional* ekanligini ko'rsatdi. Bu shuni bildiradiki, o'lchov birliklarini tegishlicha tanlab olingan gravitatsion va inert massalar aynan teng bo'ladi. Shu sababdan fizikada to'g'ridan-to'g'ri massa haqida gap yuritiladi.

47- §. Yer aylanma harakatining erkin tushish tezlanishiga ta'siri

Avvalgi paragrafda og'irlik kuchi butun olam tortishish kuchlarining namoyon bo'lishining xususiy holi ekanligini qayd qilib o'tgan edik. Shunday ekan, Yer sirtida bo'lgan m massali jismga ta'sir etuvchi og'irlik kuchi, butun olam tortishish qonuniga muvofiq,

$$P = G \frac{mM}{R^2}$$

formuladan aniqlanishi mumkin, bu yerda M — Yerning massasi, R — uning radiusi.

Dinamikaning ikkinchi qonuniga muvofiq, $P = mg$ edi, binobarin,

$$mg = G \frac{mM}{R^2}$$

deb yozish mumkin. Bundan erkin tushish tezlanishini topsak,

$$g = G \frac{M}{R^2} \quad (95)$$

bo'ladi. Bu ifoda erkin tushish tezlanishi Yerning massasi va uning radiusiga bog'liq bo'lib, tushayotgan jismning massasiga bog'liq

bo'lmashligini ko'rsatadi. Bu Yer sirtining berilgan nuqtasida erkin tushish tezlanishi barcha jismlar uchun bir xil bo'lishini bildiradi.

Agar Yer aynan shar shaklida bo'lib, o'z o'qi atrofida aylanmaganda edi, erkin tushish tezlanishi Yer sirtining barcha nuqtalarida o'zgaras va jismning og'irligi Yerga tortilish kuchiga teng bo'lar edi. Biroq Yer shari qutblar yaqinida bir oz yassiroq ekanligidan va Yerning o'z o'qi atrofida sutkalik aylanishidan erkin tushish tezlanishi Yerning turli joylarida turli qiymatlarga ega bo'ladi.

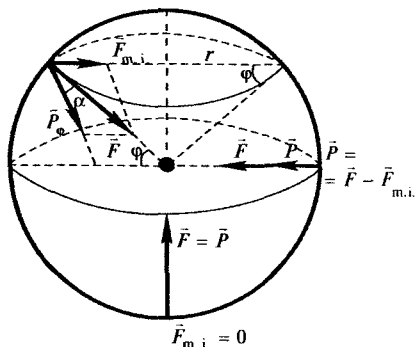
Darhaqiqat, Yer sharga aynan o'xshamasligidan va qutblari bir oz yassiroq bo'lganidan, Yerning markazidan uning sirtida turgan jismgacha bo'lgan masofa uning qutblarida boshqa joylaridagidan kichikroq, ekvatorida kattaroq bo'ladi. Binobarin, erkin tushish tezlanishi qutblarda eng katta (g tezlanish R^2 teskari proporsional ekanligidan ((95) formulaga q.), ekvatorida esa eng kichik qiymatga ega bo'ladi.

Yerning sutkalik aylanishi tufayli turli geografik kenglikda yotgan nuqtalarning chiziqli tezliklari har xil bo'ladi: u qutblarda nolga teng, ekvatorida eng katta bo'ladi. Shuning uchun Yer nuqtalarining aylanma harakatini ta'minlovchi kuchlar har xil bo'ladi Bu holda markazga intilma kuch tortishish kuchining tashkil etuvchilaridan biri bo'ladi.

79- rasmda Yer sirtida ixtiyoriy m massali jismning o'rta geografik kenglikdagi, qutb va ekvatoridagi vaziyati sxematik tasvirlangan. Jismga ta'sir etuvchi va Yerning markaziga tomon yo'nalgan \vec{F} tortishish kuchini ikkita kuchga ajratish mumkin. Ulardan biri jismning Yer bilan birga aylanishini ta'minlovchi $\vec{F}_{m.i.}$ markazga intilma kuch bo'lsa, ikkinchisi yuk tarang qilib tortib turgan ipning yo'nalishi (u osma yo'nalishi deb yuritiladi) bo'yicha ta'sir etuvchi P_φ og'irlik kuchidir. Rasmdan ko'rinishi-cha, og'irlik kuchining yo'nalishi faqat qutbda va ekvatorida Yer radiusi bilan ustma-ust tushadi.

Shunday qilib,

$$\vec{F} = \vec{P}_\varphi + \vec{F}_{m.i.}$$



79- rasm.

$$F = P_{\varphi} \cos \alpha + F_{m.i.} \cos \varphi \quad (96)$$

bo‘ladi, bu yerda α — og‘irlik kuchi bilan tortishish kuchi yo‘nalishlari orasidagi burchak.

Hisoblashlarga ko‘ra φ geografik kenglikka qarab α burchak noldan (ekvatorda va qutblarda) to 6‘ gacha (45° kenglikda) tebranib turar ekan. Shuning uchun $P_{\varphi} \cos \alpha \approx P_{\varphi}$ deb hisoblash mumkin.

79- rasmdan ko‘rinishicha $r = R \cos \varphi$, demak, markazga intilma kuch

$$F_{m.i.} = m\omega r^2 = m\omega^2 R \cos \varphi$$

ga teng bo‘ladi. $F = G \frac{mM}{R^2}$ ekanini nazarga olgan holda (96) formulani

$$G \frac{mM}{R^2} = P_{\varphi} + m\omega^2 R \cos^2 \varphi$$

ko‘rinishga keltirish mumkin. Bundan og‘irlik kuchi uchun

$$P_{\varphi} = G \frac{mM}{R^2} - m\omega^2 R \cos^2 \varphi \quad (97)$$

ifodani hosil qilamiz. (97) formuladan og‘irlik kuchi jism turgan joyning kengligiga bog‘liq ekanligi kelib chiqadi: qutbdan ekvatorga qarab yo‘nalishda $\cos \varphi$ va R larning qiymati ortishi tufayli og‘irlik kuchi kamayib boradi. Qutblarda $\varphi = 90^\circ$ bo‘lgani

deb yozish mumkin. Bu geometrik yig‘indini skalyar yig‘indi bilan almashtirish uchun \vec{P}_{φ} va $\vec{F}_{m.i.}$ vektorlarni \vec{F} vektor yo‘nalishga proyeksiyalaymiz $\vec{P} = \vec{F} - \vec{F}_{m.i.}$ (79- rasimga q.). Vektorlar yig‘indisining biror yo‘nalishga proyeksiyasi qo‘shilayotgan vektorlarning o‘sha yo‘nalishga proyeksiyalari yig‘indisiga teng ekanligidan (7- § ga q.)

uchun $P = G \frac{mM}{R^2}$ va ekvatorida $\varphi = 0^\circ$ bo'lgani uchun $P = G \frac{mM}{R^2} - mR\omega^2$ bo'ladi.

Erkin tushish tezlanishi $g = \frac{P}{m}$ bo'lgani uchun (97) formuladan

$$g = G \frac{M}{R^2} - \omega^2 R \cos^2 \varphi \quad (98)$$

ifoda kelib chiqadi. Demak, erkin tushish tezlanishi ham qutbdan ekvatorga qarab kamayib boradi: qutblarda eng katta $\left(g = 9,83 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$, ekvatorda esa eng kichik $\left(g = 9,78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$ qiymatga ega bo'ladi. Dengiz sathida va 45° geografik kenglikda erkin tushish tezlanishining qiymati *normal tezlanish* deyiladi. Normal tezlanish $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ (aniqrog'i $9,80655 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$) ga teng.

48- §. Erkin tushish tezlanishining balandlikka qarab o'zgarishi

Berilgan geografik kenglikda jismlarning erkin tushish tezlanishi (95) formula bilan aniqlanishini ko'rdik. Bu formula faqat jism Yerning sirtida turgan yoki Yerning sirtiga yaqin joyda bo'lib, u turgan balandlik erkin tushish tezlanishining kattaligiga deyarli ta'sir etmagan holdagina o'rinalidir. Agar jism turgan balandlik erkin tushish tezlanishining kattaligiga yetarlicha ta'sir etsa, u holda g ni hisoblash formulasini qanday ko'rinishda bo'lishligini aniqlaylik.

Faraz qilaylik, jism Yerning sirtidan h balandlikda turgan bo'lsin. Bu vaqtda jism bilan Yer orasidagi tortishish kuchi, ya'ni og'irlik kuchi, butun olam tortishish qonuniga muvofiq, quyidagicha bo'ladi:

$$F = P_h = G \frac{mM}{r^2} = G \frac{mM}{(R+h)^2}. \quad (99)$$

Bundan erkin tushish tezlanishini topsak,

$$g_h = G \frac{M}{(R+h)^2} \quad (100)$$

bo'ladi. (99) va (100) formulalardan ko'rinadiki, Yer sirtidan jism uzoqlashib borganda og'irlik kuchi va demak, erkin tushish tezlanishi kamayib boradi. Masalan, 300 km yuqoriga ko'tarilganda erkin tushish tezlanishi taxminan $1 \frac{m}{s^2}$ ga kamayadi. Yerning radiusiga teng balandlikda esa erkin tushish tezlanishi $2,45 \frac{m}{s^2}$ ga teng bo'ladi.

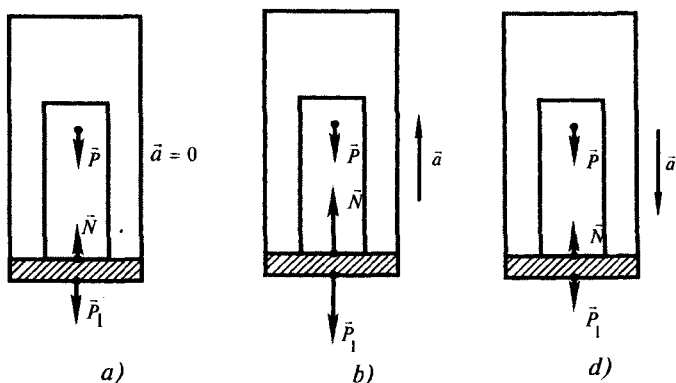
49- §. Tezlanish bilan harakatlanayotgan jismning og'irligi. Vaznsizlik

Bizga ma'lumki, Yerning tortishi natijasida jismning tayanchga yoki osmaga ko'rsatadigan ta'sir kuchi shu jismning og'irligi edi (38-§ ga q.). Agar tayanch yoki osma Yerga nisbatan tinch tursa yoki to'g'ri chiziqli tekis harakat qilsa, jismning og'irligi og'irlik kuchiga teng bo'ladi. Biroq tayanch yoki osma vertikal yo'nalishda yuqoriga yoki pastga tezlanish bilan harakat qilsa, jismning og'irligi og'irlik kuchidan farq qiladi. Buning sababini harakat qonunlaridan foydalanib qarab chiqaylik.

Faraz qilaylik, liftning polida m massali yuk turgan bo'lsin. Lift tekis harakat qilganda yoki tezlanish bilan harakat qilganda yukning og'irligi P_1 qancha bo'lishini aniqlaylik (80- rasm).

1. Agar lift tekis harakat qilsa yoki tinch holatda bo'lsa (Yerga nisbatan), yukka bir-birini muvozanatlaydigan ikkita: \vec{P} og'irlik kuchi va \vec{N} polning (tayanchning) reaksiya kuchi qo'yilgan bo'ladi (80- a rasm). Nyutonning uchinchi qonuniga asosan yuk liftning poliga (tayanchga) kattalik jihatidan \vec{N} ga teng bo'lgan \vec{P}_1 kuch bilan bosadi. Demak, vertikal yo'nalishda tezlanish bo'lmaganda $|\vec{N}| = |\vec{P}|$ bo'lgani uchun jismning og'irligi og'irlik kuchiga teng bo'ladi:

$$\vec{P}_1 = \vec{P} \quad \text{yoki} \quad P_1 = P.$$



80- rasm.

2. Lift yuqoriga \bar{a} tezlanish bilan harakat qilayotgan holni ko'raylik. Bunda lift \bar{a} tezlanish bilan harakatlana boshlaganda yuk hali tezlanish olib ulgurmagan bo'ladi. Shuning uchun tayanchning va yukning deformatsiyasi ortib boradi, bu esa \bar{N} va \bar{P}_1 kuchlarning ortishiga sabab bo'ladi (80- b rasm). Yukning olgan tezlanishi liftning olgan tezlanishiga teng bo'lganda kuchlar o'zgarishdan to'xtaydi. Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan yukning harakat tenglamasi

$$m\bar{a} = \bar{N} - \bar{P}$$

yoki skalyar ko'rinishda

$$ma = N - P$$

bo'ladi. $|\bar{N}| = |\bar{P}_1|$ ekanligidan bu tenglama

$$ma = P_1 - P$$

bo'ladi. Bundan yukning og'irligi ifodasini hosil qilamiz:

$$P_1 = P + ma. \quad (101)$$

Shunday qilib, yuqoriga tezlanish bilan harakatlanayotgan jismning og'irligi og'irlik kuchidan jismga tezlanish beruvchi kuch kattaligi qadar ortar ekan.

Jismning tezlanish bilan harakat qilishi tufayli jism og'ir-
ligining oshuvi *yuklama* deyiladi. Masalan, Yerdan ko'tari-

layotgan vaqtda uchuvchilar, kosmonavtlar, samolyotdagi yo'lovchilar shunday yuklamani sezadilar.

3. Endi lift \vec{a} tezlanish bilan pastga tushayotgan holni ko'rib chiqaylik (80- d rasm). Bunda yuk hali tezlanish ololmagani uchun lift polining (tayanchning) va yukning deformatsiyalari kamayib boradi, bu \vec{N} va \vec{P}_1 kuchlarning kamayishiga sabab bo'ladi. Yukning tezlanishi \vec{a} ga teng bo'lganda kuchlar o'zgarishdan to'xtaydi. Bu hol uchun ham yukning harakat tenglamasini, Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan, quyidagicha yoza olamiz:

$$m\vec{a} = \vec{P} + \vec{N}.$$

$\vec{N} = -\vec{P}_1$ ekanini nazarga olsak, u holda tenglama

$$m\vec{a} = \vec{P} - \vec{P}_1 \text{ yoki } ma = P - P_1$$

ko'rinishga keladi. Bundan yukning og'irligi

$$P_1 = P - ma \quad (102)$$

bo'ladi.

Shunday qilib, pastga tezlanish bilan harakat qilayotgan jismning og'irligi og'irlik kuchidan jismga tezlanish beruvchi kuch kattaligiga qadar kichik bo'lar ekan. Kosmik kemalar, samolyotlar Yerga tushayotganda ularning ichidagi jismlarga shunday ta'sir yuzaga keladi.

4. Agar lift $\vec{a} = \vec{g}$ tezlanish bilan pastga tushayotgan bo'lsa, ya'ni erkin tushayotgan bo'lsa, u holda jismning og'irligi nolga teng bo'lishini ko'rsatish qiyin emas. Haqiqatan, $a = g$ bo'lganda (102) formuladan

$$P_1 = P - ma = m(g - a) = 0$$

ekani kelib chiqadi. Bunday sharoitda jism bilan tayanch (yoki osma) o'zaro ta'sirlashmaydi. Tajriba erkin tushish vaqtida jismning og'irligi nolga teng bo'lishini ko'rsatadi. Bu vaqtda jism (yuk) *vaznsizlik holatida* bo'ladi. Bu yerda jismlarning faqat og'irlik kuchi ta'siridagina erkin tushishini va og'irlik kuchi — bu butun olam tortishish kuchi ekanligini qayd qilib o'tamiz.

Demak, *faqat butun olam tortishish kuchlari ta'sirida harakat qiladigan har qanday jism vaznsizlik holatida bo'ladi.*

Jismlarning vaznsizlik holati kosmik kemalarning boshqa sayyoralar yoki yulduzlarga uchishida, yoʻldosh kemalarning Yer atrofida yoki boshqa sayyoralar atrofida doiraviy orbita boʻyicha uchishida, shoʻngʻiyotgan samolyotlarda vujudga kelishi mumkin. Vaznsizlik holatida kosmonavt kosmik kema oʻrindigʻiga bosim bermaydi va, binobarin, Nyutonning uchinchi qonuniga binoan, oʻrindiq ham kosmonavtga taʼsir koʻrsatmaydi.

50- §. Sayyora va sunʼiy yoʻldoshlarning harakati. Kosmik tezliklar

Jismlarning Yerga tushishi, mayatniklarning tebranishi, sayyoralar va sunʼiy yoʻldoshlarning harakatlari va boshqa shu kabi misollar jismlar oʻrtasida tortishish kuchlarining mavjudligidan dalolat beradi.

Maʼlumki, Yevropada birinchi boʻlib geliosentrik taʼlimotni kashf qilib berish bilan Yevropa fanida inqilobiy burilish yasagan Kopernik (1473—1543) ham osmon jismlarining harakatini aylanma harakat deb hisoblagan edi. Biroq buyuk alloma, yetuk mutafakkir, bobokalonimiz Abu Rayhon Beruniy (973—1050) esa Kopernikdan qariyb 500 yil ilgari oʻzining ilmiy kuzatishlari asosida osmon jismlarining harakati ellips shaklida boʻladi, deb aytgan edi. U sayyoralar Quyosh atrofida aylanadi degan soʻzni tamomila aylana shaklida deb tushunmaslik kerak, ular (sayyoralar) bir marta aylanib kelishida Quyoshga ikki marta yaqinlashib, ikki marta uzoqlashadi, deganida hozirgi atama bilan aytadigan boʻlsak, sayyoralarning Quyosh atrofidagi harakati ellips shaklidagi harakatni eslatadi. Beruniyning bu kashfiyoti, shubhasiz, juda muhim ahamiyatga ega. U keyinchalik Kepler (1571—1630) tomonidan qilingan buyuk kashfiyotga debocha boʻldi. U astronom Bragening kuzatuvlari natijasidan foydalanib, sayyoralarning harakat qonunlarini yaratdi.

Yerning sunʼiy yoʻldoshi va barcha sayyoralar Kepler qonunlariga boʻysungan holda harakatlanadilar.

Sunʼiy yoʻldoshlarni moʻljallangan orbitaga chiqarish uchun ularga reaktiv dvigatellar oʻrnatiladi. Dvigateldagi yonilgʻi yonishi bilan kosmik kema harakatga kelib, u moʻljallangan orbitaga

chiqqandan so'ng, Yer atrofini aylanish uchun yetarli bo'lgan tezlikka erishadi.

Kosmik kema orbitaga chiqarilgandan so'ng Yer atrofida kemanding erkin harakati boshlanadi. Erkin uchishda kema ichidagi jismlarga ta'sir etuvchi tortishish kuchi markazga intilma kuchga teng, ularning kemaga bo'ladigan bosim kuchi nolga teng bo'ladi. Bunday sharoitda kosmik kemanding ichidagi barcha jismlar kema ichida erkin uchib yurishi mumkin, ya'ni vaznsizlik holatida bo'ladilar. Kosmik kema Yer atrofini aylanishi va sun'iy yo'ldosh bo'lib qolishi uchun Yer yuzidan uni qanday tezlik bilan uchirish kerak, degan savol tug'iladi.

Yer yuzidan h balandlikda v_0 boshlang'ich tezlik bilan gorizontol yo'nalishda otilgan jismning qanday harakatlanishini 29- § da ko'rgan edik. Bunda tortishish kuchi ta'sirida jism gorizontol yo'nalishdan og'ib, parabola bo'yicha harakatlanadi va Yerga tushadi. Jismning v_0 boshlang'ich tezligini oshira borib, jism trayektoriyasining egriligini Yer sirtining egriligiga moslash mumkin, bunda jism Yerga yaqinlashmaydi ham, undan uzoqlashmaydi ham. Agar havoning qarshiligi va boshqa qarshiliklar hisobga olinmasa, jism harakati davomida Yer sirtidan birday h balandlikda bo'lib, tezligini saqlaydi va Yer atrofida aylana bo'ylab harakat qiladi.

Modomiki, jism aylana bo'ylab harakat qilargan, uning

$$a_{m.i.} = \frac{v_0^2}{R+h}$$

ga teng markazga intilma tezlanishi bo'ladi. Jismga bu tezlanishni beruvchi markazga intilma kuch

$$F_{m.i.} = \frac{mv_0^2}{R+h},$$

jismga ta'sir qiluvchi og'irlik kuchi $P = mg$ ga teng bo'ladi. Binobarin,

$$mg = \frac{mv_0^2}{R+h},$$

bundan

$$v_0 = \sqrt{g(R+h)} \quad (103)$$

bo'ladi yoki (100) formuladan g ning qiymatini bu ifodaga keltirib qo'ysak, u holda

$$v_0 = \sqrt{G \frac{M}{R+h}} \quad (104)$$

bo'ladi. Demak, jismga gorizontal yo'nalishda (104) formula bilan aniqlanuvchi tezlik berilsa, jism Yer atrofida uning sirtidan h balandlikda aylana bo'ylab harakat qiladi, ya'ni Yerning sun'iy yo'ldoshi bo'lib qoladi.

h balandlik Yerning R radiusiga qaraganda ancha kichik, uni tashlab yuborsak, v_0 uchun quyidagi ifodalarga ega bo'lamiz:

$$v_0 = \sqrt{gR} = \sqrt{G \frac{M}{R}}. \quad (105)$$

Bu formulalardan ixtiyoriy biriga kattaliklarning $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$,

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}, \quad R = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}, \quad M = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

qiymatlarini qo'yib v_0 ni topamiz:

$$v_0 = \sqrt{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}} \approx 7,9 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 7,9 \frac{\text{km}}{\text{s}},$$

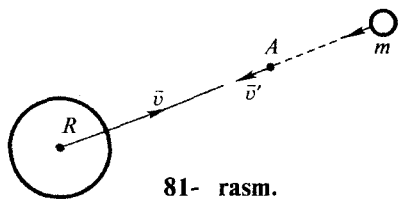
$$v_0 = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \cdot \frac{6 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{6,37 \cdot 10^6 \text{ m}}} \approx 7,9 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 7,9 \frac{\text{km}}{\text{s}}.$$

Bu tezlik *birinchi kosmik tezlik* deyiladi.

Har qanday massali jismga birinchi kosmik tezlikka teng tezlik berilsa, bu jism Yerning sun'iy yo'ldoshi bo'la oladi.

v_0 tezlikka ega bo'lgan jism Yerga tushib ketmaydi. Biroq bu tezlik jismning Yerning tortishish ta'siri doirasidan chiqib ketishi uchun yetarli emas. Buning uchun jismga zarur bo'lgan tezlik *ikkinchi kosmik tezlik* deyiladi.

Ikkinchi kosmik tezlikni quyidagicha aniqlash mumkin. Faraz qilaylik, jism Yer sirtidan cheksiz uzoqlikda, ya'ni Yerning tortishish doirasidan tashqarida tinch holatda turgan bo'lsin. U holda jismning to'la energiyasi $E = 0$ bo'ladi. To'la energiya kinetik



81- rasm.

va potensial energiyalarning yig'indisidan iborat ekanligini inobatga olsak, u holda $E = E_k + E_p = 0$ bo'ladi. Yerning tortishish doirasi Yerdan aniq bir masofada tugaydi, deb aytib bo'lmaydi. Lekin Yerdan

uzoqlashgan sari Yer bilan jism orasidagi gravitatsion ta'sir,

butun olam tortishish qonuniga ko'ra, $\frac{1}{r^2}$ ga proporsional ravishda susayib boradi. Shuning uchun Yerdan cheksiz uzoqlikda turibdi, deb faraz qilingan jism juda sust bo'lsa ham yerning tortishish kuchi ta'sirida bo'ladi, deb hisoblash xato bo'lmaydi. U holda jism bu ta'sir natijasida Yerning markazidan o'tuvchi to'g'ri chiziq bo'yicha Yerga tomon harakatlana boshlaydi, deylik (81-rasm). Yerga tomon yaqinlashgan sari jismning tezligi, demak, kinetik energiyasi ortib boradi. Potensial energiya esa kamayib boradi. Yer sirtidan biror r balandlikda, masalan, fazoda ixtiyoriy olingan A nuqtada (81- rasmga q.)

$$\frac{m(v')^2}{2} = mg(r + R)$$

deb yozish mumkin, bu yerda R — Yerning radiusi, m — jismning massasi, v' — jismning A nuqtadan o'tayotgan paytdagi tezligi. Jism Yerning sirtiga yetib kelganda

$$\frac{mv^2}{2} = mgR$$

bo'ladi, bu yerda v — jismning Yer sirtiga yetib kelgandagi tezligi. Ana shu v tezlik jismning Yerning tortishish ta'siri doirasidan chiqib ketishi uchun unga berilishi lozim bo'lgan eng kichik tezlik bo'lib, u ikkinchi kosmik tezlikning o'zginasidir.

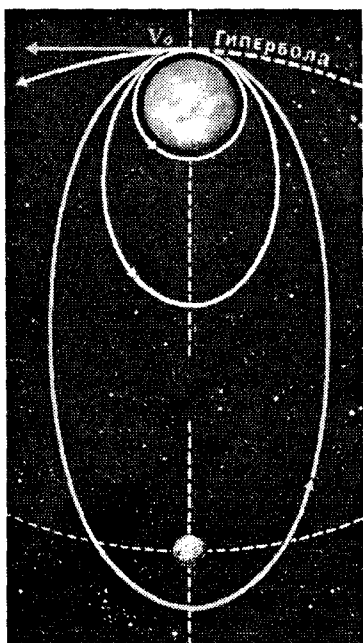
Shunday qilib, ikkinchi kosmik tezlik quyidagicha ifodalanadi:

$$v = \sqrt{2gR}. \quad (106)$$

(105) va (106) formulalarni taqqoslab, ikkinchi kosmik tezlik birinchi kosmik tezlikdan $\sqrt{2}$ marta katta ekanligini ko'ramiz.

Yerga nisbatan ikkinchi kosmik tezlik bilan uchirilgan jism ellips bo'yicha harakatlanadi va Quyosh yo'ldoshiga aylanadi. Ikkinchi kosmik tezlik taxminan 11,2 km/s ga teng. 82- rasmda jism birinchi, ikkinchi va undan kattaroq kosmik tezlik bilan Yerdan uchirilganda harakat trayektoriyasi tasvirlangan.

Jism Quyosh sistemasidan butunlay chiqib ketishi uchun unga Yerga nisbatan *uchinchi kosmik tezlik* berish zarur. Uchinchi kosmik tezlikning kattaligi jismning Yerning tortish ta'siri doirasidan qanday yo'nalishda chiqishiga bog'liq. Agar bu yo'nalish Yerning Quyosh atrofidagi orbital harakati yo'nalishiga to'g'ri kelsa, uchinchi kosmik tezlik minimal bo'lib, taxminan 16,7 km/s ga teng; bu yo'nalishlar qarama-qarshi bo'lsa, tezlik maksimal bo'lib, taxminan 72,7 km/s ga teng ekanligini tegishli hisoblashlar ko'rsatadi.



82- rasm.

1957- yil 4- oktabrda insoniyat tarixida birinchi bo'lib raketa yordamida massasi 85 kg bo'lgan jismga birinchi kosmik tezlik berishga muvassar bo'lindi. Bu jism Yerning birinchi sun'iy yo'ldoshi bo'lib qoldi.

1961- yilning 12- aprelida „Vostok“ kosmik kemasida inson Yer atrofini aylanib, Yerga muvaffaqiyatli qo'ngani kosmosni o'zlashtirish tarixida misli ko'rilmagan g'alaba bo'ldi. Bu mislsiz g'alaba kosmik fazoga insonning uchishlarini boshlab berdi.

1961- yilning 12- aprelida „Vostok“ kosmik kemasida inson Yer atrofini aylanib, Yerga muvaffaqiyatli qo'ngani kosmosni o'zlashtirish tarixida misli ko'rilmagan g'alaba bo'ldi. Bu mislsiz g'alaba kosmik fazoga insonning uchishlarini boshlab berdi.

51- §. Yopiq sistema. Impulsning saqlanish qonuni

Fizikada jismlar guruhi *jismlar sistemasi* (yoki qisqacha *sistema*) deb ataladi. (Shuningdek, molekularlar, atomlar, elementar zarralar to'plami ham sistema bo'la oladi). Sistemani

tashkil etuvchi jismlar ham o'zaro, ham berilgan sistemaga taalluqli bo'lmagan jismlar bilan o'zaro ta'sirlashishi mumkin. Shunga mos ravishda sistemadagi jismlarga ta'sir etuvchi kuchlarni ichki va tashqi kuchlarga ajratish mumkin. Kuzatilyotgan sistemadagi jismlarning o'zaro ta'sir kuchini *ichki kuchlar*, sistemadan tashqaridagi jismlarning sistemadagi jismlarga ta'sir kuchini esa *tashqi kuchlar* deb ataladi.

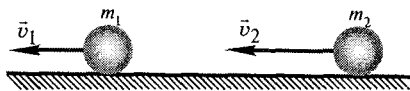
Sistemadagi jismlar faqat bir-biri bilan o'zaro ta'sirlashsa yoki sistemaga tashqi kuchlar ta'sir qilmasa (ya'ni tashqi kuchlar o'zaro muvozanatlashsa), bunday jismlar sistemasi yopiq (yoki izolyatsiyalangan) sistema deb ataladi.

Jism impulsini faqat son qiymati bilan emas, balki fazodagi yo'nalishi bilan ham tavsiflanadi. Jism impulsining yo'nalishi jism harakat tezligining yo'nalishi bilan mos keladi (36- § ga q.). Berk sistemada o'zaro ta'sirlashayotgan jismlarning impulsilari orasidagi munosabatni aniqlaylik. Shu maqsadda sistema massasi m_1 va m_2 bo'lgan va bir to'g'ri chiziq bo'ylab \vec{v}_1 va \vec{v}_2 tezlik bilan ayni bir yo'nalishda harakat qilayotgan ikkita po'lat shardan iborat deb faraz qilaylik (83-rasm). Ikkinchi sharning tezligi birinchi sharning tezligidan katta, ya'ni $v_2 > v_1$ bo'lsin. Birmuncha vaqtdan keyin ikkinchi shar birinchi sharga yetib oladi va sharlar bir-biriga uriladi. Natijada ularning tezliklari o'zgaradi. Sharlarning urilishdan keyingi tezliklarini \vec{v}'_1 va \vec{v}'_2 bilan, sharlarning o'zaro ta'sir vaqtini esa Δt bilan belgilaylik.

Sharlarning o'zaro ta'sirida, Nyutonning uchinchi qonuniga muvofiq, ularga son qiymati jihatidan teng va yo'nalishi qarama-qarshi bo'lgan kuchlar ta'sir qiladi, ya'ni

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2.$$

Impulsning o'zgarishi qonuni (72) ga muvofiq, bu kuchlar mos ravishda quyidagicha ifodalanadi:



83- rasm.

$$F_1 = \frac{m_1 \vec{v}'_1 - m_1 \vec{v}_1}{\Delta t}, \quad F_2 = \frac{m_2 \vec{v}'_2 - m_2 \vec{v}_2}{\Delta t}.$$

Binobarin,

$$\frac{m_1 \vec{v}'_1 - m_1 \vec{v}_1}{\Delta t} = - \frac{m_2 \vec{v}'_2 - m_2 \vec{v}_2}{\Delta t}$$

yoki

$$m_1\bar{v}'_1 - m_1\bar{v}_1 = -(m_2\bar{v}'_2 - m_2\bar{v}_2). \quad (107)$$

(107) formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$\Delta(m_1\bar{v}_1) + \Delta(m_2\bar{v}_2) = \Delta(m_1\bar{v}_1 + m_2\bar{v}_2) = 0,$$

ya'ni sharlar o'zaro ta'sirlashganda shu sharlar impulslarining umumiy o'zgarishi nolga teng. Bundan, bir-biri bilan ta'sirlashayotgan sharlarning umumiy impulsi o'zgarmas bo'lishi kelib chiqadi:

$$m_1\bar{v}_1 + m_2\bar{v}_2 = \text{const}, \quad (108)$$

ya'ni sharlarning o'zaro ta'sirlashuvigacha bo'lgan impulsi sharlarning o'zaro ta'sirlashuvidan keyingi impulsiga teng ekan. Bu natija jismlarning har qanday yopiq sistemasi va ixtiyoriy vaqt oralig'i uchun o'rinalidir.

Agar sistema n ta jismdan iborat bo'lsa, u holda (108) formulani quyidagi yig'indi bilan almashtirish mumkin:

$$\sum_{i=1}^n (m\bar{v})_i = \text{const} \quad (109)$$

bu yerda i — sistemadagi jismning tartib raqami, n — sistemadagi barcha jismlarning soni.

Yuqoridagi (108) formula *impulsning saqlanish qonunini* ifodalaydi.

Berk sistemada barcha jismlar impulslarining algebraik yig'indisi o'zgarmasdir.

Impulsning saqlanish qonuni fizikaning asosiy qonunlaridan biridir. Bu qonun faqat makroskopik jismlarning o'zaro ta'sirigagina emas, shuningdek, mikroskopik jismlar, molekularlar, atomlar, elementar zarralarning o'zaro ta'siri uchun ham o'rinalidir.

(108) va (109) formulalarni o'zaro ta'sirlashuvchi jismlardan iborat yopiq sistemaga Nyutonning ikkinchi va uchinchi qonunlarini tatbiq etib keltirib chiqardik. Shu munosabat bilan impulsning saqlanish qonuniga Nyutonning ikkinchi va uchinchi qonunlari sifatida qarash mumkin.

Impulsning saqlanish qonuni tabiatda va texnikada keng aks etadi.

52- §. Reaktiv harakat. K.E. Siolkovskiy — reaktiv harakat asoschisi

Impulsning saqlanish qonunining muhim qo'llanishlaridan biri *reaktiv harakat*dir.

Sistemadan biror qismi biror tezlik bilan ajralganda bunga qarama-qarshi yo'nalishda vujudga keladigan harakat reaktiv harakat deb ataladi.

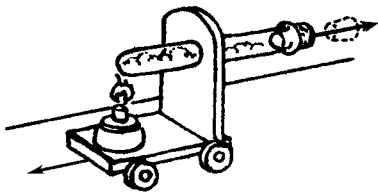
Quyidagi oddiy tajribalar yordamida reaktiv harakatning qanday namoyon bo'lishini kuzatish mumkin.

1. Ichida suvi bo'lgan probirka (bir tomoni berk shisha nay) ni og'zini tiqin bilan berkitib, aravachaga o'rnataylik (84- rasm). Spirt lampa alangasida probirkadagi suvni qaynash darajasigacha isitsak, tiqinning shovqin bilan bir tomonga otilishini, aravachaning esa probirka bilan birgalikda ikkinchi (qarama-qarshi) tomonga harakatlanishini kuzatamiz. Bunda tiqinni probirkadan otib chiqaruvchi bug'ning bosim kuchidan tashqari aravachani qarama-qarshi tomonga harakatlantiruvchi yana bir kuch paydo bo'ladi. Bu kuch bug' jarayonining reaksiyasi bo'lib, u *reaktiv kuch* deb ataladi.

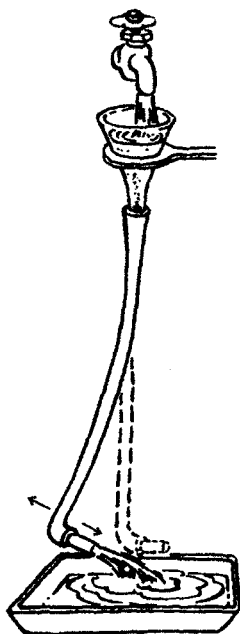
2. Uchiga rezina naycha kiydirilgan voronkani shtativga o'rnatib, rezina naychaning ikkinchi uchiga bukilgan shisha naycha o'rnataylik (85- rasm). Shisha naychaning og'zini tiqin bilan berkitib, voronkani suvga to'ldiraylik. So'ng tiqinni olib tashlab, suvni naychadan oqib chiqishiga imkon bersak, suv jarayonining reaktiv kuchi rezina naychani shisha naychaning bukilishi tomoniga qarab og'diradi.

3. 86- rasmda Segner parragi tasvirlangan. Uning tuzilishi quyidagicha: sterjenga kiydirilgan K halqaga shisha voronka osilgan.

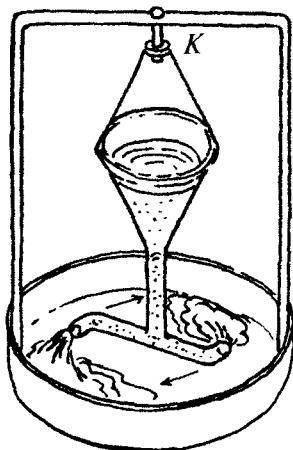
Voronkaning uchiga uchlarida qarama-qarshi tomonga bukilgan shisha naycha gorizont ravishda payvandlangan. Agar voronkaga suv solsak, suv naychalardan oqib chiqa boshlaydi va naychani oqim yo'nalishiga qarama-qarshi tomonga itaradi. Natijada gorizont shisha



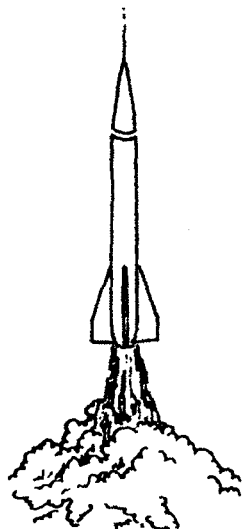
84- rasm.



85- rasm.



86- rasm.



87- rasm.

naychaga ta'sir etayotgan kuchlar Segner parragini naychaniy bukilishlariga qarama-qarshi tomonga aylantiradi.

Reaktiv dvigatellarning va raketalarning ishlash prinsipini ham shunday tushuntirish mumkin. Har qanday raketa ikki qismdan — qobiq va uning ichidagi yonilg'i bo'lgan sistemadan iboratdir. Qobiq bir uchi berk nay shaklida bo'ladi. Uning ikkinchi uchiga maxsus teshigi bo'lgan naychadan iborat reaktiv soplo o'rnatiladi.

Raketani uchirish uchun undagi yonilg'i yondiriladi, bunda yuqori bosimli va yuqori temperaturali gaz hosil bo'ladi. Gaz yuqori bosim ta'sirida raketaning soplosidan katta tezlik bilan otilib chiqa boshlaydi, buning natijasida raketa qobig'i gaz oqimiga qarama-qarshi tomonga harakatlanadi (87- rasm).

Impulsning saqlanish qonunidan foydalanib, raketaning tortish kuchini hisoblaylik. Raketa-gaz sistemasini berk sistema deb qarab, vaqtning biror t paytida raketaning yonilg'i bilan

birgalikda massasini m bilan belgilaylik. Raketaning Yerga nisbatan tezligi v bo'lsin, binobarin, raketaning impulsi mv bo'ladi. Kichik Δt vaqt davomida soplodan raketaga nisbatan u tezlik bilan Δm massali gaz chiqariladi, deb faraz qilaylik. U holda raketaning Yerga nisbatan tezligi $v + \Delta v$, massasi $m - \Delta m$ bo'ladi. Vaqtning $t + \Delta t$ paytida gazning Yerga nisbatan tezligi esa $(v + \Delta v) - u$ bo'ladi. Shu $t + \Delta t$ vaqtda raketa-gaz sistemasining yig'indi impulsi quyidagiga teng bo'ladi:

$$(m - \Delta m)(v + \Delta v) + \Delta m(v + \Delta v - u).$$

Impulsnings saqlanish qonuniga muvofiq,

$$mv = (m - \Delta m)(v + \Delta v) + \Delta m(v + \Delta v - u).$$

Qavslarni ochib, soddalashtirishdan so'ng quyidagi ifodani olamiz:

$$m \cdot \Delta v - u \cdot \Delta m = 0 \text{ yoki } m \cdot \Delta v = u \cdot \Delta m.$$

Bu ifodaning ikki tomonini Δt ga bo'lib,

$$m \frac{\Delta v}{\Delta t} = u \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (110)$$

ifodani hosil qilamiz. Bunda $m \frac{\Delta v}{\Delta t} = ma = F$ — raketaning tortish

kuchi, $\frac{\Delta m}{\Delta t}$ — vaqt birligida yonilg'ining sarflanishi.

Demak, *raketaning tortish kuchi vaqt birligi ichida yonayotgan yonilg'ining massasiga va gazning raketaga nisbatan oqim tezligiga proporsional ekan.*

Raketa tayanchsiz (tashqi muhit vositasiz) harakatga kela oladigan va o'z harakatini o'zgartira oladigan yagona apparatdir. Shuning uchun reaktiv dvigatel kosmik snaryadlar va kosmik kemalar uchun ishlatish mumkin bo'lgan yagona dvigateldir.

Birinchi reaktiv uchuvchi apparat loyihasi 1881- yilda N.I. Kibalchich tomonidan tuzilgan edi. Reaktiv dvigatellar va raketalarning uchish nazariyasi birinchi bo'lib K.E. Siolkovskiy tomonidan ishlab chiqilgan. Sayyoralararo uchishlarning to'la ilmiy asosini ham K.E. Siolkovskiy ishlab chiqdi va sayyoralararo uchish uchun suyuqlik bilan ishlaydigan raketaning birinchi loyihasini yaratdi.



Takrorlash uchun savollar

1. Butun olam tortishish qonunining mohiyati nima?
2. Gravitatsion doimiyning fizik ma'nosini aytib bering.
3. Gravitatsion va inert massalar haqida nimalar bilasiz?
4. Kavendish tajribasini tushuntiring.
5. Jismlarning fazo orqali o'zaro ta'sirini siz qanday tasavvur qilasiz?
6. Erkin tushish tezlanishi geografik kenglikka bog'liq ravishda qanday o'zgaradi?
7. Erkin tushish tezlanishi Yer sirtidan ko'tarilish balandligiga bog'liq ravishda qanday o'zgaradi?
8. Qanday sharoitda jismning og'irligi og'irlik kuchiga teng bo'ladi?
9. Qanday sharoitda jismning og'irligi og'irlik kuchidan katta va qancha katta bo'ladi?
10. Qanday sharoitda jismning og'irligi og'irlik kuchidan kichik va qancha kichik bo'ladi?
11. Vaznsizlik nima? Qanday sharoitda jismlar vaznsizlik holatida bo'ladi?
12. Birinchi kosmik tezlik deb qanday tezlikka aytiladi? Formulasini keltirib chiqaring.
13. Yopiq sistema deb qanday sistemaga aytiladi?
14. Impulsning saqlanish qonunining mohiyati nimadan iborat? Bu qonun texnikada qanday qo'llaniladi?
15. Reaktiv harakat deb qanday harakatga aytiladi? Misollar keltiring.
16. Raketaning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.



Masala yechish namunalari

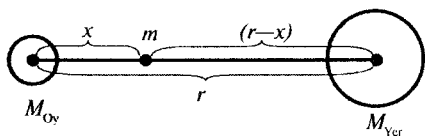
1- masala. Yer va Oy markazlari orasidagi masofa o'rtacha 60 Yer radiusiga teng. Oy massasi esa Yer massasidan 81 marta kichik. Yer bilan Oyni birlashtiruvchi to'g'ri chiziqning qaysi nuqtasida jism Yerga ham, Oyga ham bir xil kuch bilan tortiladi?

$$\text{Berilgan: } r = 60 R, M_{\text{Yer}} = 81 M_{\text{Oy}}, F_{\text{Yer}} = F_{\text{Oy}}.$$

Topish kerak: x — ?

Yechilishi. Jismning massasini m bilan, jismdan Oygacha bo'lgan masofani x bilan va jismdan Yergacha bo'lgan masofani $r - x$ bilan belgilaymiz (88- rasm).

Butun olam tortishish qonuniga muvofiq, jismning Yerga tortilish kuchi



88- rasm.

$$F_{Yer} = G \frac{mM_{Yer}}{(r-x)^2}$$

va Oyga tortilish kuchi

$$F_{Oy} = G \frac{mM_{Oy}}{x^2}$$

bo'ladi. Masalaning shartiga ko'ra, bu kuchlar teng. Demak,

$$G \frac{mM_{Yer}}{(r-x)^2} = G \frac{mM_{Oy}}{x^2}.$$

Bundan

$$(r-x)^2 = \frac{M_{Yer}}{M_{Oy}} x^2 \quad \text{yoki} \quad r-x = x \sqrt{\frac{M_{Yer}}{M_{Oy}}}.$$

Bu ifodadan x ni topsak, u holda

$$x = \frac{r}{1 + \sqrt{\frac{M_{Yer}}{M_{Oy}}}}.$$

$$\text{Hisoblash: } x = \frac{60R}{1 + \sqrt{81}} = 6R.$$

Demak, jism Oy markazidan oltita Yer radiusiga teng masofadagi nuqtada turadi.

2- masala. Kosmik kema Yer sirtidan qancha masofaga uzoqlashganda uning Yerga tortilish kuchi Yer sirtidagiga qaraganda 100 marta kichik bo'lib qoladi?

$$\text{Berilgan: } \frac{P}{P_h} = 100, \quad R = 6400 \text{ km} = 64 \cdot 10^5 \text{ m}.$$

Topish kerak: h — ?

Yechilishi. Kosmik kemaning Yer sirtida Yerga tortilish kuchi

$$P = mg = G \frac{mM}{R^2}$$

bo'ladi, bunda m — kosmik kemaning massasi. Kosmik kemaning Yer sirtidan h balandlikda Yerga tortilish kuchi esa

$$P_h = mg_h = G \frac{mM}{(R+h)^2}$$

bo'ladi. Birinchi ifodani ikkinchi ifodaga hadma-had bo'lsak, u holda

$$\frac{P}{P_h} = \frac{(R+h)^2}{R^2} \quad \text{yoki} \quad \sqrt{\frac{P}{P_h}} = \frac{R+h}{R}$$

munosabatni hosil qilamiz. Oxirgi tenglamani h ga nisbatan yechamiz:

$$h = \left(\sqrt{\frac{P}{P_h}} - 1 \right) R.$$

Hisoblash: $h = (\sqrt{100} - 1) \cdot 64 \cdot 10^5 \text{ m} = 5,76 \cdot 10^7 \text{ m}.$

3- masala. Yer sathidan 600 km balandlikda sun'iy yo'ldosh doiraviy orbita bo'yicha aylanishi uchun qanday tezlikka ega bo'lishi lozim? Uning aylanish davri qanday? Yerning radiusi 6 400 km.

Berilgan:

$$h = 600 \text{ km} = 6 \cdot 10^5 \text{ m}, \quad R = 6400 \text{ km} = 64 \cdot 10^5 \text{ m}, \quad M_{\text{Yer}} = 5,96 \times 10^{24} \text{ kg}, \quad G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}.$$

Topish kerak: $v - ? \quad T - ?$

Yechilishi. Bizga ma'lumki, birinchi kosmik tezlikka ega bo'lgan jism Yerning sun'iy yo'ldoshi bo'lib qoladi. Binobarin, sun'iy yo'ldosh Yer sirtidan h balandlikda doiraviy orbita bo'yicha aylanishi uchun

$$v = \sqrt{G \frac{M_{\text{Yer}}}{R+h}}$$

tezlikka ega bo'lishi kerak.

Sun'iy yo'ldoshning aylanish davri

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{v} (R+h)$$

formuladan topiladi, bu yerda $\omega = \frac{v}{R+h}$ — sun'iy yo'ldoshning doiraviy chastotasi.

Hisoblash:

$$v = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \cdot \frac{5,96 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{(64+6) \cdot 10^5 \text{ m}}} = 7,5 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

$$T = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot (64+6) \cdot 10^5 \text{ m}}{7,5 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 5861 \text{ s} = 97,7 \text{ min}.$$

4- masala. Avtomobil ichidagi yo'lovchi biror daqiqa vaznsiz holatda bo'lishi uchun radiusi 40 m bo'lgan qavariq ko'priknig o'rtasidan u qanday tezlik bilan o'tishi lozim?

Berilgan: $R = 40$ m, $N = 0$.

Topish kerak: v — ?

Yechilishi. Qavariq ko'prikdan o'tayotgan avtomobilning ko'priknig o'rtasidagi bosim kuchi avtomobilning og'irlik kuchidan markazga intilma kuch qadar kam bo'ladi, ya'ni

$$N = P - \frac{mv^2}{R},$$

bu yerda $P = mg$ avtomobilning og'irlik kuchi, m — massasi. Masalaning shartiga ko'ra, vaznsizlik holatida $N = 0$ bo'ladi, binobarin,

$$mg - \frac{mv^2}{R} = 0.$$

Bundan avtomobilning tezligini topsak, u holda

$$v = \sqrt{Rg}$$

bo'ladi.

$$\text{Hisoblash: } v = \sqrt{40\text{m} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

5- masala. Muz ustida turgan 700 N og'irlikdagi konkichi gorizontal yo'nalishda 30N og'irlikdagi toshni $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan uloqtirgan. Agar konkilarning muzga ishqalanish koeffitsienti 0,02 ga teng bo'lsa, konkichining qancha masofaga sirg'anib borishi topilsin.

Berilgan: $P_1 = 700$ N, $P_2 = 30$ N, $v_2 = 8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $k = 0,02$, $v = 0$.

Topish kerak: s — ?

Yechilishi. Toshni uloqtirish natijasida paydo bo'lgan reaktiv kuch ta'sirida konkichi biror v_1 tezlik bilan orqaga tomon harakatlanadi va biror s masofani o'tib to'xtaydi, binobarin, konkichining oxirgi tezligi $v = 0$ bo'ladi. Harakatni tekis sekinlanuvchan harakat deb hisoblab, s masofani quyidagi formula yordamida hisoblab topish mumkin:

$$s = \frac{v^2 - v_1^2}{2a} = -\frac{v_1^2}{2a}.$$

Bu yerda a konkichining tezlanishi, minus ishora tezlanish bilan harakat qarama-qarshi yo'nalganligini ko'rsatadi.

a tezlanishni Nyutonning ikkinchi qonunidan foydalanib topamiz:

$$a = \frac{F_1}{m} = g \frac{F_1}{P_1}.$$

Ishqalanish kuchi $F_1 = kP_1$ ekanligini e'tiborga olsak, u holda

$$a = g \frac{F_1}{P_1} = g \frac{kP_1}{P_1} = kg$$

bo'ladi.

Endi konkichining boshlang'ich v_1 tezligini topaylik. Impulsning saqlanish qonuniga muvofiq,

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0$$

bo'ladi, bundan

$$v_1 = -\frac{m_2}{m_1} v_2 = -\frac{P_2}{P_1} v_2.$$

a bilan v_1 ning qiymatlarini yo'l formulasiga keltirib qo'yamiz va quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$s = \frac{\left(-\frac{P_2}{P_1} v_2\right)^2}{2kg} = \frac{P_2^2 v_2^2}{2kg P_1^2}.$$

Hisoblash:

$$s = \frac{(30\text{N})^2 \cdot 64 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \cdot 0,02 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (700\text{N})^2} = 0,3\text{m}.$$

6- masala. Samolyotning havo-reaktiv dvigatelidan har bir sekundda 25 kg havo va yonilg'i o'tadi. Kirishdagi tezlik $250 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, chiqishdagi tezlik esa $500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Reaktiv kuchini toping.

Berilgan: $\frac{\Delta m}{\Delta t} = 25 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$, $v_1 = 250 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $v_2 = 500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Topish kerak: F — ?

Yechilishi. Reaktiv kuchni (93) formula

$$F = u \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

dan foydalanib topish mumkin, bunda $\frac{\Delta m}{\Delta t}$ — yonilg'ining sarflanishi, ya'ni vaqt birligi ichida yonayotgan yonilg'ining massasi, u — gazning raketaga nisbatan tezligi bo'lib, uning kattaligi $u = v_2 - v_1$ ga teng bo'ladi.

Demak, $F = \frac{\Delta m}{\Delta t} (v_2 - v_1)$.

Hisoblash: $F = 25 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (500 - 250) \frac{\text{m}}{\text{s}} = 6250 \text{ N} \approx 6,3 \text{ kN}$.



Mustaqil yechish uchun masalalar

51. Ikkita bir xil shar orasidagi o'zaro tortishish kuchi 0,01 N. Agar ularning markazlari orasidagi masofa 10 m bo'lsa, sharlarning massalari qancha?

52. Zuhra sayyorasining o'rtacha zichligi $4\,900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, radiusi 6 200 km. Zuhra sirtida erkin tushish tezlanishini toping.

53. Agar kosmik kemaning ko'tarilishida o'lchov asboblari erkin tushish tezlanishining $4,9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ gacha kamayganini ko'rsatsa, u Yerdan qancha baland ko'tarilgan bo'ladi?

54. Quyoshning radiusi Yerning radiusidan 109 marta katta, Yerning zichligi esa Quyoshning zichligidan 3,9 marta katta ekanligi ma'lum bo'lsa, Quyoshda erkin tushish tezlanishi Yerdagidan qancha katta ekanini aniqlang.

55. Liftdagi odamning massasi 70 kg: 1) odamning lift ko'tarilmasdan oldingi; 2) lift $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ tezlanish bilan ko'tarila boshlagandagi; 3) lift $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ o'zgarmas tezlik bilan harakat qilgandagi og'irligini toping.

56. Velosipedchi egrilik radiusi 10 m bo'lgan qavariq ko'priki o'rtasidan ko'priikka bosim bermasdan o'tishi uchun qanday tezlik bilan harakat qilishi kerak?

57. Oyning sun'iy yo'ldoshi Oy sirtidan 20 km masofada doiraviy orbita bo'ylab harakatlanadi. Bu yo'ldosh harakatining chiziqli tezligi hamda uning Oy atrofida aylanish davri topilsin.

58. $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan uchib ketayotgan granata portlab ikkiga parchalanadi. Granata og'irligining 60% ni tashkil qilgan kattaroq parcha dastlabki yo'nalishda, ammo $25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ga teng tezlik bilan o'z harakatini davom ettiradi. Kichik parchaning tezligi topilsin.

59. Gorizontal yo'lda $0,2 \frac{m}{s}$ tezlik bilan g'ildirab kelayotgan 800 kg massali vagonetkaga tepasidan 200 kg maydalangan tosh to'kildi. Bunda vagonetkaning tezligi qanchaga kamayadi?

60. Massasi 650 kg bo'lgan raketada 400 kg yonuvchi modda bor. Agar yonuvchi modda darhol yonib, hosil bo'lgan gaz $400 \frac{m}{s}$ tezlik bilan otilib chiqsa va havoning qarshiligi ko'tarilish balandligini 5 marta kamaytirs, raketa qanday balandlikka ko'tarila oladi?

III bob. ISH, QUUVAT VA ENERGIYA

53- §. Mexanik ish va uning birliklari

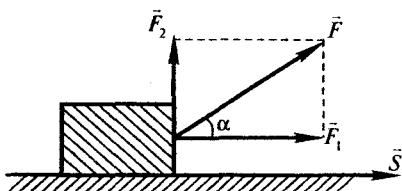
Biz o'zimizni o'rab olgan sharoitda bir-biriga qandaydir kuchlar bilan ta'sir qilayotgan jismlarga duch kelamiz. Masalan, yurib ketayotgan aravachaga ishqalanish kuchi, yuqoriga ko'tarilayotgan yukka og'irlik kuchi, cho'zilayotgan prujinaga elastiklik kuchi ta'sir etadi. Binobarin, kuch qo'yib biz aravachani yurgizamiz, yukni ko'taramiz yoki prujinani cho'zib uchlarini siljitamiz. Bu misollardan ko'rinadiki, jismlarning ko'chishi kuchlarning ta'siri ostidagina sodir bo'ladi. Bundan tabiiy ravishda kuchlarning jismlar ko'chishi bilan bog'liq bo'lgan ta'sirini xarakterlash zaruriyati kelib chiqadi. Mexanikada bunday xarakteristika sifatida *ish* deb ataladigan fizik kattalik qabul qilingan.

Qo'yilgan kuch ta'sirida jismning ko'chishi natijasida mexanik ish bajariladi.

Turli hollarda kuchning bajargan ishi turlicha bo'ladi. Tabiiyki, kuch qancha katta bo'lsa va shu kuch qo'yilgan nuqta qancha uzoq masofaga ko'chsa, ish ham shuncha ko'p bo'ladi.

Bajarilgan ishning miqdori kuchning shu kuch yo'nalishida bosib o'tilgan yo'lga ko'paytmasi bilan o'lchanadi.

Faraz qilaylik, o'zgarmas \vec{F} kuch ta'sirida jism biror \vec{s} masofaga ko'chgan bo'lsin. Bu kuchni ikkita tashkil etuvchiga: ko'chish yo'nalishi bo'ylab ketgan \vec{F}_1 kuch — urinma tashkil etuvchisiga va ko'chish yo'nalishiga perpendikular \vec{F}_2 kuch — normal tashkil etuvchisiga ajratamiz (89- rasm). Jismning ko'chishi faqat \vec{F}_1 kuch ta'siri ostida bo'ladi, bu kuchni *hara-*



89- rasm.

katlantiruvchi kuch deb yuritiladi. \vec{F}_2 kuch ta'sirida jism s yo'l bo'ylab ko'chmaydi.

F_1 kuch ta'siri ostida bajarilgan ishni A harfi bilan belgilab,

$$A = F_1 \cdot s$$

deb yoza olamiz. Rasmdan ko'rinishicha, $F_1 = F \cos \alpha$, bunda α — jismga qo'yilgan kuch yo'nalishi bilan ko'chish yo'nalishi orasidagi burchak, u holda

$$A = F \cdot s \cos \alpha \quad (111)$$

bo'ladi.

Kuch ham, ko'chish ham vektor kattalik. Ikki vektorning skalyar ko'paytmasi skalyar kattalik bo'lishini biz 7- § da ko'rib o'tgan edik. Demak, (111) formuladan ko'rinadiki, ish skalyar kattalikdir, binobarin, ish faqat son qiymati bilangina xarakterlanadi.

Shunday qilib, *ish jismning ko'chish kattaligini kuchga hamda ko'chish bilan kuch yo'nalishlari orasidagi burchak kosinusiga ko'paytmasi bilan o'lchanadi.*

$\alpha < 90^\circ$ bo'lganda bajarilgan ish musbat bo'ladi, bunda kuch yo'nalishida jism ko'chadi, masalan, og'irlik kuchining bajarilgan ishi musbat ish bo'ldi. $\alpha > 90^\circ$ bo'lganda bajarilgan ish manfiy bo'ladi, bunda kuch jismning harakatlanishiga to'sqinlik qiladi; masalan, ishqalanish kuchining bajarilgan ishi manfiy ish bo'ladi. $\alpha = 90^\circ$ bo'lganda mexanik ish bajarilmaydi, chunki kuch jismni kerakli yo'nalishda harakatlantira olmaydi, masalan, markazga intilma kuchning bajarilgan ishi, bosim kuchining bajarilgan ishi ham nolga teng.

$\alpha = 0^\circ$ bo'lganda kuch va ko'chish yo'nalishlari ustma-ust tushadi, u holda

$$A = F \cdot s \quad (112)$$

bo'lib, ish eng katta qiymatga ega bo'ladi.

Agar jism bir necha kuchlar ta'siri ostida ko'chayotgan bo'lsa, u holda bu kuchlar bajarilgan ish shu barcha kuchlar ba-

jargan ishlarning yig'indisiga teng, ya'ni natijaviy kuchning bajargan ishiga teng bo'ladi.

(112) formuladan foydalanib, ishning o'lchov birliklarini aniqlaylik.

Ish birligi qilib kuch birligiga teng kuchning kuch yo'nalishi bilan bir xil yo'nalishda jismni uzunlik birligiga teng masofaga ko'chirishda bajargan ishi qabul qilinadi.

Si da ish birligi qilib bir nyuton kuch ta'siri ostida jismni bir metr masofaga ko'chirishda bajargan ishi qabul qilinadi va bu birlik *joul* (J) deb ataladi:

$$1J = 1N \cdot 1m = 1N \cdot m.$$

Amalda ishning MJ (megajoul), kJ (kilojoul) mJ (millijoul), mkJ (mikrojoul) va shu kabi birliklari ham ishlatiladi. Bu birliklar bilan joul orasida quyidagicha bog'lanish mavjud.

$$1 MJ = 1 \cdot 10^6 J, \quad 1 kJ = 1 \cdot 10^3 J, \quad 1 mJ = 1 \cdot 10^{-3} J, \\ 1 \mu J = 1 \cdot 10^{-6} J.$$

54- §. Quvvat va uning birliklari

Mashina, dvigatel va turli xil mexanizmlarning ish bajara olish qobiliyatini taqqoslash uchun *quvvat* deb ataladigan fizik kattalik kiritiladi. Ravshanki, bir xil ishni bajaruvchi mashinalardan qaysi biri shu ishni qisqaroq vaqt ichida bajarsa, shunisi quvvatliroq bo'ladi. Mexanizmning quvvati uning vaqt birligi ichida bajargan ishi bilan xarakterlanadi.

Vaqt birligi ichida bajarilgan ishga son jihatdan teng bo'lgan kattalik quvvat deb ataladi.

Quvvatni N bilan belgilab, ta'rifga muvofiq,

$$N = \frac{A}{t} \quad (113)$$

deb yoza olamiz, bu yerda t — ishni bajarish uchun sarflangan vaqt.

Agar bir xil vaqt oraliqlari ichida bajarilgan ishlar bir xil bo'lmasa, u holda quvvat vaqt bo'yicha o'zgaruvchan bo'ladi. Bunday hollarda *o'rtacha quvvat*, shuningdek, *oniy quvvat* tushunchasi kiritiladi.

Δt vaqt davomida bajarilgan ish ΔA ga teng bo'lsa, o'rtacha quvvat

$$N_{\text{or}} = \frac{\Delta A}{\Delta t} \quad (114)$$

ifodadan, oniy quvvat esa

$$N_{\text{oniy}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{dA}{dt} \quad (115)$$

ifodadan aniqlanadi.

Agar jism qo'yilgan kuch ta'sirida to'g'ri chiziqli tekis harakat qilsa, u holda quvvatni ta'sir etuvchi kuch va tekis harakat tezligi orqali ifodalash mumkin. Buning uchun (112) formuladan ishning ifodasini (113) formulaga keltirib qo'yaylik. U holda

$$N = \frac{A}{t} = F \frac{s}{t} = F \cdot v \quad (116)$$

bo'ladi, bu yerda $v = \frac{s}{t}$ — tekis harakat tezligi.

Tekis o'zgaruvchan harakatda o'rtacha quvvatni o'rtacha tezlik orqali aniqlash mumkin: $N_{\text{or}} = F \cdot v_{\text{or}}$.

(116) formula dvigatelning quvvati o'zgarmagani holda tezlikni o'zgartirish bilan avtomobil, teplovoz, ko'targich kran va shu kabi mexanizmlarning tortish kuchini o'zgartirish mumkinligini ko'rsatadi.

(113) formuladan ko'rinadiki, mexanizmning t vaqt ichida bajargan ishini

$$A = N \cdot t \quad (117)$$

formulaga muvofiq aniqlash mumkin.

Quvvatning birligini aniqlaylik.

Quvvat birligi qilib vaqt birligi ichida bir birlik ish bajara oladigan mexanizmning quvvati qabul qilinadi.

SI da quvvat birligi qilib bir sekundda bir joul ish bajara oladigan mexanizmning quvvati qabul qilinadi va bu birlik *vatt* (W) deb ataladi. Demak,

$$1W = \frac{1J}{1s} = 1 \frac{J}{s}.$$

Vatt — quvvatning uncha katta bo‘lmagan birligidir, shuning uchun amalda quvvatning qo‘shimcha birliklari: gektovatt (hW), kilovatt (kW), megavatt (MW) dan foydalaniladi.

$$1 \text{ gektovatt} = 100 \text{ W} = 10^2 \text{ W},$$

$$1 \text{ kilovatt} = 1000 \text{ W} = 10^3 \text{ W},$$

$$1 \text{ megavatt} = 1\,000\,000 \text{ W} = 10^6 \text{ W}.$$

(117) formuladan foydalanib, hozirgi vaqtda amalda ko‘p ishlatiladigan vatt-soat (W-soat), gektovatt-soat (hW-soat), kilovatt-soat (kW-soat) kabi ish birliklari orasidagi munosabatni aniqlaylik.

Vatt-soat ish deb quvvati o‘zgarmas bir vatt bo‘lgan mexanizmning bir soatda bajargan ishiga aytiladi:

$$1 \text{ W} \cdot \text{soat} = 1 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3600 \text{ J} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ J}.$$

Gektovatt-soat ish deb quvvati o‘zgarmas bir gektovatt bo‘lgan mexanizmning bir soatda bajargan ishiga aytiladi:

$$1 \text{ hW} \cdot \text{soat} = 100 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^5 \text{ J}.$$

Kilovatt-soat ish deb quvvati o‘zgarmas bir kilovatt bo‘lgan mexanizmning bir soatda bajargan ishiga aytiladi:

$$1 \text{ kW} \cdot \text{soat} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}.$$

55- §. Mexanik energiya. Kinetik va potensial energiya

Biror ish bajara olish qobiliyatiga ega bo‘lgan har qanday jism yoki jismlar sistemasi *energiyaga* ega bo‘ladi. Masalan, dumalayotgan shar biror jism bilan to‘qnashib, uni siljitadi, ya’ni ish bajaradi. Demak, dumalayotgan sharning energiyasi bor. Cho‘zilgan prujina qisqarib, o‘zining avvalgi holatiga qaytar ekan, o‘z qismlari (o‘ramlari)ni yoki boshqa jismlarni siljitib, ish bajaradi. Binobarin, cho‘zilgan prujina energiyaga ega bo‘ladi. Yerdan biror balandlikda turgan jism ham energiyaga ega, chunki jismni balandlikda ushlab turuvchi bog‘lanish yo‘qotilsa, bu jism tusha boshlaydi (harakat qila boshlaydi) va ish bajaradi.

Bu misollardan ko‘rinadiki, jismlar ish bajarayotganida ularning holati o‘zgaradi: dumalayotgan sharning tezligi kamayadi va bora-bora to‘xtaydi, cho‘zilgan prujina qisqarib, avvalgi normal (deformatsiyalanmagan) holatiga qaytadi, ko‘tarilgan jism tinch turgan holatidan harakatga kelib, Yer sirtiga yaqinlasha boradi va hokazo.

Energiya jismning yoki jismlar sistemasining bir holatdan boshqa holatga o'tishda ish bajarish qobiliyatini xarakterlaydi.

Jismlarning mexanik holatiga bog'liq bo'lgan energiya *mexanik energiya* deyiladi.

Tashqi kuchlar berilgan jismlar sistemasi ustida ish bajarsa yoki jismlar sistemasining o'zi tashqi kuchlarga qarshi ish bajarsa, sistemaning holati, binobarin, energiyasi o'zgaradi. Energiyaning o'zgarishi sistemaning ma'lum sharoitda bajarishi mumkin bo'lgan ishi bilan o'lchanadi, ya'ni *energiya o'zgari-shining o'lchovi ish hisoblanadi*. Shuning uchun ish qanday birliklarda o'lchansa, energiya ham shunday birliklarda o'lchanadi. Agar sistemaning boshlang'ich holat deb olish mumkin bo'lgan qandaydir biror holatidagi energiyasini E_1 bilan, sistemaning keyingi oxirgi holatidagi energiyasini E_2 bilan va sistemaning shu boshlang'ich (birinchi) holatdan oxirgi (ikkinchi) holatga o'tganda bajargan ishini A bilan belgilasak, u holda

$$A = E_2 - E_1 \quad (118)$$

deb yoza olamiz. Agar $E_1 > E_2$ bo'lsa, u holda sistemaning energiya zaxirasi hisobiga sistemaning o'zi tashqi kuchlarga qarshi ish bajaradi, uning energiyasi kamayadi. Agar $E_1 < E_2$ bo'lsa, u holda tashqi kuchlar sistema ustida ish bajaradi, natijada bu bajarilgan ish hisobiga sistemaning energiyasi ortadi.

Mexanik energiya ikki turga — *potensial va kinetik energiya-larga* bo'linadi.

Jismlarning o'zaro joylashishiga yoki ayni bir jism qismlarining o'zaro joylashishiga bog'liq bo'lgan o'zaro ta'sir energiyasi *potensial energiya* deb ataladi.

Masalan, Yerga nisbatan yuqoriga ko'tarilgan jismning, soatlarda ko'tarilgan toshning, gidrostansiya to'g'onidagi suvning, deformatsiyalangan prujinaning, ko'tarilgan bolg'aning, siqilgan gazning energiyalari potensial energiyaga misol bo'la oladi. Jismlar orasida ularning bir-birlariga nisbatan vaziyatlari orqali bir qiymatli aniqlanadigan o'zaro ta'sir etuvchi kuchlar ta'sir etgan vaqtdagina jismlar potensial energiyaga ega bo'la oladi. Boshqacha qilib aytganda, o'zaro ta'sir etuvchi jismlar yoki jism qismlari bo'lgandagina potensial energiya haqida gapirish mumkin.

Jismlar yoki jism qismlari orasidagi o'zaro ta'sir qancha kuchli bo'lsa, potensial energiya ham shuncha katta bo'ladi.

Jismlarning harakat qilishi tufayli ega bo'ladigan energiyasi *kinetik energiya* deb ataladi.

Masalan, ishqalanish kuchini yengib harakatlanayotgan avtomobilning energiyasi, uchib ketayotgan samolyotning energiyasi, qiya novdan dumalab tushayotgan metall sharning energiyasi, elektr stansiyalar turbinalarini aylantiradigan suv energiyasi, shamol tegirmonlarini yoki shamol elektr stansiyalarini ishga tushiruvchi shamol energiyasi, tushayotgan bolg'a energiyasi kinetik energiyaga misol bo'la oladi.

Hamma hollarda, energiya kattaligi haqida bajarilgan ish kattaligiga qarab fikr yuritiladi. Bolg'a qancha vaznli bo'lsa va qancha katta tezlik bilan mixga urilsa, mixni taxtaga shuncha ko'proq kiritishi mumkin va bunda shuncha ko'p ish bajariladi. Binobarin, jism qancha ulkan bo'lsa va u qancha tez harakatlansa, kinetik energiya kattaligi shuncha ko'p bo'ladi.

Jismning kinetik va potensial energiyalarining yig'indisi jismning *to'la mexanik energiyasi* deb ataladi.

56- §. Jismga qo'yilgan kuchning bajargan ishi bilan kinetik energiya o'zgarishi orasidagi bog'lanish

Faraz qilaylik, o'zgarmas F kuch ta'sirida m massali jism s masofada to'g'ri chiziqli harakat qilib, t vaqt ichida o'zining tezligini v_1 dan v_2 ga o'zgartirsin. U holda jismning ishqalanish kuchiga qarshi bajargan ishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$A = F \cdot s = ma \cdot s.$$

Jismning harakati tekis sekinlanuvchan bo'lgani uchun tezlanish va o'tilgan masofaning tezliklar bilan o'zaro bog'lanishi quyidagicha bo'ladi:

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t} \quad \text{va} \quad s = \frac{v_1 + v_2}{2} t.$$

Tezlanish va yo'lining bu ifodalarini ish formulasiga qo'yib, soddalashtirishlardan so'ng,

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \quad (119)$$

formulani hosil qilamiz. (118) va (119) formulalarni taqqoslasak,

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad (120)$$

kattalik jismning kinetik energiyasini ifodalaydi. (120) formuladan ko'rinadiki, *jismning kinetik energiyasi jismning massasi bilan tezligi kvadrati ko'paytmasining yarmiga teng ekan.*

(119) formula jismga qo'yilgan kuchning bajargan ishi bilan jismning kinetik energiyasi o'zgarishi orasidagi bog'lanishni ifodalaydi.

Agar ko'rilayotgan yo'l oxirida jism tezligi $v_2 < v_1$ bo'lsa, u holda jismning bajargan ishi uning kinetik energiyasining kamayishiga teng bo'ladi. Bunda jism tashqi kuchga qarshi ish bajaradi. Agar $v_2 > v_1$ bo'lsa, u holda bajarilgan ishning hisobiga jismning kinetik energiyasi ortadi. Bunda tashqi kuchlar jism ustida ish bajaradi.

Shunday qilib, *jismga qo'yilgan kuchning bajargan ishi jism kinetik energiyasining o'zgarishiga teng bo'lar ekan.*

57- §. Og'irlik kuchining bajargan ishi bilan potensial energiya o'zgarishi orasidagi bog'lanish

Yerga nisbatan ko'tarilgan jismning potensial energiyasi bo'ladi, chunki jismning energiyasi jism bilan Yerning o'zaro holatiga va o'zaro ta'siriga bog'liqdir.

Odatda, Yer sirtida yotgan jismning potensial energiyasini nolga teng deb olinadi. Bu holda biror balandlikka ko'tarilgan jismning potensial energiyasi bu jismning Yerga tushishida og'irlik kuchining bajargan ishi bilan o'lchanadi.

Jism vertikal bo'ylab pastga harakatlanganda og'irlik kuchining yo'nalishi ko'chish yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi. Yer sirtidan h balandlikdagi B nuqtadan Yer sathidan hisoblangan h_2 balandlikdagi C nuqtaga o'tishda jismning ko'chishi $h_1 = h - h_2$ ga teng (90- rasm). Bunda og'irlik kuchining bajargan ishi

$$A = Ph_1 = mg(h - h_2) = mgh - mgh_2 \quad (121)$$

ifodadan aniqlanadi. Bu formulani (101) formula bilan taqqoslasak,

$$E_p = mgh \quad (122)$$

kattalik Yer sirtidan h balandlikka ko'tarilgan, ya'ni og'irlik kuchi (gravitatsiya) maydonidagi jismning potensial energiyasini ifodalaydi. Demak, *biror balandlikka ko'tarilgan jismning potensial energiyasi jism og'irligining shu balandlikka ko'paytmasiga teng ekan.*

(121) formula og'irlik kuchining bajargan ishi bilan jism potensial energiyasining o'zgarishi orasidagi bog'lanishni ifodalaydi.

Agar $h > h_2$ bo'lsa, u holda $mgh > mgh_2$ va $A > 0$ bo'ladi, binobarin, og'irlik kuchi jismning potensial energiyasi kamayishi hisobiga ish bajaradi. Agar $h < h_2$ bo'lsa, u holda $mgh < mgh_2$ va $A < 0$ bo'ladi. Bunda og'irlik kuchiga qarshi bajarilgan ish hisobiga jismning potensial energiyasi ortadi.

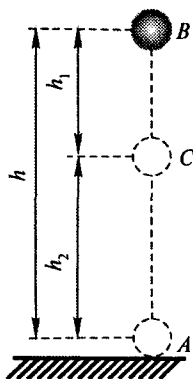
Shunday qilib, *og'irlik kuchining bajargan ishi jism potensial energiyasining kamayishiga teng bo'ladi.*

(121) formuladan ko'rinadiki, *gravitatsion maydonda bajarilgan ishning kattaligi bosib o'tilgan yo'lning shakliga bog'liq bo'lmay, faqat yo'lning oxirgi nuqtasi boshlang'ich nuqtasiga nisbatan qanday balandlikda joylashganligiga bog'liq bo'ladi.* Bajargan ishi yo'l shakliga bog'liq bo'lmaydigan kuchlar *potensial* (yoki *konservativ*) kuchlar, bu kuchlar maydoni esa *potensial maydon* deyiladi. Binobarin, og'irlik kuchi potensial kuch, uning maydoni esa potensial maydon bo'ladi.

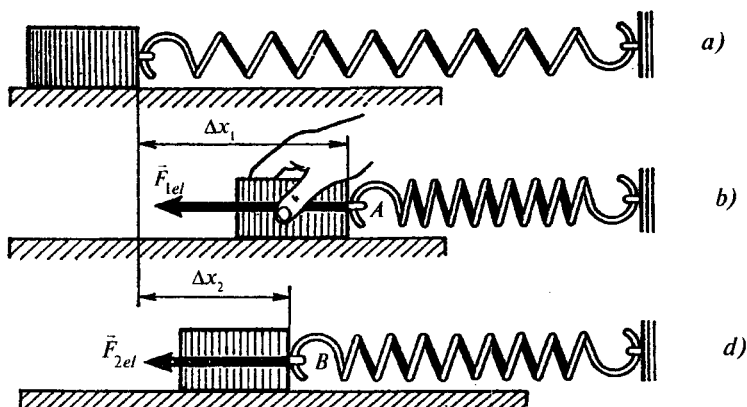
58- §. Elastiklik kuchining bajargan ishi.

Elastik deformatsiyalangan jismning potensial energiyasi

Elastiklik kuchining bajargan ishini aniqlaylik. Buning uchun prujinaning bir uchini mahkamlab qo'yib, ikkinchi uchiga biror jism biriktiraylik (91- a rasm). Agar prujinaning jism biriktirilgan



90- rasm.



91- rasm.

uchini Δx_1 masofaga surib, prujinani siqsak (91- b rasm), u holda jismga prujina tomonidan ta'sir qiladigan elastiklik kuchi paydo bo'ladi. Prujina o'ramlarini ko'chirishda elastiklik kuchi bajargan ishini aniqlash uchun prujinaning jism biriktirilgan uchi A vaziyatdan B vaziyatga ko'chdi deb faraz qilaylik (91- d rasm). Bu vaziyatda prujinaning cho'zilishi Δx_2 ga teng bo'ladi. Demak, prujinaning uchi $\Delta x_2 - \Delta x_1$ masofaga ko'chadi. Ishni hisoblashda elastiklik kuchining o'zgaruvchan kuch ekanligini nazarga olish kerak: u Δx deformatsiyaga chiziqli bog'liq bo'lib, cho'zilish noldan Δx gacha o'zgarganda kuch noldan $F_{el} = -k\Delta x$ gacha o'zgaradi, bunda k — prujinaning bikrligi. Binobarin, A nuqtada elastiklik kuchi $F_1 = -k\Delta x_1$ ga teng bo'lsa, B nuqtada bu kuch $F_2 = -k\Delta x_2$ ga teng bo'lib qoladi. Shuning uchun $\Delta x_2 - \Delta x_1$ ga teng ko'chishda

$$F_{o'r} = \frac{F_1 + F_2}{2} = -k \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{2}$$

o'rtacha elastiklik kuchi ta'sir qiladi deb hisoblash mumkin. U holda bu kuchning $\Delta x_2 - \Delta x_1$ ko'chishda bajargan ishi

$$\begin{aligned} A &= F_{o'r} (\Delta x_2 - \Delta x_1) = -k \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{2} (\Delta x_2 - \Delta x_1) = \\ &= \frac{k}{2} (\Delta x_1^2 - \Delta x_2^2) = \frac{k}{2} \Delta x_1^2 - \frac{k}{2} \Delta x_2^2. \end{aligned} \quad (123)$$

Elastiklik kuchining bajargan ishi jism bikrligi bilan boshlang'ich va oxirgi uzayishlari kvadratlari ayirmasi ko'paytmasining yarmiga teng.

Agar prujinaning oxirgi uzayishi nolga teng bo'lsa, ya'ni prujina deformatsiyalanmagan holatiga qaytib kelsa, u

$$A = k \frac{\Delta x^2}{2} \quad (124)$$

ga teng ish bajaradi, bu yerda Δx — prujinaning boshlang'ich uzayishi.

55- § da aytib o'tganimizdek, elastik deformatsiyalangan prujina potensial energiyaga ega bo'ladi. Elastik deformatsiyalangan prujinaning potensial energiyasi bu prujinaning deformatsiyalanmagan holatga o'tishida elastiklik kuchining bajargan ishiga teng bo'lishi kerak. Binobarin, (124) formulaga muvofiq, deformatsiyalangan prujinaning potensial energiyasi quyidagicha ifodalanadi:

$$E_p = \frac{k\Delta x^2}{2}. \quad (125)$$

Elastik deformatsiyalangan har qanday jismning potensial energiyasi (125) formula bilan aniqlanadi.

(123) formulani quyidagicha o'zgartirib yozamiz:

$$A = \frac{k\Delta x_1^2}{2} - \frac{k\Delta x_2^2}{2} = E_{p_1} - E_{p_2}. \quad (126)$$

Bu formulani (118) formula bilan taqqoslab, bu holda ham xuddi og'irlik kuchining yoki jismga qo'yilgan kuchning bajargan ishi kabi, *elastiklik kuchining bajargan ishi prujina potensial energiyasining kamayishiga teng bo'lishini ko'ramiz.*

59- §. Mexanik energiyaning saqlanish va bir turdan ikkinchi turga aylanish qonuni

Energiyaning saqlanish va bir turdan ikkinchi turga aylanish qonuni ko'p asrlik tajribalarning yakunidir. Qonunning g'oyasi birinchi marta 1748- yilda rus olimi M.V. Lomonosovning *materiya va harakatning saqlanish qonunida ifodalangan edi.*

Deyarli yuz yildan so'ng turli jarayonlar (mexanik va issiqlik, kimyoviy va elektr, mexanik va elektr, kimyoviy va issiqlik, issiqlik va elektr jarayonlari)ning bog'liqligini o'rganishga doir ishlarning umumlashtiruvchi tadqiqotlar tufayli energiyaning saqlanishi, bir turdan ikkinchi turga aylanishining umumiy qonuni yaratildi. Bu qonun quyidagicha ta'riflanadi.

Yopiq sistemadagi barcha hodisalarda energiya hech vaqt bordan yo'q bo'lmaydi va yo'qdan bor bo'lmaydi. U faqat bir turdan ikkinchi turga yoki bir jismdan ikkinchi jismga o'tib, miqdor jihatdan o'zgarishsiz qoladi.

Bu qonunni mexanik hodisalarga tatbiq qilib quyidagicha ifodalash mumkin: *mexanik hodisalarda energiya hech vaqt bordan yo'q bo'lmaydi va yo'qdan bor bo'lmaydi, balki teng miqdorda potensial energiya ko'rinishidan kinetik energiya ko'rinishiga va, aksincha, aylanab turadi.*

Umumiy holda, jism bir vaqtda ham kinetik energiyaga, ham potensial energiyaga ega bo'lishi mumkin. Bu energiyalarning yig'indisi *to'la mexanik energiyani* tashkil qiladi. Masalan, Yer sirtidan h balandlikda Yerga nisbatan v tezlik bilan harakatlanayotgan m massali jismning to'la energiyasi

$$E = E_k + E_p = \frac{mv^2}{2} + mgh \quad (127)$$

ga teng bo'ladi.

Aniqroq aytganda, bu ifoda Yer — jism sistemasining to'la energiyasini ifodalaydi: mgh — sistemaning o'zaro potensial energiyasi, $\frac{mv^2}{2}$ — sistemaning kinetik energiyasi. Yerning kinetik energiyasi esa biz tekshirayotgan sanoq sistemasi (Yer bilan bog'langan sanoq sistemasi) da nolga teng bo'ladi.

Energiyaning saqlanish va bir turdan ikkinchi turga aylanish qonuni tabiatning hech istisnosiz eng umumiy qonunidir; yangidan ochiladigan jarayon va hodisalar uni tasdiqlaydi, xolos. Biroq, bu qonun eng umumiy bo'lgani uchun ham uning umumiy nazariy isboti yo'q va faqat xususiy hollar (aniq jarayonlar) uchun nazariy isbot qilinishi mumkin.

Misol tariqasida jismning erkin tushishida mexanik energiyaning saqlanish va bir turdan ikkinchi turga aylanish qonunining xususiy isbotini ko'raylik.

Og'irligi $P = mg$ bo'lgan jism Yer sirtidan h balandlikdagi B nuqtaga ko'tarilgan bo'lsin (92-rasm). Jismning bu holatida potensial energiya $E_p = mgh$ ga, kinetik energiyasi $E_k = 0$ ga teng bo'ladi, chunki bu nuqtada jismning tezligi nolga teng bo'lib, u tinch holatda turibdi. Jismning B nuqtadagi to'la energiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$E_B = E_k + E_p = 0 + mgh = mgh.$$

Demak, Yer sirtidan ma'lum balandlikda tinch turgan jismning to'la energiyasi potensial energiyadan iborat bo'lar ekan.

Jismning shu h balandlikdan erkin tushishida tushishning oxiriga kelib (A nuqtada) jismning tezligi $v = \sqrt{2gh}$ ga va demak, kinetik energiyasi

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{m}{2} (\sqrt{2gh})^2 = mgh$$

ga tenglashadi, biroq $h = 0$ balandlikda potensial energiya nolga teng bo'ladi. Shunday qilib, jismning A holatida to'la energiyasi:

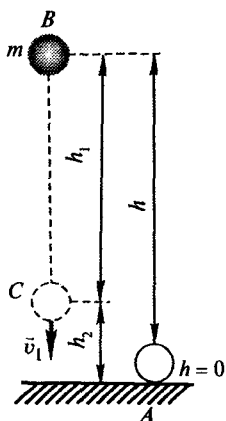
$$E_A = E_k + E_p = \frac{mv^2}{2} + 0 = mgh.$$

Demak, tushib kelayotgan jismning Yerga urilish paytidagi to'la energiyasi kinetik energiyadan iborat bo'lar ekan.

Endi jismning $h - h_1$ balandlikdagi ixtiyoriy C nuqtada to'la energiyasini hisoblaylik. Bu holatda jismning potensial energiyasi

$E_p = mg(h - h_1)$ ga, kinetik energiyasi $E_k = \frac{mv_1^2}{2}$ ga teng bo'ladi, bunda v_1 jismning C nuqtadan o'tish paytidagi tezligi bo'lib, uning kattaligi $v_1 = \sqrt{2gh_1}$ ifodadan aniqlanadi.

Demak, jismning C nuqtadagi to'la energiyasi:



$$E_C = E_p + E_k = mg(h - h_1) + \frac{m}{2}(\sqrt{2gh_1})^2 = mgh - mgh_1 + mgh_1 = mgh.$$

Shunday qilib, $E_B = E_A = E_C$, ya'ni jismning uchala holatidagi to'la energiyasi bir xil ekan. C holat ixtiyoriy tanlab olingani uchun bu jismning to'la energiyasi umuman o'zgarmay qoladi va kinetik energiya teng miqdorda potensial energiyaga va aksincha, potensial energiya teng miqdorda kinetik energiyaga aylanadi, deb xulosa chiqarish mumkin. Bunday xulosa energiyaning saqlanish va bir turdan ikkinchi turga aylanish qonuniga mos keladi.

Bunday natija jismga faqat potensial kuch ta'sir etganligi sababligina kelib chiqdi. Agar yopiq sistemada potensial kuchlardan tashqari boshqa kuchlar, masalan, ishqalanish kuchlari ta'sir ko'rsatayotgan bo'lsa, u vaqtda yuqorida biz ko'rib o'tgan energiyaning saqlanish qonuni o'rinli bo'lmaydi. Ishqalanish kuchlari ta'sirida mexanik energiya boshqa nomexanik turdagi (masalan, issiqlik) energiyaga aylanadi. Bunday hollarda energiyaning umumiyroq bo'lgan saqlanish qonuni bajariladi. *Yopiq sistemada energiyaning barcha turlarining (nomexanik turlarining ham) yig'indisi o'zgarmaydi.*

Energiyaning saqlanish va bir turdan ikkinchi turga aylanish qonuni energiya va ish tushunchalarining fizik ma'nosini ochib beradi. Materiya harakati keng ma'noda har qanday jarayon, materiyaning har qanday o'zgarishidan iboratdir. Shunday ekan, *energiya materiya harakatining miqdoriy va sifat xarakteristikasi, ish esa materiyaning bir harakat shaklining boshqa harakat shakllariga aylanishining miqdoriy xarakteristikasidir.* Shunday qilib, ish va energiyaning birliklari bir xil bo'lishiga qaramay, ular turli fizik kattaliklardir.

60- §. Mexanizmlarning foydali ish koeffitsienti

Ma'lumki, har bir mashina yoki mexanizm ma'lum ishni bajaradi. Mashinalarning foydali qarshiliklarni, masalan, tokarlik stanogida detallarga ishlov berishda metallning qarshiligini, og'ir yukni kran bilan ko'tarishda og'irlik kuchini, avtomobil

harakatlanganda uning g'ildiraklari va yo'l orasida yuzaga keladigan ishqalanish kuchini va hokazo qarshiliklarni yengib bajaradigan ishi *foydali ish hisoblanadi*. Ammo, mashina bu foydali ishni bajarishda bu ishdan tashqari zararli qarshiliklarga qarshi foydasiz, lekin bajarilishi shart bo'lgan ishlarni ham bajaradi. Masalan, mashinalarning harakatlanuvchi qismlari orasidagi ishqalanish kuchiga, havoning qarshilik kuchiga qarshi bajarilgan ish foydasizdir. Shuning uchun mashina yordamida bajarilgan *to'liq ish* (u sarflangan *umumiy ish* deb ham ataladi) foydali ishdan hamma vaqt foydasiz ish miqdoricha ortiq bo'ladi. Mexanizm ishlaganda foydasiz ishlardan butunlay xoli bo'lish mumkin emas, ammo uni anchagina kamaytirish mumkin. Sarflangan ishning qancha ko'p qismini foydali ish tashkil qilsa, mashina shuncha tejamli bo'ladi. Mashinaning tejamliligi *foydali ish koeffitsienti* (qisqacha FIK) deb ataladigan kattalik bilan xarakterlanadi.

Mashinaning foydali ish koeffitsienti deb, umumiy ishning qancha qismi foydali ishga aylanganligini ifodalovchi kattalikka aytiladi.

FIK η harfi bilan belgilanadi. Demak, ta'rifga muvofiq,

$$\eta = \frac{A_f}{A_{um}} \quad (128)$$

bo'ladi.

FIK har doim birdan kichik bo'ladi. FIK birga qancha yaqin bo'lsa, mashina shuncha tejamli bo'ladi.

FIK ko'pincha foiz hisobida ifodalanadi. U vaqtda (128) formula quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\eta = \frac{A_f}{A_{um}} \cdot 100\% \quad (129)$$

Foydali va umumiy ishlar bir vaqtda bajarilgani uchun (129) formulaga A_f va A_{um} larning (117) formula orqali ifodalangan qiymatlarini keltirib qo'yib, FIK ning N_f foydali va N_{um} sarflangan umumiy quvvatlar orqali hisoblash formulasini hosil qilamiz:

$$\eta = \frac{N_f \cdot t}{N_{um} \cdot t} \cdot 100\% = \frac{N_f}{N_{um}} \cdot 100\%. \quad (130)$$

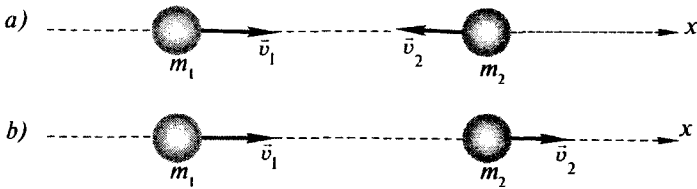
61- §. Elastik va noelastik urilishga energiya va impulsning saqlanish qonunlarining tatbiqi

Jismlar bir-birlariga urilganda deformatsiyalanadi, ularning urilish sirtlari bosiladi va deformatsiya tufayli yuzaga kelgan bosim (elastiklik) kuchi jismlarning tezliklarini o'zgartiradi. Bunda jismlarning urilishidan oldingi kinetik energiyasi qisman yoki to'la ravishda elastik deformatsiya potensial energiyasi bilan jismlarning *ichki energiyasi* deb ataladigan nomexanik energiyaga aylanadi (ichki energiya haqida 104- § da batafsil to'xtab o'tiladi).

Jismlar bir-biriga *elastik urilishi* yoki *noelastik urilishi* mumkin. Elastik urilish deb shunday urilishga aytiladiki, bunda jismlarning mexanik energiyasi ichki energiyaga aylanmaydi. Bunday urilish vaqtida kinetik energiya batamom yoki qisman elastik deformatsiya potensial energiyasiga aylanadi. Keyin esa jismlar bir-birini itarib dastlabki shakliga qaytadi. Natijada elastik deformatsiya potensial energiyasi qaytib kinetik energiyaga aylanadi va jismlar ma'lum tezliklar bilan qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanadi. Bu tezliklarning kattaligi bilan yo'nalishi jismlar sistemasining to'la energiyasining hamda to'la impulsining saqlanishiga bog'liq bo'ladi.

Noelastik urilishda jismlarning kinetik energiyasi batamom yoki qisman deformatsiya potensial energiyasiga va ichki energiyaga aylanadi. Bunda faqat impulsning saqlanish qonunigina bajariladi, mexanik energiyaning saqlanish qonuni esa bajarilmaydi, ammo barcha turdagi mexanik va nomexanik energiyalar yig'indisining saqlanish qonuni o'rinli bo'ladi. Bularni quyidagi misollarda ko'rib chiqaylik.

1. Ikkita sharning markaziy elastik urilishi. Agar urilishga qadar sharlar ularning markazlari orqali o'tuvchi to'g'ri chiziq bo'ylab harakatlanayotgan bo'lsa, bunday urilish *markaziy urilish* deyiladi. *Markaziy urilish* quyidagi hollarda ro'y berishi mumkin: 1) agar sharlar bir-biriga qarab yo'nalayotgan bo'lsa (93- a rasm) va 2) agar sharlardan biri ikkinchisini quvib yetayotgan bo'lsa (93- b, rasm).



93- rasm.

Sharlar yopiq sistema hosil qiladi, deb faraz qilaylik. Sharlarning massalarini m_1 va m_2 bilan, urilishga qadar tezliklarni \vec{v}_1 va \vec{v}_2 bilan va, nihoyat, urilishdan keyingi tezliklarini \vec{u}_1 va \vec{u}_2 bilan belgilaymiz. Sharlarning birinchi holdagi urilishida to‘qnashgandan keyingi tezliklarini topaylik.

Urilishdan oldin birinchi sharning kinetik energiyasi $\frac{m_1 v_1^2}{2}$ va impulsi $m_1 \vec{v}_1$ ga, ikkinchi sharning kinetik energiyasi $\frac{m_2 v_2^2}{2}$ va impulsi $m_2 \vec{v}_2$ ga teng bo‘ladi. U holda sistemaning to‘la energiyasi va to‘la impulsi quyidagiga teng bo‘ladi:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}, \quad m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2.$$

Urilishdan keyin sistemaning to‘la energiyasi va to‘la impulsi esa quyidagiga teng bo‘ladi:

$$\frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}, \quad m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2.$$

Energiyaning va impulsning saqlanish qonuniga muvofiq,

$$\left. \begin{aligned} \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} &= \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2} \\ m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 &= m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2 \end{aligned} \right\} \quad (131)$$

tenglamalar sistemasini yoza olamiz. Bu ikkita tenglamadan ikkita: u_1 va u_2 tezliklarni topish mumkin.

Tenglamalar sistemasini yechishdan avval (131) formuladagi ikkinchi tenglamani skalyar ko‘rinishda yozib olish kerak. Buning uchun

tenglamani \bar{v}_1 vektorning yo'nalishi bilan bir xil yo'nalishli x o'qida proyeksiyasini olamiz (93- a rasimga q.). Rasmdan ko'rinadiki, $(\bar{v}_1)_x = v_1$, $(\bar{v}_2)_x = -v_2$, binobarin,

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2.$$

Shunday qilib, quyidagi sistemaga ega bo'lamiz:

$$\left. \begin{aligned} m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 &= m_1 u_1^2 + m_2 u_2^2, \\ m_1 v_1 - m_2 v_2 &= m_1 u_1 + m_2 u_2. \end{aligned} \right\} \quad (132)$$

Bu tenglamalar sistemasidan u_1 va u_2 ni topish uchun uni quyidagi ko'rinishga keltiramiz:

$$\left. \begin{aligned} m_1 v_1^2 - m_1 u_1^2 &= m_2 u_2^2 - m_2 v_2^2, \\ m_1 v_1 - m_1 u_1 &= m_2 u_2 + m_2 v_2. \end{aligned} \right\}$$

yoki

$$\left. \begin{aligned} m_1 (v_1^2 - u_1^2) &= m_2 (u_2^2 - v_2^2), \\ m_1 (v_1 - u_1) &= m_2 (u_2 + v_2). \end{aligned} \right\}$$

Birinchi tenglamani ikkinchisiga hadma-had bo'lsak, u holda

$$v_1 + u_1 = u_2 - v_2$$

tenglamani hosil qilamiz. Bundan u_2 tezlikning $u_2 = v_1 + u_1 + v_2$ qiymatini (132) tenglamalar sistemasidagi ikkinchi tenglamaga keltirib qo'yib, hosil bo'lgan tenglamani u_1 tezlikka nisbatan yechamiz:

$$\begin{aligned} m_1 v_1 - m_2 v_2 &= m_1 u_1 + m_2 (v_1 + u_1 + v_2), \\ m_1 v_1 - m_2 v_2 &= m_1 u_1 + m_2 v_1 + m_2 u_1 + m_2 v_2. \end{aligned}$$

Soddalashtirsak:

$$(m_1 + m_2)u_1 = -2m_2 v_2 + (m_1 - m_2)v_1.$$

Bundan u_1 ni topamiz:

$$u_1 = \frac{-2m_2 v_2 + (m_1 - m_2)v_1}{m_1 + m_2}. \quad (133)$$

Xuddi shu yo'l bilan u_2 tezlikni topish mumkin (buni kitobxonlarga mustaqil yechish uchun havola qilamiz):

$$u_2 = \frac{2m_1 v_1 - (m_2 - m_1)v_2}{m_1 + m_2}. \quad (134)$$

Agar sharlar bir tomonga (ikkinchi hol) harakatlanayotgan bo'lsa, u holda to'qnashgandan keyin ularning tezliklari quyidagicha bo'ladi:

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= \frac{2m_2v_2 + (m_1 - m_2)v_1}{m_1 + m_2}, \\ u_2 &= \frac{2m_1v_1 + (m_2 - m_1)v_2}{m_1 + m_2}. \end{aligned} \right\} \quad (135)$$

Agar $m_1 = m_2$ bo'lsa, u holda (135) formuladan $u_1 = v_2$ va $u_2 = v_1$ kelib chiqadi, ya'ni sharlar markaziy elastik to'qnashuvda tezlik „almashadilar“. Xususan, agar bir xil massali sharlardan biri, masalan, ikkinchisi urilishiga qadar tinch turgan bo'lsa ($v_2 = 0$), u holda $u_1 = 0$ va $u_2 = v_1$ bo'ladi. Demak, u holda birinchi shar ikkinchisiga to'qnashib, o'z tezligini unga beradi, o'zi esa to'xtab qoladi.

Shunday qilib, jismlarning to'qnashishidan oldingi tezliklari ma'lum bo'lsa, energiyaning, impulsning saqlanish qonunlaridan foydalanib jismlarning to'qnashishdan keyingi tezliklarini aniqlash mumkin.

2. Yuqorida qaralgan berk sistemani tashkil etgan m_1 va m_2 massali sharlar markaziy noelastik urilishga uchragan bo'lsin. Urilishga qadar ularning tezliklari mos ravishda v_1 va v_2 . Noelastik urilishdan so'ng bu sharlar bir xil tezlik bilan harakatlanadilar. Bu tezlikni u bilan belgilaymiz.

Sharlarning urilishdan oldingi kinetik energiyalari mos ravishda $\frac{m_1v_1^2}{2}$ va $\frac{m_2v_2^2}{2}$, impulsleri esa $m_1\bar{v}_1$ va $m_2\bar{v}_2$ bo'ladi. U vaqtda sistemaning to'la energiyasi va impulsi quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{m_1v_1^2}{2} + \frac{m_2v_2^2}{2} \quad \text{va} \quad m_1\bar{v}_1 + m_2\bar{v}_2.$$

Urilishdan keyingi sistemaning energiya va impulsi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\frac{m_1 + m_2}{2} u^2 \quad \text{va} \quad (m_1 + m_2)\bar{u}.$$

Kuzatilayotgan sistema uchun impulsning saqlanish qonuni

$$m_1\bar{v}_1 + m_2\bar{v}_2 = m_1\bar{u} + m_2\bar{u} \quad (136)$$

dan iborat bo'ladi.

Sharlarning noelastiklik urilishda sistemaning energiyasi o'zgaradi va quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{m_1 + m_2}{2} u^2 - \left(\frac{m_1v_1^2}{2} + \frac{m_2v_2^2}{2} \right).$$

Bu ifodaga urilishdan keyingi tezlik o'rniga uning (136) formuladagi qiymatini keltirib qo'ysak, energiyaning o'zgarish ifodasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\Delta E = -\frac{m_1 m_2 (v_1 - v_2)^2}{2(m_1 + m_2)}. \quad (137)$$

Bu ifodadan ko'rinadiki, sistemaning kinetik energiyasi noelastik urilishdan so'ng kamayar ekan: chunki urilish natijasida sharlar deformatsiyalanishi tufayli ularning mexanik energiyasi to'liq tiklanmaydi, bunda energiyaning bir qismi sharlarning ichki energiyasiga aylanadi.



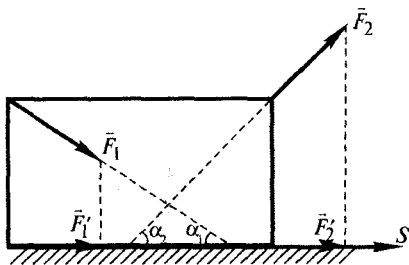
Takrorlash uchun savollar

1. Mexanik ish nima va u qanday birliklarda o'lchanadi?
2. Quvvat nima va u qanday birliklarda o'lchanadi?
3. Energiya deb nimaga aytiladi?
4. Mexanik energiya nima va uning qanday turlari mavjud? Ularning ta'rifini bering.
5. Jismga qo'yilgan kuchning bajarigan ishi bilan kinetik energiyasi orasida qanday bog'lanish bor?
6. Potensial maydonda bajarilgan ish nimaga teng? Ish bilan potensial energiya orasida qanday bog'lanish bor?
7. Elastiklik kuchining bajarigan ishi nimaga teng?
8. Elastik deformatsiyalangan jismning potensial energiyasi nimaga teng?
9. Energiyaning saqlanish va bir turdan ikkinchi turga aylanish qonuni qanday ta'riflanadi?
10. Jismning erkin tushishida mexanik energiyaning saqlanish va aylanish qonunini isbotlang.
11. Mexanik energiyaning saqlanish qonunining bajarilishi uchun zarur bo'lgan shartlarni aytib bering.
12. Foydali ish deb qanday ishga aytiladi? Misollar keltiring.
13. Foydasiz ish deb qanday ishga aytiladi? Misollar keltiring.
14. Mexanizmning foydali ish koeffitsienti deb nimaga aytiladi?
15. Jismlarning elastik va noelastik urilishlarini tushuntiring.
16. Markaziy urilish deb qanday urilishga aytiladi?
17. Jismlarning elastik to'qnashganlaridan keyingi tezliklarini hisoblash formulalarini keltirib chiqaring.



Masala yechish namunalari

1- masala. Ikki ishchi polda og'ir yashikni tekis siljitmoqda. Ishchilardan biri yashikni orqasidan polga nisbatan pastga yo'nalgan 30° burchak ostida 300 N kuch bilan itarmoqda, ikkinchisi esa xuddi shunday kattalikdagi kuch bilan polga nisbatan 45° burchak ostida arqon bilan tortmoqda. Ishchilar yashikni 20 m masofaga ko'chirsalar, ular qancha ish bajaradi?



94- rasm.

Berilgan: $F_1 = F_2 = 300 \text{ N}$, $\alpha_1 = 30^\circ$, $\alpha_2 = 45^\circ$, $s = 20 \text{ m}$.

Topish kerak A — ?

Yechilishi. Chizmada yashikka ta'sir qiluvchi F_1 va F_2 kuchlarni tasvirlaymiz (94- rasm). Ishchilarning yashikni siljitishda bajargan ishi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$A = F \cdot s,$$

bunda F kuch F_1 va F_2 kuchlarning yashikni ko'chirish yo'nalishidagi proyeksiyalarining yig'indisiga teng, ya'ni

$$F = F_1' + F_2' = F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2 = F_1 (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2).$$

Demak, bajarilgan ish

$$A = F_1 \cdot s (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$$

ga teng bo'ladi.

Hisoblash: $A = 300 \text{ N} \cdot 20 \text{ m} (\cos 30^\circ + \cos 45^\circ) = 9440 \text{ J}$.

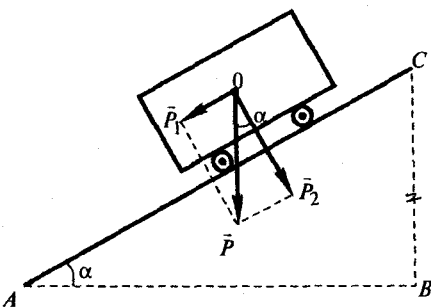
2- masala. 150 kN tormozlovchi kuch ta'siri ostida massasi 1500 t bo'lgan poyezd tormozlash boshlangandan to to'xtaguncha 500 m yo'lni o'tgan bo'lsa, u qanday tezlik bilan harakatlanayotgan edi?

Berilgan: $F = 150 \text{ kN} = 15 \cdot 10^4 \text{ N}$, $s = 500 \text{ m}$, $v_i = 0$, $m = 1500 \text{ t} = 15 \cdot 10^5 \text{ kg}$.

Topish kerak: v_0 — ?

Yechilishi. Tormozlovchi kuchga qarshi poyezdning bajarilgan ishi $A = F \cdot s$ formuladan aniqlanadi. Bu ishni bajarishda poyezdning kinetik energiyasi kamayadi. Jismga qo'yilgan kuchning bajarilgan ishi bilan jismning kinetik energiyasi orasidagi munosabatni ifodalovchi

$$A = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv_i^2}{2}$$



95- rasm.

Hisoblash:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 15 \cdot 10^4 \text{ N} \cdot 500 \text{ m}}{15 \cdot 10^5 \text{ kg}}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3- masala. Og'irligi $49 \cdot 10^5 \text{ N}$ bo'lgan elektr poyezdi tekis harakat qilib 5 minutda 3 km yo'lni o'tadi. Yo'lning qiyaligi 1 km ga 4 m. Ishqalanish koeffitsienti 0,002 ga teng bo'lsa, poyezdning bajaragan ishini va quvvatini toping.

Berilgan: $P = 49 \cdot 10^5 \text{ N}$, $t = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$, $s_1 = 3 \text{ km} = 3 \cdot 10^3 \text{ m}$, $s_2 = 1 \text{ km} = 10^3 \text{ m}$, $h = 4 \text{ m}$, $k = 0,002$.

Topish kerak: $A - ? \text{ N} - ?$

Yechilishi. P og'irlik kuchini ikkita: yo'lga parallel bo'lgan P_1 va perpendikular bo'lgan P_2 tashkil etuvchilariga ajratamiz (95- rasm). Poyezd F_1 ishqalanish kuchiga va og'irlik kuchining P_1 tashkil etuvchisiga qarshi ish bajaradi. Demak, izlanayotgan ish quyidagiga teng bo'ladi:

$$A = (F_1 + P_1) \cdot s_1$$

95- rasmdan foydalanib, $P_1 = P \cdot \sin \alpha$ va $P_2 = P \cdot \cos \alpha$ ekanligini topamiz, bunda α — yo'lning gorizontga nisbatan qiyaligi. Ishqalanish kuchi $F_1 = kP_2 = kP \cdot \cos \alpha$ ga teng bo'ladi. $\sin \alpha$ va $\cos \alpha$ kattaliklarni topish uchun s_2 yo'lga ko'tarilish balandligini h ekanligidan foydalanamiz. $\triangle ABC$ da $AC = s_2$ va $BC = h$ bo'lgani uchun:

$$\sin \alpha = \frac{h}{s_2} = \frac{4 \text{ m}}{1000 \text{ m}} = 0,004;$$

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{s_2^2 - h^2}}{s_2} = \frac{\sqrt{(1000 \text{ m}^2) - (4 \text{ m})^2}}{1000 \text{ m}} = 0,9999 \approx 1.$$

Shunday qilib,

formuladan foydalanib, poyezdning tormozlashdan avvalgi v_0 tezligini topish mumkin. $v_1 = 0$ bo'lgani uchun

$$F \cdot s = \frac{mv_0^2}{2}$$

bo'ladi. Bundan

$$v_0 = \sqrt{\frac{2Fs}{m}}$$

$$A = (kP \cos \alpha + P \sin \alpha) \cdot s_1 = P(k \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot s_1.$$

Elektropoyezdning quvvati quyidagiga teng bo'ladi:

$$N = \frac{A}{t} = P(k \cos \alpha + \sin \alpha) \frac{s_1}{t}.$$

Hisoblash: $A = 49 \cdot 10^5 \text{ N}(0,002 \cdot 1 + 0,004) \cdot 3 \cdot 10^3 \text{ m} = 8,82 \cdot 10^7 \text{ J} = 8,82 \cdot 10^4 \text{ kJ},$

$$N = \frac{8,82 \cdot 10^7 \text{ J}}{300 \text{ s}} = 2,94 \cdot 10^5 \text{ W} = 294 \text{ kW}.$$

4- masala. Tosh yuqoriga vertikal ravishda $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan otildi. Qanday balandlikda toshning kinetik energiyasi uning potensial energiyasiga teng bo'ladi?

Berilgan: $v_0 = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}; E_k = E_p.$

Topish kerak: $h - ?$

Yechilishi. Ma'lumki, yuqoriga tik otilgan jism tekis sekinlanuvchan harakat qiladi. Shuning uchun

$$h = \frac{v_0^2 - v^2}{2g}$$

bo'ladi, bunda v jismning h balandlikdagi tezligi bo'lib, uning kattaligini masalaning shartidan foydalanib topish mumkin. Jismning massasini m bilan belgilab, masalaning shartiga muvofiq,

$$\frac{mv^2}{2} = mgh$$

deb yoza olamiz. Bundan v^2 ni topamiz: $v^2 = 2gh.$

Demak,

$$h = \frac{v_0^2 - 2gh}{2g} = \frac{v_0^2}{2g} - h$$

bo'ladi. Bundan qidirilayotgan balandlik uchun $h = \frac{v_0^2}{4g}$ ifodani hosil qilamiz.

Hisoblash: $h = \frac{100 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{4 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2,55 \text{ m}.$

5- masala. Og'irligi 19,6 N bo'lgan yukni 1 m balandlikka o'zgaras kuch bilan vertikal ko'tarishda 39,2 J ish bajarilgan. Yuk qanday tezlanish bilan ko'tarilgan?

Berilgan: $P = 19,6 \text{ N}$; $h = 1 \text{ m}$; $A = 39,2 \text{ J}$.

Topish kerak: $a = ?$

Yechilishi. A ish og'irlik kuchiga qarshi bajarilgan $P \cdot h$ ish bilan jismga a tezlanish beruvchi kuchning h yo'lda bajargan mah ishning yig'indisiga teng bo'ladi. Ph ish jismning potensial energiyasini oshirish uchun sarflanadi.

Shunday qilib,

$$A = Ph + mah = Ph + \frac{P}{g}ah.$$

Bundan jismning tezlanishi

$$a = \frac{A - Ph}{Ph} g$$

ga teng bo'ladi.

$$\text{Hisoblash: } a = \frac{39,2 \text{ J} - 19,6 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}}{19,6 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

6- masala. Prujinani 4 mm cho'zish uchun 0,02 J ish bajarish kerak. Shu prujinani 4 sm cho'zish uchun qancha ish bajarish kerak?

Berilgan: $\Delta x_1 = 4 \text{ mm} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; $A_1 = 0,02 \text{ J}$; $\Delta x_2 = 4 \text{ sm} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$.

Topish kerak: $A_2 = ?$

Yechilishi. Prujinani Δx_2 ga cho'zish uchun elastiklik kuchiga qarshi

$$A_2 = \frac{k\Delta x_2^2}{2}$$

ish bajariladi, bu yerda k — prujinaning bikrligi bo'lib, uni prujinani Δx_1 ga cho'zishda bajarilgan ish

$$A_1 = \frac{k\Delta x_1^2}{2}$$

formulasidan foydalanib topamiz:

$$k = \frac{2A_1}{\Delta x_1^2}.$$

U vaqtda izlanayotgan ish

$$A_2 = \frac{2A_1}{\Delta x_1^2} \cdot \frac{\Delta x_2^2}{2} = A_1 \frac{\Delta x_2^2}{\Delta x_1^2}$$

bo'ladi.

$$\text{Hisoblash: } A_2 = 0,02 \text{ J} \frac{16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 2 \text{ J.}$$

7- masala. Agar nasos motorining quvvati 14,7 kW, qurilmaning FIK 80% bo'lsa, 7 soat davomida chuqurligi 500 m bo'lgan quduqdan qancha neftni chiqarish mumkin?

$$\text{Berilgan: } N = 14,7 \text{ kW} = 14700 \text{ W.}$$

$$\eta = 80\% = 0,8; t = 7 \text{ soat} = 25200 \text{ s}; h = 500 \text{ m.}$$

Topish kerak: m — ?

Yechilishi. Neftni quduqdan chiqarishda bajarilgan foydali ish $A_f = mgh$ ga, nasos motorining t vaqt ichida bajargan umumiy ishi $A_{um} = N \cdot t$ ga teng bo'ladi. Binobarin, qurilmaning FIK:

$$\eta = \frac{A_f}{A_{um}} = \frac{mgh}{N \cdot t}$$

Bundan quduqdan chiqarilgan neftning massasi

$$m = \frac{\eta N t}{gh}$$

ga teng bo'ladi.

$$\text{Hisoblash: } m = \frac{0,8 \cdot 14700 \text{ W} \cdot 25200 \text{ s}}{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 500 \text{ m}} \approx 6,04 \cdot 10^4 \text{ kg.}$$

8- masala. Massasi 3 kg bo'lgan shar $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan harakatlanib, huddi shunday massadagi qo'zg'almas shar bilan to'qnashadi. Urilishni markaziy va noelastik deb hisoblab, sistema kinetik energiyasining urilishdan keyingi o'zgarishini toping.

$$\text{Berilgan: } m_1 = m_2 = 3 \text{ kg}; v_1 = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_2 = 0.$$

Topish kerak: ΔE_k — ?

Yechilishi. Sharlar bir-biriga urilmasdan oldin sistemaning to'la kinetik energiyasi $\frac{m_1 v_1^2}{2}$ ga teng bo'ladi. Urilishdan so'ng sharlar birgalikda biror

u tezlik bilan harakatlanadilar, binobarin, sistemaning to'la kinetik energiyasi $\frac{(m_1 + m_2)u^2}{2}$ ga teng bo'ladi. Shuning uchun urilishdan so'ng sistema kinetik energiyasining o'zgarishi quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta E_k = \frac{m_1 v_1^2}{2} - \frac{m_1 + m_2}{2} u^2.$$

Sharlar birgalikda harakatining u tezligini impulsning saqlanish qonunidan foydalanib topish mumkin. Bu qonunga muvofiq

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2) u$$

bo'ladi, bundan

$$u = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}.$$

Demak,

$$\Delta E_k = \frac{m_1 v_1^2}{2} - \frac{m_1 + m_2}{2} \left(\frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2} \right)^2.$$

Soddalashtirishdan so'ng

$$\Delta E_k = \frac{m_1 m_2 v_1^2}{2(m_1 + m_2)}$$

ifodani hosil qilamiz.

$$\text{Hisoblash: } \Delta E_k = \frac{3\text{kg} \cdot 3\text{kg} \cdot 16 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2(3+3)\text{kg}} = 12 \text{ J}.$$

9- masala. Qiyalik burchagi 30° bo'lgan qiya tekislikda massasi 400 kg bo'lgan yukni 0,3 ishqalanish koeffitsientida 2 m balandlikka chiqarish uchun qancha ish bajarish lozim? Qiya tekislikning FIK qancha?

Berilgan: $\alpha=30^\circ$, $m=400$ kg, $h=2$ m, $k=0,3$.

Topish kerak: $A - ?$ $\eta - ?$

Yechilishi. Yukni qiya tekislik bo'yicha ko'tarishda og'irlik kuchining qiya tekislikka parallel bo'lgan P_i tashkil etuvchisi va F_i ishqalanish kuchini yengishda bajarilgan umumiy ish

$$A_{\text{um}} = (F_i + P_i) \cdot s$$

ga teng bo'ladi, bu yerda s — qiya tekislikning uzunligi (95- rasmga q.); rasmdan

$$P_1 = P \sin \alpha; P_2 = P \cos \alpha \text{ va } s = \frac{h}{\sin \alpha}$$

ekani ko'rinib turibdi. Binobarin,

$$F_i = kP_2 = kP \cos \alpha$$

va bajarilgan umumiy ish

$$A_{\text{um}} = (kP \cos \alpha + P \sin \alpha) \cdot \frac{h}{\sin \alpha}$$

ga teng bo'ladi. Soddashtirishdan so'ng

$$A_{\text{um}} = mgh(k \operatorname{ctg} \alpha + 1)$$

ifodaga ega bo'lamiz.

Qiya tekislikning FIK quyidagiga teng bo'ladi:

$$\eta = \frac{A_f}{A_{\text{um}}} \cdot 100\% = \frac{mgh100\%}{mgh(k \operatorname{ctg} \alpha + 1)} = \frac{100\%}{k \operatorname{ctg} \alpha + 1}$$

Hisoblash:

$$A_{\text{um}} = 400\text{kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2\text{m}(0,3 \cdot \operatorname{ctg}30^\circ + 1) \approx 11,9 \cdot 10^3 \text{J}.$$

$$\eta = \frac{100\%}{0,3 \cdot \operatorname{ctg}30^\circ + 1} = 65\%.$$



Mustaqil yechish uchun masalalar

61. 20 sm yo'lda qanday kuch 100 J ish bajarishi mumkin?

62. Bola chanani 100 N kuch bilan tortib bormoqda. Bunda arqon gorizontal yo'nalish bilan 30° burchak hosil qiladi. Bola chanani 50 m masofaga siljitishda qancha ish bajaradi?

63. O'q miltiqdan $1000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ boshlang'ich tezlikda otilib chiqdi va yerga

$50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan tushdi. Agar o'qning massasi 10 g bo'lsa, o'qning uchish paytida havo qarshiligini yengish uchun qancha ish sarflangan?

64. Kran 20 kN yukni ko'tarmoqda. Kraning ko'tarish tezligi

$30 \frac{\text{m}}{\text{min}}$ bo'lganda 5 sekundda bajarilgan ishni toping.

65. 20 kg massali jism 6 sekund davomida erkin tushadi. Og'irlik kuchining bajargan ishini toping.

66. Yo'ning uzunligi 3 km bo'lgan gorizontol qismida avtomobilning tezligi $36 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ dan $72 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ gacha ortdi. Avtomobilning massasi 3 t. Ishqalanish koeffitsienti 0,01. Avtomobil dvigatelining bajargan ishini va o'rtacha quvvatini aniqlang.

67. Lokomotivning tortish kuchi 250 kN ga, quvvati $3 \cdot 10^3$ kW ga teng. Agar poyezd tekis harakatlanayotgan bo'lsa, 10,8 km masofani qancha vaqtda o'tadi?

68. Agar prujinaga ta'sir qiluvchi kuchning deformatsiyaga proporsionalligi va uni 1 sm siqish uchun 29,4 N kuch kerakligi ma'lum bo'lsa, bu prujinani 20 sm siqishda qancha ish bajariladi?

69. Jism gorizont bilan 45° burchak tashkil qilgan qiya tekislikdan sirpanib tushmoqda. Jism 36,4 m masofani o'tganda $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlikka erishadi. Jismning tekislikka ishqalanish koeffitsienti topilsin.

70. Elektropoyezd $54 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ tezlik bilan harakatlanayotganda uning motorlari 900 kW quvvatga erishadi. Motor va uzatuvchi mexanizmlarning foydali ish koeffitsienti 80%. Motorning tortish kuchini aniqlang.

71. Foydali ish koeffitsienti 75% bo'lgan ko'tarish krani $2,75 \cdot 10^4$ N yukni ko'taradi. Kran dvigatelining quvvati 1,25 kW bo'lsa, yuk 25 sekundda qanday balandlikka ko'tariladi?

72. Agar motorning quvvati 2,94 kW, qurilmaning FIK 70% bo'lsa, 20 m chuqurlikdagi quduqdan 2 soat davomida qancha suv chiqarish mumkin?

73. $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan harakatlanayotgan 2 kg massali jism $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan harakatlanayotgan 3 kg massali jismni quvib yetib, unga markaziy uriladi. Urilish elastik va noelastik bo'lganda jismlarning to'qnashishdan keyingi tezliklari topilsin.

74. Massasi 5 kg bo'lgan jism 2,5 kg og'irlikdagi qo'zg'almas jism bilan to'qnashgandan keyin, bu ikki jism sistemasining kinetik energiyasi 5 J ga teng bo'lib qolgan. Urilishni markaziy va elastikmas hisoblab, birinchi jismning urilishdan oldingi kinetik energiyasi topilsin.

IV bob. STATIKA ELEMENTLARI

31- § da qayd qilib o'tganimizdek, ko'p hollarda jismga bir vaqtda bir necha kuch ta'sir qilishiga qaramay, u nisbatan tinch holatda bo'ladi yoki to'g'ri chiziqli tekis harakat qiladi, ya'ni jismning tezlanishi nolga teng bo'ladi.

Kuchlar ta'sirida tezlanish olmaydigan jismlar *muvozanat holatidagi jismlar* deyiladi.

Mexanikaning kuchlar ta'sirida jismlarning muvozanatda bo'lish shartlarini o'rganadigan bo'limi *statika* deb ataladi.

62- §. Kuchlarni qo'shish. Teng ta'sir etuvchi kuch

Kuchning jismga ko'rsatadigan ta'siri faqat uning son qiymatiga emas, shuningdek, uning yo'nalishiga va qo'yilish nuqtasiga ham bog'liq bo'ladi. Masalan, kuchning yo'nalishiga qarab prujina cho'ziladi yoki qisiladi, eshik ochiladi yoki yanada zichroq yopiladi. Biz bilamizki, odatda eshik dastasini iloji boricha oshiq-moshiqlardan uzoqroq mahkamlanadi, chunki oshiq-moshiqqa yaqin joydagi nuqtaga qaraganda uzoqroq nuqtadan itarib eshikni ochish ancha oson bo'ladi.

Demak, jismga ta'sir etayotgan kuch to'g'risida to'la tasavvurga ega bo'lish uchun:

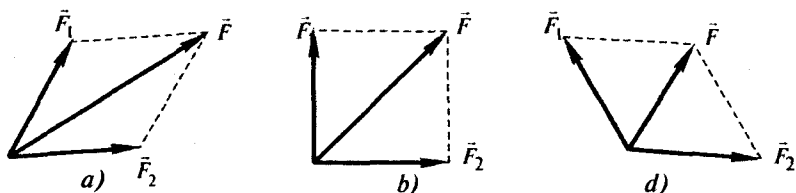
- 1) *kuchning qanday kattalikda ekanini;*
- 2) *uning qanday yo'nalishda ta'sir etishini;*
- 3) *kuch jismning qaysi nuqtasiga qo'yilganini bilish kerak.*

Shunday qilib, kuch vektor kattaligidir. Jismning faqat bitta kuch ta'siri ostidagi harakati kamdan-kam uchraydi. Ko'pgina hollarda jismga bir vaqtrning o'zida bir necha kuch ta'sir qiladi. Bu kuchlarni o'zining ta'sir natijasi bilan o'sha kuchlarga teng kuchli bo'lgan bitta kuch bilan almashtirish mumkin. Bu almashtirilgan bitta kuch shu kuchlarning *teng ta'sir etuvchisi* deyiladi.

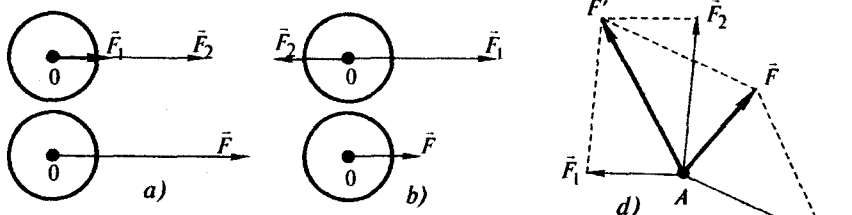
Teng ta'sir etuvchi kuch bilan almashtirilgan kuchlar uning *tashkil etuvchilari* deyiladi.

Berilgan tashkil etuvchi kuchlarga muvofiq teng ta'sir etuvchini topish *kuchlarni qo'shish* deyiladi. Kuch vektor kattalik bo'lgani uchun kuchlarni vektorlarni qo'shish kabi qo'shiladi (7- § ga q.). Teng ta'sir etuvchi kuchning yo'nalishi va kattaligi tashkil etuvchi kuchlarning kattaligigagina bog'liq bo'lmay, balki ularning yo'nalishiga va qo'shiluvchi kuchlar orasidagi burchakka ham bog'liq bo'ladi.

96 a, b, d- rasmda kuchning kattaliklari o'zgarmas, ammo oralaridagi burchak har xil bo'lgan ikkita tashkil etuvchilarini



96- rasm.



97- rasm.

geometrik qo'shishning uch holi tasvirlangan. Bundan ko'ri-
nadiki, tashkil etuvchilar orasidagi burchakning ortishi bilan
geometrik yig'indining kattaligi kamayib boradi.

Tashkil etuvchi kuchlar orasidagi burchak 0° yoki 180°
bo'lgan hollarda kuchlar bir to'g'ri chiziq bo'ylab ta'sir ko'rsa-
tadi. Kuchlarning shunday ta'siri 97- rasmda tasvirlangan.

Burchak 0° bo'lganda \vec{F}_1 va \vec{F}_2 kuchlar bir yo'nalishda ta'sir
etadi (97- a rasm). Teng ta'sir etuvchi kuch $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ ga teng va
qo'shiluvchi kuchlar qo'yilgan nuqtaga qo'yilgan va ular bilan
bir xil yo'nalishga ega bo'ladi. Burchak 180° bo'lganda esa \vec{F}_1 va \vec{F}_2
kuchlar qarama-qarshi yo'nalishda ta'sir etadi (97- b rasm). Bu
holda ham teng ta'sir etuvchi kuch $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ ga teng va katta
(\vec{F}_2) kuch bilan bir xil yo'nalishga ega bo'lib, qo'yilish nuqtasi
qo'shiluvchi kuchlarning qo'yilish nuqtasi bilan ustma-ust
tushadi.

Agar jismga bir necha kuch ta'sir etsa, hamma vaqt juft-
juftlab qo'shish yo'li bilan ularning teng ta'sir etuvchisi topiladi.
Faraz qilaylik, jismga turli yo'nalishdagi \vec{F}_1 , \vec{F}_2 va \vec{F}_3 kuchlar

ta'sir etayotgan bo'lsin (97- *d* rasm). Ularning teng ta'sir etuvchisini topish uchun parallelogramm qoidasiga muvofiq avval \vec{F}_1 va \vec{F}_2 kuchlarning \vec{F}' teng ta'sir etuvchisi topiladi. Demak $\vec{F}' = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$. So'ng \vec{F}' kuch bilan \vec{F}_3 kuchlarning teng ta'sir etuvchisi topiladi. Hosil bo'lgan \vec{F} kuch uchala kuchning teng ta'sir etuvchisiga teng bo'ladi, ya'ni

$$\vec{F} = \vec{F}' + \vec{F}_3 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3.$$

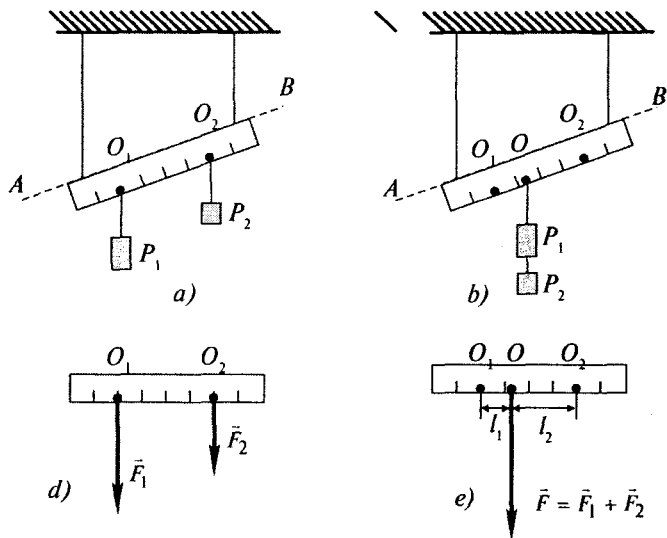
Agar kuchning tashkil etuvchilari jismning bir nuqtasiga qo'yilmasdan (yuqorida ko'rib o'tilgan hol), balki turli nuqtalariga qo'yilgan bo'lsa, bu holda vektorni o'z-o'ziga parallel ko'chirish mumkinligidan foydalanib, kuchlardan birini ikkinchisi ta'sir etayotgan nuqtaga ko'chiriladi va vektorlarni qo'shish yoki ayirish qoidalariga amal qilib, teng ta'sir etuvchi kuch aniqlanadi (7- § ga q.).

Jismga bir vaqtning o'zida bir qancha kuch ta'sir qilganda tezlanish jismga qo'yilgan barcha kuchlarning geometrik yig'indisi (teng ta'sir etuvchisi) bilan aniqlanadi.

63- §. Ikki parallel kuchning teng ta'sir etuvchisi

Jismga bir tomonga yo'nalgan ikki parallel kuch ta'sir etayotgan bo'lsin. Shu kuchlarning teng ta'sir etuvchisini va uning qo'yilish nuqtasini aniqlaylik. Bu maqsadda quyidagicha tajriba o'tkazamiz.

Darajalangan chizg'ichni ikkita rezina ipga osib, uning O_1 nuqtasiga P_1 yukni, O_2 nuqtasiga P_2 yukni ilib qo'yamiz (98- *a* rasm). Bu holda chizg'ichga bir-biriga parallel, chizg'ichga tik va pastga tomon yo'nalgan \vec{F}_1 va \vec{F}_2 kuchlar ta'sir etadi (98- *d* rasm). Bu ikki kuch ta'sirida rezina ip cho'ziladi va chizg'ich *a* rasmda ko'rsatilgandek AB vaziyatni oladi. Chizg'ich vositasida O_1 va O_2 nuqtalarning vaziyatini belgilab, yuklarni olamiz. So'ng $P = P_1 + P_2$ yukni chizg'ichning shunday bir O nuqtasini topib ilamizki, bunda chizg'ich dastlabki AB holatini olsin (98- *b* rasm). Chizg'ichga \vec{F} kuch ta'sir etadi (98- *e* rasm). Demak, ikkita P_1 va P_2 yuklar chizg'ichga qanday ta'sir ko'rsatgan bo'lsa, ikkala yukning birgalikdagi ta'siri ham shunday bo'ladi. Bino-



98- rasm.

barin, $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ bo'lib, \vec{F} kuch \vec{F}_1 va \vec{F}_2 ikki parallel kuchlarning teng ta'sir etuvchisidir.

O nuqtaning chizg'ichdagi vaziyatini aniqlab, so'ng $OO_1 = l_1$ hamda $OO_2 = l_2$ masofalarni o'lchab olamiz. Tajriba shuni ko'rsatadiki, \vec{F}_1 va \vec{F}_2 kuchlarning kattaligi bilan l_1 va l_2 masofalar orasidagi munosabat quyidagicha ekan: *kuchlarning nisbati masofalarning nisbatiga teskari proporsional ekan*, ya'ni

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}. \quad (138)$$

Shunday qilib, quyidagi xulosaga kelish mumkin:

1) *bir tomonga yo'nalgan ikki parallel kuchlarning teng ta'sir etuvchisi shu kuchlarning yig'indisiga teng, ularga parallel va ular bilan bir tomonga yo'nalgan bo'ladi;*

2) *ikki parallel kuch teng ta'sir etuvchisining qo'yilgan nuqtasi shu ikki kuchning qo'yilgan nuqtalari orasidagi masofani shu kuchlarga teskari proporsional qismlarga bo'ladi.*

Endi jismga kattalik jihatdan teng bo'lmagan va qarama-qarshi tomonga (antiparallel) yo'nalgan ikki \vec{F}_1 va \vec{F}_2 kuchlar ta'sir

etayotgan bo'lsin. Ularning teng ta'sir etuvchisini va uning qo'yilish nuqtasining vaziyatini aniqlaylik. Aniqlik uchun

$\vec{F}_1 > \vec{F}_2$ deb olaylik (99-rasm).

\vec{F}_1 kuchning qo'yilish nuqtasi A , \vec{F}_2 kuchning qo'yilish nuqtasi B bo'lsin.

\vec{F}_1 kuchni bir tomonga yo'nalgan ikki parallel

\vec{F} va \vec{F}_3 kuchga (tashkil etuvchilarga) ajrataylik. Bunda tashkil etuvchilardan biri \vec{F}_3 kuch B nuqtaga (\vec{F}_2 kuchning qo'yilish nuqtasiga) qo'yilgan, kattaligi jihatdan \vec{F}_2 kuchga teng va unga qarama-qarshi yo'nalgan. Ikkinchisi \vec{F} esa kattaligi jihatdan $F_1 - F_3 = F_1 - F_2$ ga teng bo'lib, qo'yilish nuqtasi O ning vaziyati

$$\frac{F_2}{OA} = \frac{F_1 - F_2}{AB} \quad \text{yoki} \quad \frac{F_2}{OA} = \frac{F}{AB} \quad (139)$$

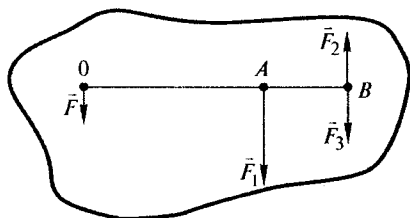
shartdan aniqlanadi.

Shunday qilib, \vec{F}_1 va \vec{F}_2 kuchlarni \vec{F} , \vec{F}_2 va \vec{F}_3 kuchlar bilan almashtirdik. Lekin \vec{F}_2 va \vec{F}_3 kuchlar bir-birini muvozanatlaydi, demak, \vec{F}_1 va \vec{F}_2 kuchlar \vec{F} kuch bilan almashtirildi. Binobarin, \vec{F} kuch \vec{F}_1 va \vec{F}_2 kuchlarning teng ta'sir etuvchisi bo'ladi.

1. *Bir-biriga teng bo'lmagan va qarama-qarshi tomonga yo'nalgan ikki parallel kuchlarning teng ta'sir etuvchisi kattalik jihatdan bu kuchlarning ayirmasiga teng, katta kuchdan tashqariga qo'yilgan va u bilan bir tomonga yo'nalgan.*

2. *Teng ta'sir etuvchining qo'yilish nuqtasi qo'shiluvchi kuchlarning qo'yilish nuqtalarini birlashtiruvchi to'g'ri chiziq ustida yotadi.*

3. *Teng ta'sir etuvchining qo'yilish nuqtasi bilan qo'shiluvchi kuchlarning qo'yilish nuqtalarigacha bo'lgan masofalarning nisbati kuchlarning nisbatiga teskari proporsional bo'ladi.*



99- rasm.

64- §. Kuchlarni ikkita tarkibiy qismlarga ajratish

1. *Kuchlarni burchak ostida yo'naltirilgan ikki tarkibiy qismlarga ajratish.*

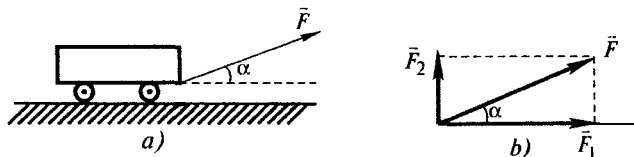
Jismlar ixtiyoriy yo'nalishda ta'sir etayotgan kuchlar ta'sirida harakatlanishi mumkin. Lekin ba'zan berilgan ayni shu masalani hal etish uchun kuchning tayinli bir yo'nalishdagi ta'sirini bilish kerak bo'ladi. Masalan, aravachaga gorizont bilan biror α burchak hosil qilgan holda \vec{F} kuch ta'sir etayotgan bo'lsin (100- *a* rasm). Aravacha unga qo'yilgan kuch yo'nalishida emas, balki gorizont tal yo'nalishda harakat qiladi. Aravachani qanday kuch harakatga keltiradi? Bu kuchni aniqlash uchun \vec{F} kuchni o'zaro burchak hosil qilgan ikki kuch bilan almashtirish kerak.

Bir kuchni xuddi shu kuchday ta'sir ko'rsatuvchi va o'zaro burchak hosil qilgan ikki kuch bilan almashtirish kuchni tarkibiy qismga (tashkil etuvchilarga) ajratish deyiladi.

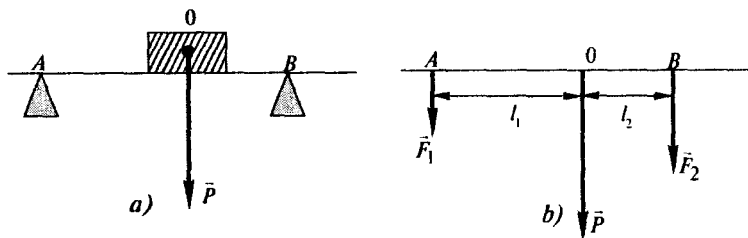
Vektorni tashkil etuvchilarga ajratish qoidasidan foydalanib (7- § ga q.), \vec{F} kuchni gorizont tal yo'nalgan \vec{F}_1 va vertikal yo'nalgan \vec{F}_2 kuchlarga ajratamiz (100- *b* rasm). \vec{F}_1 va \vec{F}_2 kuchlar \vec{F} kuchning tarkibiy qismi hisoblanadi. Ulardan faqat \vec{F}_1 kuch aravachani harakatga keltiradi.

2. *Kuchni ikki parallel tashkil etuvchilarga ajratish.*

Ko'pincha kuchni ikki parallel tashkil etuvchilarga ajratish bilan bog'liq bo'lgan masalalarni yechishga to'g'ri keladi. Masalan, ko'prik ustida turgan mashinaning ko'prikning o'z og'irligini e'tiborga olmagan holda uning *A* va *B* tayanchlariga ko'rsatayotgan kuchini aniqlash kerak bo'lsin (101- *a* rasm). *O* nuqta mashinaning og'irlik markazi, \vec{P} og'irlik kuchining qo'yilish nuqtasi. \vec{P} kuchni *A* va *B* nuqtalarga qo'yilgan ikki



100- rasm.



101- rasm.

parallel kuchlar \vec{F}_1 va \vec{F}_2 ga ajratish kerak (101- b rasm). Parallel kuchlarning teng ta'sir etuvchisini topishdan kelib chiqadigan xulosaga asosanib (63- § ga q.) va $P = F_1 + F_2$, $OA = l_1$, $OB = l_2$ larni belgilab, quyidagi munosabatni yozamiz:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1} \quad \text{yoki} \quad \frac{F_1}{P - F_1} = \frac{l_2}{l_1} \quad \text{va} \quad \frac{P - F_2}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}.$$

Keyingi ikki ifodalarni F_1 va F_2 kuchlarga nisbatan yechsak, u holda:

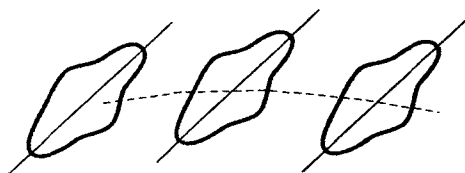
$$F_1 = \frac{P}{\frac{l_1}{l_2} + 1} \quad \text{va} \quad F_2 = \frac{P}{\frac{l_2}{l_1} + 1} \quad (140)$$

munosabatlarni hosil qilamiz. Bu munosabatlardan foydalanib ko'prikning A va B tayanchlariga qanday kuch ta'sir etishini aniqlash mumkin. Agar P , l_1 va l_2 larning qiymatlari ma'lum bo'lsa, shu yo'l bilan har qanday kuchni ikki parallel tarkibiy qismlarga ajratish mumkin.

Kuchlarni tarkibiy qismga ajratish katta amaliy ahamiyatga ega. Masalan, og'ir yuklarni ko'tarishda ishlatiladigan minorali kraning loyhasini tuzishda, ponani ishlatishda, jismlarning qiya tekislikda muvozanatda turishini ta'minlashda va h.k. kuchning tashkil etuvchilarining kattaligini oldindan hisobga olish maqsadga muvofiqdir.

65- §. Qattiq jismning harakati

Ma'lumki, kuch ta'sirida jismlar deformatsiyalanadi. Ko'p hollarda bunday deformatsiyalar shu qadar zaif bo'ladiki, jismlarning harakatini tavsiflashda ularni e'tiborga olmasa ham



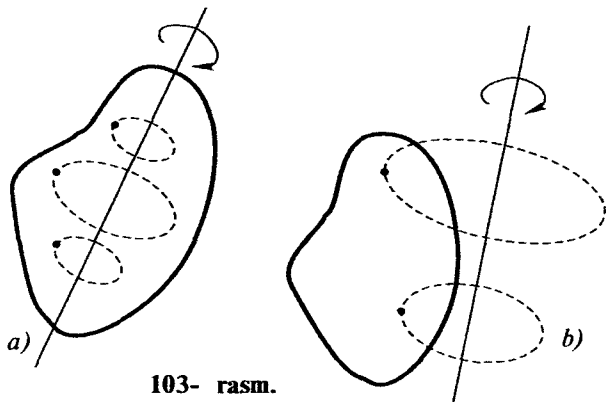
102- rasm.

tish kerakki, tabiatda absolyut qattiq (ya'ni mutlaqo deformatsiyalanmaydigan) jismlar yo'q. Faqat jismlar ma'lum sharoitlarda harakatlangan vaqtda deformatsiyani hisobga olmasa bo'ladigan darajada kichikligi ularni absolyut qattiq jism deb qabul qilishga imkon beradi.

Qattiq jismning har qanday harakatini ikkita asosiy harakat turiga — ilgarilanma va aylanma harakatlarga ajratish mumkin.

Ilgarilanma harakat — bu shunday harakatki, bunda harakatlanylantgan jism bilan bog'langan istalgan to'g'ri chiziq harakat davomida o'ziga parallelligicha qoladi (102- rasm). Boshqacha qilib aytganda, ilgarilanma harakatda jismning barcha nuqtalarining bir xil vaqt oraliqlarida ko'chishi kattalik va yo'nalish jihatidan bir xil bo'ladi, shu sababli barcha nuqtalarning tezligi va tezlanishi vaqtning har bir momentida bir xil bo'ladi. Shuning uchun ilgarilanma harakat jismning bitta nuqtasining — uning *massa markazining harakati* deb qaralishi mumkin. Bunda biz jismning butun massasi uning massa markazida to'plangan deb hisoblashimiz kerak.

bo'ladi. Agar qaralayotgan masalaning shartlariga binoan jismning deformatsiyasini e'tiborga olmaslik mumkin bo'lsa, bunday jism *absolyut qattiq jism* deyiladi. Shuni nazarda tu-



103- rasm.

Aylanma harakat vaqtida jismning barcha nuqtalari markazlari *aylanish o'qi* deb ataluvchi birdan-bir chiziqda yotuvchi aylanalar bo'ylab bir xil burchak tezlik bilan harakatlanadi (103-*a* rasm). Aylanish o'qi jismdan tashqarida yotishi ham mumkin (103-*b* rasm). Aylanma harakatni tavsiflash uchun aylanish o'qining fazodagi vaziyatini, jismning vaqtning har bir paytidagi burchak tezligini bilish kerak bo'ladi.

66- §. Kuchlar ta'sirida jismning muvozanat shartlari

Ma'lumki, har qanday jism ilgariylanma harakat qilishi va undan tashqari biror o'q atrofida aylanishi yoki burilishi mumkin. Jismlarning ana shu ikki turli harakatda bo'lishi mumkin bo'lgan muvozanat shartlarini ko'rib chiqaylik.

Avvalo, aylanish bo'lmagan holda (ya'ni ilgariylanma harakatda) jismning muvozanat shartini aniqlaylik. Bu holni parashyutchining harakati misolida ko'rib chiqaylik.

Parashyutchi tushayotganida unga bir vaqtning o'zida bir to'g'ri chiziq bo'yicha pastga yo'nalgan og'irlik kuchi va yuqoriga yo'nalgan havoning qarshilik kuchi ta'sir qiladi. Tushish boshlangandan parashyut ochilguncha og'irlik kuchi havoning qarshilik kuchidan katta bo'lgani uchun parashyutchi tezlanuvchan harakat bilan tushadi. Parashyut ochilgandan so'ng havoning qarshilik kuchi og'irlik kuchidan katta bo'lgani uchun parashyutchi sekinlanuvchan harakat qiladi. Ammo biror vaqtdan keyin og'irlik kuchi havoning qarshilik kuchiga teng bo'lib qoladi va parashyutchi shu vaqtdagi tezligi bilan to'g'ri chiziq tekis harakat qilib tusha boshlaydi. Bu vaqtda og'irlik kuchi bilan havoning qarshilik kuchi bir-birini kompensatsiyalaydi, binobarin, parashyutchining tezlanishi nolga teng bo'ladi. Demak, parashyutchi muvozanat holatida bo'ladi.

Jismga bir to'g'ri chiziq bo'yicha ta'sir qiluvchi ikkita teng va qarama-qarshi yo'nalgan kuchlar o'zaro *muvozanatlanuvchi kuchlar* deyiladi.

Amalda bir-birini muvozanatlovchi kuchlar faqat ikkita bo'lmasdan bir nechta kuchlardan iborat bo'lgan hollar ko'proq uchraydi. Nyutonning ikkinchi qonunidan shunday xulosa kelib

chiqadiki, agar jismga ta'sir etuvchi barcha kuchlarning teng ta'sir etuvchisi nolga teng bo'lsa, bu jismning tezlanishi ham nolga teng bo'ladi, demak, jism muvozanat holatida bo'ladi. Agar teng ta'sir etuvchi kuch nolga teng bo'lmasa, u holda jismni muvozanatga keltirish uchun bu teng ta'sir etuvchi kuchni aniqlab, so'ngra uni muvozanatlaydigan qo'shimcha kuch qo'yish kerak.

Teng ta'sir etuvchi kuchga miqdor jihatidan teng bo'lgan va bu kuch bilan bir to'g'ri chiziqda yotgan, lekin qarama-qarshi tomonga yo'nalgan kuch muvozanatlovchi kuch deyiladi.

Shunday qilib, aylanish bo'lmagan holda jismning muvozanatda bo'lishi uchun jismga qo'yilgan kuchlarning teng ta'sir etuvchisi nolga teng bo'lishi zarur.

Agar kuchlarning geometrik yig'indisi nolga teng bo'lsa, u holda bu kuchlar vektorlarining har qanday o'qdagi proyeksiyalarining yig'indisi ham nolga teng bo'ladi. Shuning uchun jismning muvozanat shartini yana quyidagicha ifodalash mumkin: *aylanish bo'lmagan holda jism muvozanatda bo'lishi uchun jismga qo'yilgan kuchlarning har qanday o'qdagi tashkil etuvchilari yig'indisi nolga teng bo'lishi zarur.*

Misol sifatida qiya tekislikdagi jismning ishqalanish bo'lmagan holdagi muvozanat shartini ko'rib chiqaylik.

Uzunligi $l = AB$, balandligi $h = BC$ bo'lgan ABC qiyalikda og'irligi \bar{P} bo'lgan yuk turgan bo'lsin (104- rasm). \bar{P} kuchni ikkita tashkil etuvchiga — qiya tekislikka parallel bo'lgan \bar{F}_1 kuchga va unga perpendikulyar yo'nalishdagi \bar{F}_2 kuchga ajratamiz. \bar{F}_2 kuch bilan yuk qiya tekislikni bosadi, natijada deformatsiyalangan tekislik miqdor jihatdan F_2 kuchga teng, lekin qarama-qarshi tomonga yo'nalgan \bar{N} kuch (tekislikning reaksiya kuchi) bilan yukka ta'sir qiladi. \bar{F}_1 kuch ta'sirida yuk qiya tekislikdan pastga qarab tusha boshlaydi. Ishqalanishni hisobga olmasak, yukni qiya tekislikda muvozanatda saqlab qolish uchun unga qiya tekislikka parallel ravishda yuqoriga yo'nalgan va son qiymati $|\bar{F}_1|$ ga teng bo'lgan qo'shimcha \bar{F} kuch qo'yish kerak. U holda yukka uchta kuch: \bar{P} og'irlik kuchi, qiya tekislikning \bar{N} reaksiya kuchi va qo'shimcha qo'yilgan \bar{F} kuchlar ta'sir qiladi.

104- rasmdan ko‘rinadiki, og‘irlik kuchining \vec{F}_1 tashkil etuvchisi quyidagiga teng: $\vec{F}_1 = P \sin \alpha =$

$= P \frac{h}{l}$, bunda α — tekislikning qiyaligi. Demak, qiya tekislikdagi jismning muvozanat sharti

$F = P \cdot \sin \alpha = P \frac{h}{l}$ ko‘rinishda ifodalanadi. Agar bu shart bajarilsa, u holda yukka ta‘sir qilayotgan barcha kuchlarning geometrik yig‘indisi nolga teng bo‘ladi, ya‘ni

$$\vec{F}_1 + \vec{F} + \vec{F}_2 + \vec{N} = 0.$$

Rasmdan bu kuchlarning X o‘qqa proyeksiyalari

$$(\vec{F}_1)_x = -F_1; (\vec{F})_x = F; (\vec{N})_x = 0, (\vec{F}_2)_x = 0$$

va Y o‘qqa proyeksiyalari

$$(\vec{F}_1)_y = 0; (\vec{F})_y = 0; (\vec{N})_y = N; (\vec{F}_2)_y = -F_2$$

ekaniga ishonch hosil qilish qiyin emas. $|\vec{F}_1| = |\vec{F}|$ va $|\vec{F}_2| = |\vec{N}|$ ekanidan, kuchlarning X o‘qqa proyeksiyalarining yig‘indisi

$$-F_1 + F = 0$$

va Y o‘qqa proyeksiyalarining yig‘indisi ham

$$-F_2 + N = 0$$

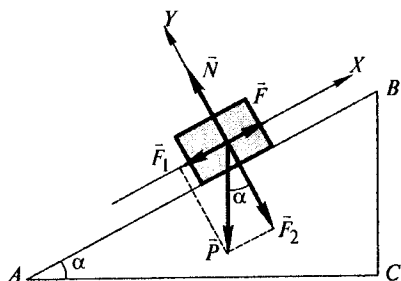
ekani kelib chiqadi.

Demak, jismga ta‘sir etuvchi kuchlar yig‘indisi nolga teng bo‘lsa, jism muvozanatda bo‘lar ekan.

Shunday qilib, aylanish bo‘lmagan holda jism muvozanati shartining matematik ifodasi quyidagicha bo‘ladi:

$$\Sigma \vec{F} = 0; \Sigma F_x = 0; \Sigma F_y = 0; \Sigma F_z = 0 \quad (141)$$

Agar jismga qo‘yilgan barcha kuchlarning teng ta‘sir etuvchisi nolga teng bo‘lsa va jism muvozanatda bo‘lsa, bu jism tinch turibdi degani emas. Jism yo tinch turadi yoki to‘g‘ri chiziqli tekis harakat qiladi.



104- rasm.

67- §. Kuch momenti. Juft kuchlar momenti

Kuch ta'sirida jismlar faqat aylanma harakat qilayotgan bo'lsin. Masalan, uy eshigi, maxovik g'ildiraklari, radiola plastinkasi, rul chamberaklari, charx toshi va shu kabilar kuch ta'sirida aylanma harakat qilishlarini biz kuzatishlardan bilamiz. Kuchning aylantiruvchi ta'siri qanday kattalik bilan ifodalanishini aniqlaylik.

Tajribalardan ma'lumki, uy eshigini uning aylanish o'qiga (oshiq-moshiqqa) yaqin joyidan itarib ochish uchun ancha kuch kerak. Aksincha, aylanish o'qidan ancha nari joydan itarsak, eshik osongina ochiladi. Radiola plastinkasini qo'l bilan aylantirib ko'raylik. Bunda ham qo'l barmog'imizni plastinkaning aylanish o'qiga yaqinroq joyiga bosib, plastinkani aylantirish uchun ancha kuch qo'yish kerakligini ko'ramiz. Agar aylanish o'qidan uzoqroqdan bosib aylantirsak, u oson aylanadi.

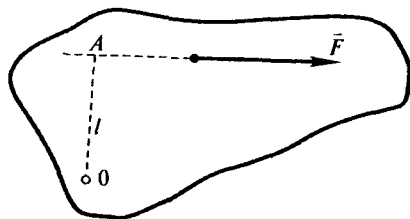
Shunga o'xshash tajribalardan aylanish o'qi bo'lgan jismga kuchning ta'siri faqat kuchning kattaligiga emas, shuningdek kuchning qo'yilish nuqtasidan aylanish o'qigacha bo'lgan masofaga ham bog'liq bo'lishi ko'rinib turibdi.

Aylanish o'qidan kuchning ta'sir chizig'igacha bo'lgan eng qisqa masofa kuch yelkasi deb ataladi.

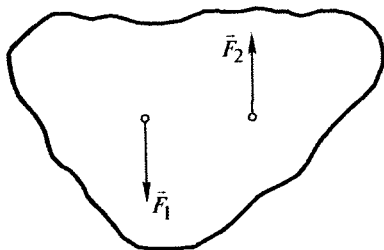
Kuch yelkasining uzunligini aniqlash uchun O aylanish o'qidan kuchning ta'sir chizig'iga OA perpendikulyar tushiriladi (105- rasm). Aylanish o'qidan kuchning ta'sir chizig'i yo'nalishiga tushirilgan perpendikulyarning kesishgan A nuqtasigacha bo'lgan $l = OA$ masofa kuch yelkasini ifodalaydi. Kuch va kuch yelkasi qancha katta bo'lsa, kuchning aylantiruvchi ta'siri shuncha katta bo'ladi, ya'ni kuchning aylantiruvchi ta'siri kuchning kattaligiga va yelkaning uzunligiga to'g'ri proporsionaldir. Kuchning bunday ta'siri *kuch momenti* deb ataladigan kattalik bilan xarakterlanadi.

Kuchning uning yelkasiga ko'paytmasi bilan o'lchanadigan kattalik kuchning aylanish o'qiga nisbatan olingan aylantiruvchi momenti yoki qisqacha kuch momenti deb ataladi.

Kuch momentini M harfi bilan belgilasak, u holda ta'rifga muvofiq



105- rasm.



106- rasm.

$$M = F \cdot l \quad (142)$$

bo'ladi.

Aylanish o'qidan o'tgan to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalgan kuchning momenti nolga teng bo'ladi, chunki kuch yelkasi nolga teng bo'ladi, kuch hech qanday aylantiruvchi ta'sir ko'rsatmaydi. Kuch momenti ham aksial vektor hisoblanadi.

(142) formuladan ko'rinishicha, kuch momentining birligi qilib ta'sir chizig'i aylanish o'qidan bir birlik masofada turgan bir birlik kuchning momentini olish kerak.

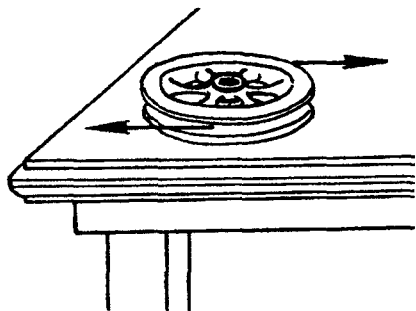
SI da kuch momentining birligi qilib ta'sir chizig'i aylanish o'qidan bir metr masofada turgan bir nyuton kuchning momenti qabul qilingan. Bu birlik nyuton-metr ($N \cdot m$) deb ataladi:

$$[M] = [F][l] = 1N \cdot 1m = 1N \cdot m.$$

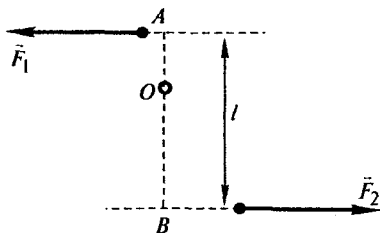
Amalda ko'pincha jismga *juft kuchlar* deb ataladigan kuchlarning ta'siriga duch kelamiz. Masalan, shofyor qo'llari yordamida juft kuchlar hosil qilib rul chambaragini buradi, Yerning magnit maydoni magnit strelkasiga juft kuchlar bilan ta'sir etib, uning bir uchini shimolga, ikkinchi uchini janubga tomon buradi va hokazo.

Juft kuchlar deb bir to'g'ri chiziqda ta'sir qilmayotgan ikkita bir-biriga teng va parallel, qarama-qarshi yo'nalgan kuchlarga aytiladi.

106- rasmda \vec{F}_1 va \vec{F}_2 juft kuchlar tasvirlangan. Juft kuchlarni bir kuch bilan almashtirib bo'lmaydi, ya'ni ularning teng ta'sir etuvchisi bo'lmaydi. Shuning uchun juft kuchlar jismga ilgari lanma harakat bera olmaydi, juft kuchlar jismni aylantiradi.



107- rasm.



108- rasm.

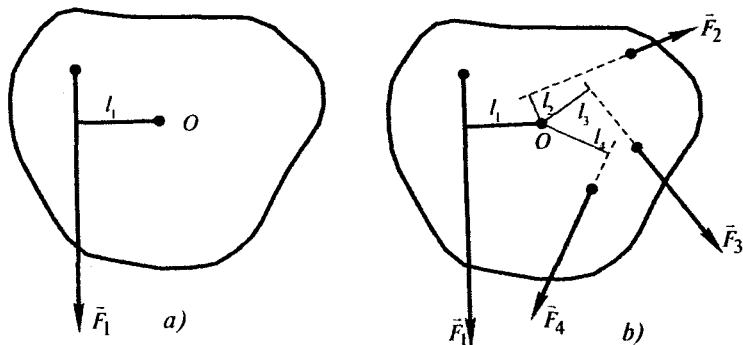
107- rasmda aylanish o'qidan chiqarib olingan g'ildirak juft kuchlar ta'sirida aylanma harakat qilishi ko'rsatilgan.

Juft kuchlarning jismni aylantiruvchi ta'siri ham kuch momenti bilan xarakterlanadi. Juft kuchlarning ta'sir chiziqlari orasidagi eng qisqa masofa *juft kuchning yelkasi* deyiladi (108-rasm). *Kuchlardan birining kuch yelkasiga ko'paytmasi juft kuchlarning momenti deb* ataladi. Juft kuchlar momentining kattaligi aylanish o'qining vaziyatiga bog'liq bo'lmaydi.

68- §. Kuch momentlarini qo'shish. Aylanish o'qiga birlashtirilgan jismning muvozanat shartlari

62- § da biz jismga bir vaqtda ta'sir etuvchi bir necha kuchni bitta teng ta'sir etuvchi kuch bilan almashtirish mumkinligi haqida to'xtab o'tgan edik. Shu kabi bir necha kuch momentlarini ham shunday bitta kuch momenti bilan almashtirish mumkinki, bunda uning ta'sirida jismning aylanma harakati o'zgarmasligini tajribalar ko'rsatadi. Masalan, O nuqtadan o'tuvchi qo'zg'almas aylanish o'qiga ega bo'lgan jismga ta'sir etuvchi \vec{F}_1 kuchni (109- a rasm) \vec{F}_2 , \vec{F}_3 va \vec{F}_4 kuchlar bilan shunday almashtiramizki, natijada jism muvozanat holatiga o'tsin (109- b rasm). Demak, \vec{F}_2 , \vec{F}_3 va \vec{F}_4 kuchlarning jismga aylantirish ta'siri bitta \vec{F}_1 kuchning ta'siriga teng bo'ladi, ya'ni \vec{F}_2 , \vec{F}_3 va \vec{F}_4 kuchlar momentlarining algebraik yig'indisi \vec{F}_1 kuchning momentiga teng bo'ladi:

$$F_1 l_1 = F_2 l_2 + F_3 l_3 + F_4 l_4.$$



109- rasm.

Bu shuni ko'rsatadiki, *jismni bir tomonga aylantiruvchi barcha kuchlarning umumiy momenti shu kuchlar momentlarining algebraik yig'indisiga teng bo'ladi.*

Bir necha kuchlar momentlarini bitta (natijaviy) kuch momenti bilan almashtirish *kuch momentlarini qo'shish* deyiladi.

Momenti $M_1 = F_1 l_1$ ga teng bo'lgan \bar{F}_1 kuch jismni O o'q atrofida soat mili harakatiga qarshi yo'nalishda aylantiradi. Momentlari $M_2 = F_2 l_2$, $M_3 = F_3 l_3$ va $M_4 = F_4 l_4$ ga teng bo'lgan \bar{F}_2 , \bar{F}_3 va \bar{F}_4 kuchlar esa jismni soat mili harakati yo'nalishida aylantiradi.

Binobarin, jism

$$M_1 = M_2 + M_3 + M_4$$

shart bajarilgandagina muvozanatda bo'la oladi.

Qarama-qarshi tomonga aylanish hosil qiladigan kuchlar momentini farq qilish uchun, jismni soat mili harakatiga teskari yo'nalishda aylantiruvchi kuch momentini musbat, jismni soat mili harakati yo'nalishida aylantiruvchi kuch momentini manfiy deb olish shartlashilgan. Jismga ta'sir etuvchi kuch momentlarining ishoralarini e'tiborga olib, aylanish o'qiga ega bo'lgan jismning muvozanatda bo'lish shartini shunday yozish mumkin:

$$\bar{M}_1 + \bar{M}_2 + \bar{M}_3 + \bar{M}_4 = 0. \quad (143)$$

Qo'zg'almas aylanish o'qiga ega bo'lgan jism muvozanatda bo'lishi uchun jismni aylantirayotgan barcha kuchlar momentlarining algebraik yig'indisi nolga teng bo'lishi kerak.

Bu qoida kuchlar momentlari qoidasi deb ataladi va u aylanish o'qi mahkamlangan jismning muvozanat shartini ifodalaydi.

Momentlar qoidasini qisqacha

$$\sum_{i=1}^n (F \cdot l)_i = 0 \quad \text{yoki} \quad \sum_{i=1}^n M_i = 0 \quad (144)$$

ko'rinishda yozish mumkin.

Shuni qayd qilib o'tamizki, jismlarning ilgarilanma harakatida kuch qanday rol o'ynasa, ularning aylanma harakatlarida kuch momenti ham xuddi shunday rol o'ynaydi. Aylanish o'qiga ega bo'lgan jismning muvozanat shartini yana shunday ta'riflash mumkin: *agar jism aylanish o'qiga ega bo'lsa, u holda unga qo'yilgan barcha kuchlarning teng ta'sir etuvchisining ta'sir chizig'i aylanish o'qi orqali o'tganda jism muvozanatda bo'ladi.*

Haqiqatan ham, bu holda teng ta'sir etuvchi kuchning aylanish o'qiga nisbatan momenti nolga teng bo'ladi, chunki uning kuch yelkasi nolga teng.

69- §. Qattiq jism muvozanatining umumiy sharti

Yuqorida aylanish bo'lmagan holda, ya'ni ilgarilanma harakatda jismning muvozanati sharti (66- § ga q.) va aylanish o'qiga birlashtirilgan jismning muvozanati sharti (68- § ga q.) bilan tanishib chiqdik. Lekin ko'p hollarda jism murakkab harakat (ham ilgarilanma, ham aylanma harakat) qiladi. Mazkur holatlarda jism muvozanatining sharti qanday bo'ladi?

Agar jismga qo'yilgan barcha kuchlarning ta'sir chiziqlari bir nuqtada kesishishsa, u holda bunday jism muvozanatda bo'lishi uchun ta'sir etuvchi barcha kuchlarning vektor yig'indisi nolga teng bo'lishi kerak va yetarlidir.

Haqiqatan ham, bunda jismga qo'yilgan barcha kuchlarning ta'sir chiziqlari kesishgan nuqta bu kuchlarning teng ta'sir etuvchisi qo'yilgan nuqta bo'lib, shartga ko'ra, u nolga teng va jismga hech qanday tezlanish bermaydi.

Agar jismga qo'yilgan barcha kuchlarning ta'sir chiziqlari bir nuqtada kesishishmasa, u holda yuqorida keltirilgan muvozanat sharti zarur, lekin yetarli bo'lmaydi, chunki jismga qo'yilgan kuchlarning ta'siri biror juft kuchlarning ta'siridek bo'lib qolishi mumkin. Bu juft kuchlarning geometrik yig'indisi nolga teng bo'lishiga qaramay, ularning momenti jismni uning turli (alohida) qismlari turlicha markazga intilma tezlanishga ega bo'lgan aylanma harakatga keltirishi mumkin.

Shuning asosida qattiq jism muvozanatining quyidagi umumiy shartiga kelamiz: *ta'sir chiziqlari bir tekislikda yotsa ham, lekin bir nuqtada kesishishmaydigan kuchlar qo'yilgan jism muvozanatda bo'lishi uchun, birinchidan, barcha kuchlarning geometrik yig'indisi nolga teng bo'lishi va, ikkinchidan, kuchlarning ta'sir chiziqlari yotgan tekislikning istalgan nuqtasidan o'tuvchi va shu tekislikka perpendikulyar bo'lgan o'qqa nisbatan barcha kuchlar momentlarining algebraik yig'indisi nolga teng bo'lishi zarur va yetarlidir.*

Shunday qilib jism muvozanatda bo'lishi uchun

$$\Sigma \vec{F} = 0 \text{ va } \Sigma M = 0 \quad (145)$$

shartlar bajarilishi lozim. Agar barcha kuchlar bir tekislikda, masalan, XOY tekisligida yotgan bo'lsa, jismga ta'sir etuvchi barcha $F_1, F_2, F_3, \dots, F_i$ kuchlarning proyeksiyalari uchun muvozanat shartini uchta skalyar tenglama ko'rinishida yozish mumkin:

$$\Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0 \text{ va } \Sigma M = 0. \quad (146)$$

(145) va (146) tenglamalar kuchlar ta'sirida bo'lgan qattiq jism muvozanatining umumiy shartining analitik ifodasidir.

70- §. Jismlarning massa markazi

Jismlarni faqat ilgariylanma harakatga keltiruvchi kuchlarning ta'sir chiziqlari kesishgan nuqta shu jismning *massa markazi* deb ataladi.

Tajribalarning ko'rsatishicha, har bir jismda shunday nuqta mavjud bo'lib, bu nuqtadan o'tmaydigan har qanday kuch jismni aylanma harakatga keltiradi.

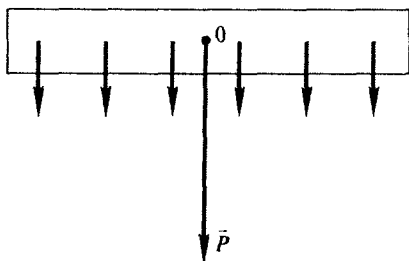
Barcha jismlarning massa markazlari ularning *og'irlik markazlari* bilan ustma-ust tushadi.

Jismlarning og'irlik markazini quyidagicha usul bilan aniqlash mumkin. Ma'lumki, har qanday jism juda ko'p mayda qismlardan iborat. Shunday qismlarning har biriga Yerning markaziga tomon yo'nalgan og'irlik kuchi ta'sir qiladi. Yerning o'lchami katta bo'lgani uchun bu kuchlarni bir-biriga parallel deb hisoblash mumkin. Binobarin, har qanday jismga juda ko'p parallel kuchlar ta'sir qiladi. Bu kuchlarning teng ta'sir etuvchisi jismning butun og'irlikini ifodalaydi. Parallel kuchlarni qo'shish qoidasidan foydalanib, kuchlarning teng ta'sir etuvchisini topish mumkin (63- § ga q.).

Jismning har bir ayrim qismiga ta'sir etuvchi og'irlik kuchlarining teng ta'sir etuvchisi qo'yilgan nuqta og'irlik markazi bo'ladi. Binobarin, *og'irlik kuchi qo'yilgan nuqta jismning og'irlik markazi* deyiladi.

110- rasmda bir jinsli (ya'ni butun uzunligi bo'yicha ko'ndalang kesimi bir xil bo'lgan va bir xil moddadan yasalgan) metall tayoqchanning ayrim qismlariga ta'sir etuvchi parallel kuchlar va ularning teng ta'sir etuvchisi bo'lgan \bar{P} og'irlik kuchi qo'yilgan O nuqta (og'irlik markazi) ko'rsatilgan.

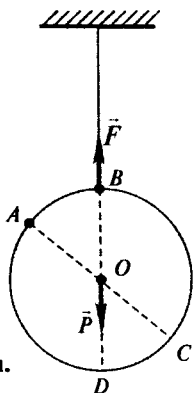
Simmetriya markaziga ega bo'lgan bir jinsli jismlarning og'irlik markazi ularning geometrik (simmetriya) markazi bilan ustma-ust tushadi. Masalan, bir jinsli uchburchak shaklidagi plastinkaning og'irlik markazi uchburchak medianalari kesishgan nuqtada, bir jinsli parallelogramm shaklidagi plastinkaning og'irlik markazi uning diagonallari kesishgan nuqtada bo'ladi va



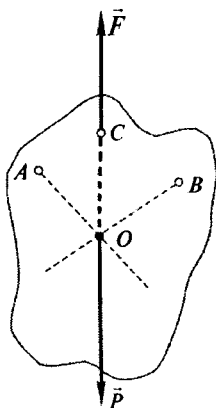
110- rasm.

hokazo. Og'irlik markazi jismdan tashqarida ham mavjud bo'lishi mumkin. Masalan, halqaning og'irlik markazi uning geometrik markazi bilan mos keladi.

Agar jism bir jinsli bo'lmasa (yoki simmetriya markaziga ega bo'lmasa) va yassi bo'lsa, uning og'irlik marka-



111- rasm.



112- rasm.

zini tajriba yo'li bilan aniqlash mumkin. Buning uchun jismning ikki nuqtasidan navbatma-navbat osiladi va bu nuqtalardan vertikallar o'tkaziladi (111- rasm). Vertikallarning kesishish nuqtasi yassi jismning og'irlik markazi bo'ladi.

Osish usulidan foydalanib, istalgan shakldagi yassi jismning og'irlik markazini amaliy ravishda topish mumkin. 112- rasmda ixtiyoriy shakldagi faner bo'lagining og'irlik markazi A , B va C osish nuqtalaridan o'tkazilgan vertikal chiziqlar kesishgan O nuqtada yotishi tasvirlangan.

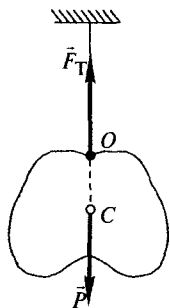
Jismlarning massa markazlari og'irlik markazlari bilan ustma-ust tushgani tufayli, jismga ta'sir etuvchi og'irlik kuchi massa markaziga qo'yilgan deyish mumkin.

Massa markazining harakati massasi jismning massasiga teng bo'lgan moddiy nuqtaning harakati kabi bo'ladi.

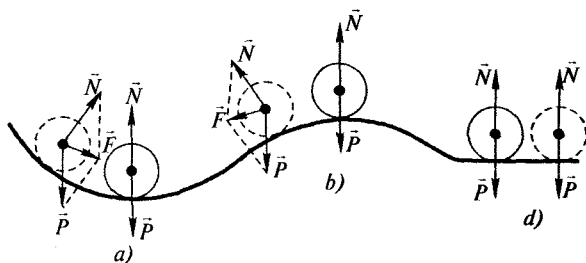
71- §. Qattiq jismning muvozanat turlari

Qattiq jismlarning muvozanatini uch turga ajratiladi: turg'un muvozanat, turg'unmas muvozanat va farqsiz (befarq) muvozanat.

Jismni muvozanat vaziyatidan biroz og'dirib, keyin o'z holiga qo'yilganda u yana avvalgi holatiga qaytsa, jism *turg'un muvozanatda* bo'ladi, dastlabki holatiga qaytmasdan, aksincha, bu holatdan yanada og'ib borsa, *turg'unmas muvozanatda* bo'ladi; va, nihoyat, jism shu og'dirilgan holatda qolsa, *farqsiz muvozanatda* bo'ladi.



113- rasm.



114- rasm.

Bir nuqtaga biriktirilgan (tayanch nuqtasiga yoki aylanish o'qiga ega bo'lgan) jismning qanday sharoitda muvozanatda bo'lishini ko'raylik. Bu maqsadda, faraz qilaylik, jism ip vositasida osib qo'yilgan bo'lsin (113- rasm) va u muvozanat holatda bo'lsin. Rasmdan ko'rinadiki, jism muvozanatda bo'lishi uchun og'irlik markazi (massa markazi) C nuqta bilan jism biriktirilgan O nuqta (tayanch nuqta) bir vertikal chiziq ustida yotishi kerak ekan, chunki shundagina ipda yuzaga kelgan \vec{F}_T taranglik (elastiklik) kuchi bilan \vec{P} og'irlik kuchining ta'sir chiziqlari ustma-ust tushib, kuchlarning geometrik yig'indisi (teng ta'sir etuvchisi) nolga teng bo'ladi.

Jismni muvozanat vaziyatidan chetlashtirilganda unga ta'sir etayotgan kuchlar o'zgaradi va kuchlarning muvozanati buziladi. Kuchlarning o'zgarishi jismni harakatga keltiradi. Agar kuchlarning o'zgarishi shunday bo'lsaki, ularning ta'sirida jism muvozanat vaziyatiga qaytsa, u holda jismning muvozanati turg'un muvozanat bo'ladi. Agar kuchlarning o'zgarishi jismni muvozanat vaziyatidan yanada uzoqlashtirsa, u holda turg'unmas muvozanat bo'ladi.

Shunday qilib, turg'unlik uchun jismni muvozanat vaziyatidan chetlashtirilganda uni dastlabki vaziyatiga qaytaruvchi kuchlar yuzaga kelishi kerak.

Masalan, botiq taglikda turgan sharning holatini kuzataylik (114- rasm). Sharni muvozanat vaziyati (eng quyi vaziyat)dan chetlashtirilsa, taglikning reaksiya kuchi N bilan sharning

og'irlik kuchi \bar{P} ning teng ta'sir etuvchisi \bar{F} kuch sharni muvozanat vaziyatiga qaytaradi (114- *a* rasm). Sharning muvozanati turg'un muvozanat bo'ladi. Shar qavariq taglikda turganda esa teng ta'sir etuvchi kuch sharni muvozanat vaziyati (eng yuqori vaziyat) dan uzoqlashtiradi (114- *b* rasm). Sharning muvozanati turg'unmas muvozanat bo'ladi.

Tajribalar quyidagi xulosaga olib keladi:

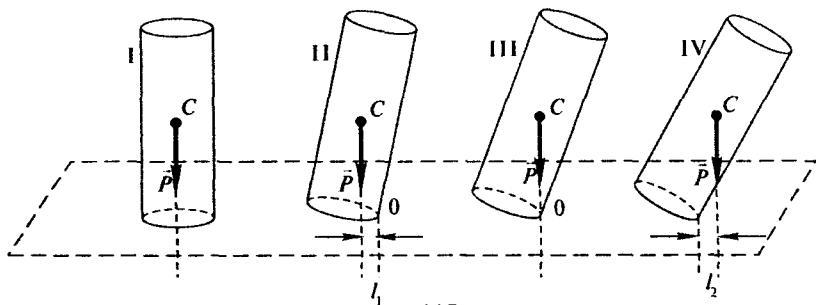
a) *agar tayanch nuqtasiga ega jismning muvozanat vaziyatida og'irlik markazi qolgan barcha mumkin bo'lgan yaqin qo'shni vaziyatlardagi og'irlik markazlariga nisbatan eng quyi vaziyatni olsa, bunday muvozanat turg'un muvozanat bo'ladi* (114- *a* rasmga q.);

b) *agar og'irlik markazi mumkin bo'lgan yaqin qo'shni vaziyatlardagi og'irlik markazlariga nisbatan eng yuqori vaziyatni olsa, bunday muvozanat turg'unmas muvozanat bo'ladi* (114- *b* rasmga q.);

d) *agar og'irlik markazi mumkin bo'lgan yaqin qo'shni vaziyatlardagi og'irlik markazlari bilan birga bir gorizontaal chiziq ustida yotsa, bunday muvozanat farqsiz muvozanat bo'ladi* (114- *d* rasmga q.).

Jismning og'irlik markazi qancha yuqori bo'lsa, uning potensial energiyasi shuncha ko'p bo'ladi. Shuning uchun: *a* — jismning potensial energiyasining qiymati uning boshqa barcha mumkin bo'lgan yaqin qo'shni vaziyatlardagi potensial energiyalari qiymatidan eng kam bo'lganda, jism turg'un muvozanatda; *b* — potensial energiyasi qiymati eng ko'p bo'lganda jism turg'unmas muvozanatda va *d* — potensial energiyasi qiymati bir muvozanat vaziyatdan unga qo'shni vaziyatlarga o'tganda o'zgarmasa, jism farqsiz muvozanatda bo'ladi, degan xulosaga kelamiz.

Endi tayanch yuzasiga ega jismning muvozanati shartlarini ko'raylik. Biror silindrsimon jism olib, stolning ustiga tik qo'yamiz (115- rasm, I vaziyat). Bu vaziyat uning turg'un muvozanati bo'ladi va jism bu muvozanatni saqlaydi, chunki stolning reaksiya kuchi silindrning og'irlik kuchi bilan to'la kompensatsiyalanadi. Silindrning stol sirtiga tegib turgan kesim yuzasi uning tayanch yuzasi bo'ladi. Rasmdan ko'rinadiki, *C* og'irlik markazidan o'tgan



115- rasm.

vertikal chiziq (og'irlik kuchining ta'sir chizig'i) silindrning tayanch yuzidan o'tadi. II vaziyatda silindr biroz og'dirilgan, bunda ham C og'irlik markazidan o'tkazilgan vertikal chiziq silindrning asos yuzidan o'tadi. \vec{P} og'irlik kuchining O tayanch nuqtasiga nisbatan olingan $\vec{P}l_1$ kuch momenti silindrni dastlabki muvozanat holatiga qaytaradi. III vaziyatda C nuqta orqali o'tkazilgan vertikal chiziq O tayanch nuqtasidan o'tadi. Silindrni bu vaziyatdan yana biroz og'dirilsa, u ag'darilib gorizontaal vaziyatni egallaydi. Demak, silindrning III vaziyati turg'unmas vaziyat bo'ladi. IV vaziyatda C nuqtadan o'tkazilgan vertikal chiziq tayanch yuzasidan tashqarida bo'ladi, yuzaga kelgan $\vec{P}l_2$ kuch momenti silindrni ag'darib yuboradi.

Tajriba natijalaridan, *jismning og'irlik markazi qancha yuqori va tayanch yuzi qancha kichik bo'lsa, u shuncha turg'unmas va, aksincha, og'irlik markazi qancha past va tayanch yuzi qancha katta bo'lsa, u turg'un vaziyatda bo'ladi*, degan xulosaga kelamiz. Shuning uchun jismning turg'unligini oshirish maqsadida yo uning tayanch yuzini kengaytiriladi yoki og'ir taglik vositasida og'irlik markazi pasaytiriladi, yoki bo'lmasa, ikkala usul birgalikda qo'llaniladi.



Takrorlash uchun savollar

1. Statikada kuchlarning uch tavsifi deganda nimani tushunasiz?
2. Teng ta'sir etuvchi kuch nima? Muvozanatlovchi kuch-chi?
3. Bir tomonga yo'nalgan ikki parallel kuchning teng ta'sir etuvchisi qanday aniqlanadi?

4. Qarama-qarshi tomonga yo'nalgan ikki parallel kuchning teng ta'sir etuvchisi qanday aniqlanadi?
5. Kuchlarni burchak ostida yo'naltirilgan ikki tarkibiy qismga ajrating.
6. Kuchni ikki parallel tarkibiy qismlarga ajrating.
7. Qanday jism absolyut qattiq jism deyiladi?
8. Jismning og'irlik markazi deb nimaga aytiladi va uni tajriba yo'li bilan qanday aniqlash mumkin?
9. Jismning massa markazi deb nimaga aytiladi?
10. Qanday vaziyatda jism muvozanatda bo'ladi?
11. Muvozanatlovchi kuch deb qanday kuchga aytiladi? Misollar keltiring.
12. Aylanish bo'lmaganda jismning muvozanat shartlari qanday bo'ladi?
13. Kuchning jismni aylantiruvchi ta'siri nimalarga bog'liq? Misollar keltiring.
14. Kuch momenti nima va u qanday birliklarda ifodalanadi?
15. Qanday kuchlar juft kuchlar deyiladi?
16. Juft kuchning momenti nimaga teng?
17. Kuch momentlarini qo'shish deganda siz nimani tushunasiz?
18. Aylanish o'qiga biriktirilgan jismning muvozanat sharti qanday?
19. Qattiq jism muvozanatining umumiy shartini tushuntiring.
20. Qattiq jism muvozanat turlarining har birini: a) og'irlik markazlarining vaziyatiga qarab; b) potentsial energiyasining qiymatiga asoslanib ta'riflang.



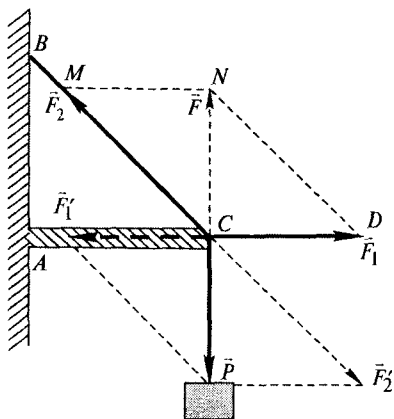
Masala yechish namunalari

1- masala. Bir uchi bilan devorga sharnirli mahkamlangan, uzunligi 2 m bo'lgan AC po'lat simga 120 kg massali yuk osilgan va uzunligi 2,5 m bo'lgan po'lat sim bilan tutib turiladi (116- rasm). Po'lat simga va po'lat tayoqchaga ta'sir etuvchi kuchlarni toping.

Berilgan: $AC = 2$ m, $BC = 2,5$ m, $m = 120$ kg.

Topish kerak: $F'_1 - ?$ $F'_2 - ?$

Yechilishi. C nuqtaga m massali yukning P og'irligi ta'sir qiladi. Natijada AC metall tayoqcha qisiladi va C nuqtaga \vec{F}_1 kuch bilan ta'sir qiladi. BC po'lat sim esa cho'ziladi, shuning uchun C nuqtaga \vec{F}_2 kuch bilan ta'sir qiladi. \vec{F}_1 va \vec{F}_2 kuchlarning \vec{F} teng ta'sir etuvchisi \vec{P} og'irlik kuchiga teng va qarama-qarshi yo'nalgan, ya'ni \vec{P} kuchni muvozanatlovchi kuch bo'ladi. \vec{F}_1 va \vec{F}_2 kuchlarni yasash uchun \vec{P} kuchni AC va BC yo'nalishlar bo'yicha tashkil etuvchilarga ajratamiz (116-rasmga q.).



116- rasm.

ABC va CDN uchburchaklarning o'xshashligidan

$$\frac{F}{F_1} = \frac{AB}{AC}, \text{ bundan } F_1 = F \frac{AC}{BA}$$

bo'ladi. Shuningdek, $F = P$,

$P = mg$ va $AB = \sqrt{(BC)^2 - (AC)^2}$ ekanidan

$$F_1 = mg \frac{AC}{\sqrt{(BC)^2 - (AC)^2}}$$

ifodani hosil qilamiz.

To'g'ri burchakli CMN uchburchakdan

$$CM = \sqrt{(MN)^2 + (CN)^2} \text{ yoki } F_2 = \sqrt{F_1^2 + P^2} = \sqrt{F_1^2 + (mg)^2}$$

ekanini topamiz, bu yerda $MN = CD = F_1$, $CN = F = P$.

Izlanayotgan \vec{F}_1' va \vec{F}_2' kuchlar kattalik jihatidan \vec{F}_1 va \vec{F}_2 kuchlarga teng, yo'nalish jihatidan ularga qarama-qarshi bo'lib, mos ravishda metall tayoqcha va po'lat simga qo'yilgan.

$$\text{Hisoblash: } F_1' = 120 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \frac{2 \text{ m}}{\sqrt{(6,25-4) \text{ m}^2}} = 1,6 \cdot 10^3 \text{ N.}$$

$$F_2' = \sqrt{(1,6 \cdot 10^3 \text{ N})^2 + (120 \cdot 9,8 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2})^2} = 2 \cdot 10^3 \text{ N.}$$

2- masala. Massasi 100 kg bo'lgan yuk gorizont tekislikda gorizontga nisbatan 30° burchak ostida qo'yilgan kuch ta'sirida tekis siljimoqda. Agar ishqalanish koeffitsienti 0,3 ga teng bo'lsa, yukka qo'yilgan kuchning kattaligini toping.

Berilgan: $m = 100 \text{ kg}$, $\alpha = 30^\circ$, $k = 0,3$.

Topish kerak: F — ?

Yechilishi. Jismga $\vec{P} = m\vec{g}$ og'irlik kuchi, gorizontga nisbatan α burchak ostida qo'yilgan \vec{F} kuch, gorizont tekislikning \vec{N} reaksiya kuchi va \vec{F}_i ishqalanish kuchi ta'sir qiladi (117-rasm). Yuk tekis harakatlanayotgani uchun, ya'ni u muvozanat holatida bo'lgani uchun bu kuchlarning teng ta'sir etuvchisi nolga teng bo'lishi kerak. Shuningdek,

bu kuchlarning ixtiyoriy tanlab olingan koordinata o'qiga, jumladan, OY va OX o'qlarga bo'lgan proyeksiyalari ham nolga teng bo'lishi kerak. Shuning uchun

$$F_x - F_i = 0, \quad (a)$$

$$F_y + N - P = 0 \quad (b)$$

deb yoza olamiz. $F_x = F \cos \alpha$,

$F_y = F \sin \alpha$, $F_i = kN$ bo'lganligidan

hamda (b) tenglamadan $N = P - F_y$ ekanidan (a) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$F \cos \alpha - k(mg - F \sin \alpha) = 0.$$

Bundan

$$F = \frac{k mg}{\cos \alpha + k \sin \alpha}$$

bo'ladi.

$$\text{Hisoblash: } F = \frac{0,3 \cdot 100 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,866 + 0,3 \cdot 0,5} \approx 294 \text{ N}.$$

3- masala. Massasi 10 kg, uzunligi 40 sm bo'lgan metall tayoqchanning uchlariga massalari 40 kg va 10 kg bo'lgan yuklar osilgan. Metall tayoqcha muvozanatda turishi uchun uning qayeridan tayanchga qo'yish lozim?

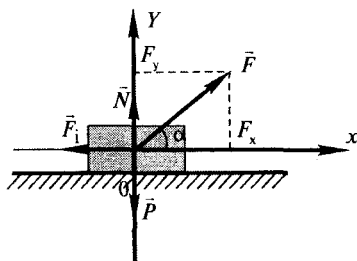
Berilgan: $m = 10 \text{ kg}$; $l = 40 \text{ sm} = 0,4 \text{ m}$; $m_1 = 40 \text{ kg}$; $m_2 = 10 \text{ kg}$.

Topish kerak: x — ?

Yechilishi. Metall tayoqcha muvozanatda turishi uchun, katta yuk qo'yilgan uchiga yaqinroq joyidan tayanchga qo'yilishi kerak. Metall tayoqchanning bu uchidan tayanchga qo'yilgan nuqtasigacha bo'lgan uzunligini x bilan belgilaylik (118- rasm). Metall tayoqchanning aylanish o'qi tayanch qo'yilgan O nuqtadan o'tadi, deb hisoblash mumkin. Shuning

uchun x masofa \vec{F}_1 kuchning, $\left(\frac{l}{2} - x\right)$ masofa \vec{P} kuchning va $l - x$

masofa esa \vec{F}_2 kuchning yelkasi bo'ladi. Metall tayoqcha muvozanatda bo'lishi uchun bu kuchlarning O aylanish o'qiga nisbatan olingan kuch momentlarining yig'indisi nolga teng bo'lishi zarur. Kuch momentlarining ishoralarini nazarga olib, metall tayoqchanning muvozanatda bo'lish shartini quyidagicha yozamiz:



117- rasm.

$$F_1 x - P\left(\frac{l}{2} - x\right) - F_2(l - x) = 0.$$

Tenglamani x ga nisbatan yechsak,

$$x = \frac{l\left(\frac{P}{2} + F_2\right)}{F_1 + P + F_2} \quad \text{yoki} \quad x = \frac{l\left(\frac{m}{2} + m_2\right)}{m_1 + m + m_2}$$

ifodaga ega bo'lamiz.

$$\text{Hisoblash: } x = \frac{0,4 \text{ m} (5 \text{ kg} + 10 \text{ kg})}{40 \text{ kg} + 10 \text{ kg} + 10 \text{ kg}} = 0,1 \text{ m}.$$

4- masala. Silindrik metall tayoqchanning yarmi po'latdan, yarmi aluminiydan iborat. Agar butun metall tayoqchanning uzunligi 30 sm bo'lsa, uning og'irlik markazining vaziyatini aniqlang.

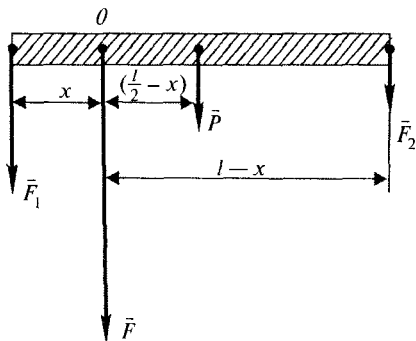
$$\text{Berilgan: } l = 30 \text{ sm} = 0,3 \text{ m}, \quad \rho_1 = 7,8 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad \rho_2 = 2,7 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Topish kerak: b — ?

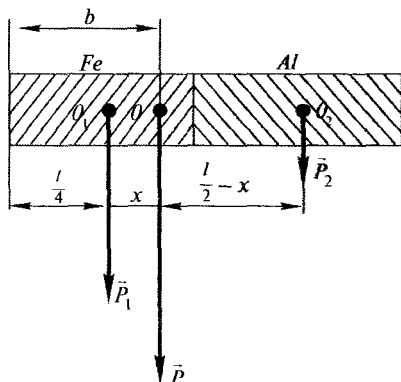
Yechilishi. Masalaning shartiga binoan metall tayoqchanning shaklini chizib, uning po'latdan yasalgan qismining og'irligini P_1 bilan, aluminiydan yasalgan qismining og'irligini P_2 bilan belgilab olamiz (119- rasm). Ravshanki $P_1 > P_2$. Bu kuchlar parallel bo'lgani uchun butun sterjenning og'irligi shu ikkala kuchning teng ta'sir etuvchisiga, ya'ni ularning yig'indisiga teng va ular bilan bir tomonga yo'nalgan bo'ladi.

Demak, $\vec{P} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2$ yoki $P = P_1 + P_2$.

Metall tayoqchanning og'irlik markazining vaziyatini, masalan, po'lat sterjenning uchidan O og'irlik markazigacha bo'lgan b masofani aniqlaylik.



118- rasm.



119- rasm.

Bunda og'irlik markazi po'lat sterjenning uchiga yaqinroq bo'lgan nuqtada ekanini qayd qilib o'tamiz.

\bar{P} kuch qo'yilgan O nuqta \bar{P}_1 va \bar{P}_2 kuchlar qo'yilgan O_1 va O_2 nuqtalar orasidagi masofani shu kuchlarga teskari proporsional qismlarga bo'lishini biz bilamiz (63- § ga q.). Metall tayoqcha silindrik shaklda va ikkala qismi teng va bir jinsli bo'lgani uchun \bar{P}_1 va \bar{P}_2 kuchlar qo'yilgan nuqtalar orasidagi O_1O_2 masofa $l/2$ ga teng bo'ladi, l — metall tayoqchani uzunligi (119- rasmga q.). OO_1 masofani x bilan

belgilaymiz, u holda $OO_2 = \frac{l}{2} - x$ bo'ladi.

Shunday qilib,

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\frac{l}{2} - x}{x}$$

deb yoza olamiz. Moddani og'irligi uning zichligiga to'g'ri proporsional- ligidan foydalanib, yuqoridagi ifodani po'latning ρ_1 va aluminiyning ρ_2 zichliklari orqali quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{l - 2x}{2x}.$$

Bu ifodadan x ni topsak,

$$x = \frac{\rho_2 l}{2(\rho_1 + \rho_2)}$$

bo'ladi. Izlanayotgan b masofa

$$b = \frac{l}{4} + x = \frac{l}{4} + \frac{\rho_2 l}{2(\rho_1 + \rho_2)} = \frac{l}{2} \left[\frac{1}{2} + \frac{\rho_2}{\rho_1 + \rho_2} \right]$$

bo'ladi.

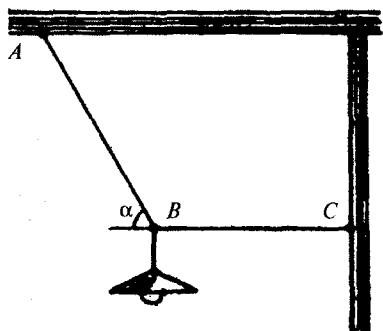
Hisoblash:

$$b = \frac{0,3 \text{ m}}{2} \left[\frac{1}{2} + \frac{2,7 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{(7,8 + 2,7) \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \right] = 0,11 \text{ m}.$$

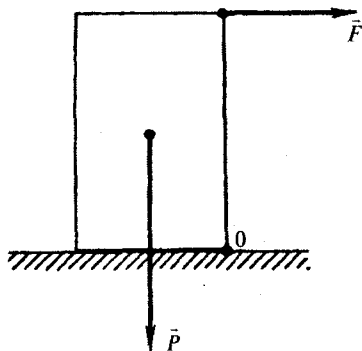


Mustaqil yechish uchun masalalar

75. Po'lat sim bilan bog'lab qo'yilgan qayiqqa suvning 400 N oqim kuchi va shamolning oqim yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan 300 N bosim kuchi ta'sir qilmoqda. Qayiqni ushlab turgan po'lat sim qanday kuch bilan taranglangan?



120- rasm.



121- rasm.

76. Har biri 200 N dan bo'lgan uchta kuchning natijalovchisini toping. Birinchi bilan ikkinchi va ikkinchi bilan uchinchi kuchlar orasidagi burchaklar 60° ga teng.

77. Og'irligi 100 N bo'lgan yuk gorizontga nisbatan 30° burchak ostidagi qiya tekislikda turibdi. Yukni muvozanatda saqlash uchun unga tekislikka parallel holda qanday kuch bilan ta'sir qilish mumkin? Tekislikning reaksiya kuchi qanchaga teng?

78. Elektr lampa tizimchaga osilgan va gorizont tal tortqich bilan tortib qo'yilgan (120- rasm). Agar lampaning massasi $m = 1$ kg, burchak $\alpha = 60^\circ$ bo'lsa, AB tizimchani va BC tortqichning taranglik kuchini toping.

79. O'rtasida tayanchi bo'lgan 6 m li taxtaning uchlarida og'irliklari 400 N va 300 N bo'lgan ikkita bola o'tiribdi. Taxta muvozanatda qolishi uchun og'irligi 200 N bo'lgan bola taxtaning qaysi joyiga o'tirishi kerak?

80. Massasi 10 kg bo'lgan taxtachani O qirra orqali ag'darib tashlash kerak (121- rasm). Agar taxtachaning kengligi 50 sm, balandligi esa 75 sm bo'lsa, ag'darib tashlash uchun kerak bo'ladigan kuchni toping.

81. Ikki o'quvchi og'irligi 600 N va uzunligi 6 m bo'lgan bir jinsli taxtani ko'tarib ketmoqda, bunda taxtaning uchi birinchi o'quvchining yelkasidan 1 m, ikkinchisining yelkasidan 2 m chiqib turibdi. Har bir o'quvchining yelkasiga taxta qanday kuch bilan bosmoqda?

82. Bir jinsli valning uchidan 40 sm qirqib tashlandi. Bunda og'irlik markazi qayerga va qanchaga ko'chadi?

72- §. Moddiy nuqtaning inersiya momenti. Impuls momenti. Aylanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasi

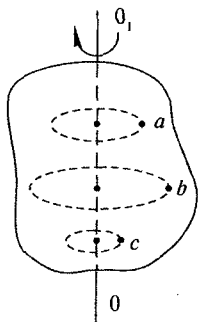
Qattiq jismlar uchun xos bo'lgan harakat ilgarilanma va aylanma harakatlardir. Qattiq jismning har qanday murakkab harakatini ana shu ikki harakatga keltirish mumkin. Ilgarilanma harakatda jismning hamma nuqtalari bir xil \vec{v} tezlik va bir xil \vec{a} tezlanish bilan harakatlanadi. Shuning uchun qattiq jismning ilgarilanma harakatini o'rganish o'rniga massasi shu jism massasiga teng bo'lgan bitta moddiy nuqtaning jismga ta'sir etayotgan kuchlarning teng ta'sir etuvchisi ta'siridagi harakatini o'rganish kifoya qiladi. Odatda, bunday hollarda moddiy nuqta sifatida jismning og'irlik markazi (yoki massa markazi)dan foydalaniladi. Qattiq jismning ilgarilanma harakati uchun dinamikaning asosiy tenglamasi Nyutonning ikkinchi qonunidir, ya'ni

$$\vec{F} = m\vec{a},$$

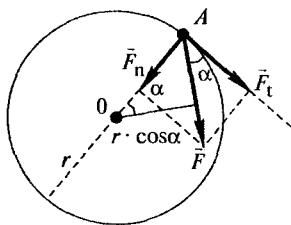
bu yerda \vec{F} — jismga ta'sir etayotgan kuchlarning teng ta'sir etuvchisi, m — jismning massasi, \vec{a} — jism massa markazining tezlanishi.

Aylanma harakatda boshqacha holatni kuzatamiz. Aylanma harakatda jismning barcha nuqtalari markazi aylanish o'qi ustida yotgan aylanalar chizadi. 122- rasmda ixtiyoriy tanlangan a , b , c nuqtalarning harakat trayektoriyasi tasvirlangan. Aylanalarning markazlari aylanish o'qi OO_1 ustida yotibdi. Nuqtalarning chiziqli tezliklari va chiziqli tezlanishlari turlicha, lekin burchak tezliklari va burchak tezlanishlari bir xil bo'ladi.

Qattiq jismning aylanma harakati dinamikasi qonunlarini aniqlash uchun kuch va kuch momenti tushunchalari bilan bir qatorda inersiya momenti tushunchasini ham kiritish lozim. Bu kattalikning mazmunini tushunish uchun biror bog'lanish yordamida (masalan, ip bilan) ushlab turiladigan m massali A moddiy nuqtaning r radiusli aylana bo'ylab harakatini ko'rib chiqamiz (123- rasm). Faraz qilaylik, A moddiy nuqtaga \vec{F} o'zgarmas kuch ta'sir etayotgan bo'lsin. \vec{F} kuchni \vec{F}_t tangensial (aylanaga urinma) va \vec{F}_n normal (aylana markaziga yo'nalgan)



122- rasm.



123- rasm.

tashkil etuvchilarga ajratamiz. \vec{F} o'zgarmas bo'lgani sababli uning tashkil etuvchilari ham o'zgarmas bo'ladi. Binobarin, A nuqta \vec{F}_t kuch ta'sirida \vec{a}_t tangensial tezlanish oladi:

$$F_t = F \cos \alpha = m a_t. \quad (147)$$

\vec{F} kuchning \vec{F}_n normal tashkil etuvchisi bog'lanish (ip)-ning reaksiya kuchi bilan birgalikda \vec{a}_n normal tezlanishni vujudga keltiradi.

Burchak tezlanishining

$$\beta = \frac{a_t}{r}$$

ifodasidan foydalanib, (147) tenglikni quyidagicha yozamiz:

$$F \cos \alpha = m r \beta.$$

Bu ifodaning o'ng va chap qismlarini r ga ko'paytirsak, u holda

$$F r \cdot \cos \alpha = m r^2 \beta \quad (148)$$

bo'ladi. $r \cos \alpha$ ko'paytma O aylanish markazidan \vec{F} kuch yo'nalishiga tushirilgan perpendikulyarning uzunligiga teng. Bu kattalik \vec{F} kuchning O nuqtaga nisbatan olingan kuch yelkasini ifodalaydi.

$$r \cdot \cos \alpha = l$$

deb belgilaymiz. U holda

$$F r \cos \alpha = F l = M_0 \quad (149)$$

kattalik kuch momentini ifodalaydi (67- § ga q.). Ushbu

$$I_0 = mr^2 \quad (150)$$

kattalik moddiy nuqtaning aylanish o'qiga nisbatan *inersiya momentini* ifodalaydi.

Moddiy nuqtaning m massasi bilan shu nuqta va aylanish markazi orasidagi masofa kvadratining ko'paytmasiga son jihatdan teng bo'lgan kattalik moddiy nuqtaning aylanish o'qiga nisbatan inersiya momenti deb ataladi.

M_0 kuch momenti va I_0 inersiya momenti orqali (148) ifoda quyidagi ko'rinishni oladi:

$$M_0 = I_0\beta. \quad (151)$$

(147) va (151) formulalarni taqqoslab, ilgari tanilgan harakatda a chiziqli tezlanish F kuch va m massa bilan qanday bog'langan bo'lsa, aylanma harakatda β burchak tezlanish M_0 kuch momenti va I_0 inersiya momenti bilan shunday bog'langanligini ko'ramiz.

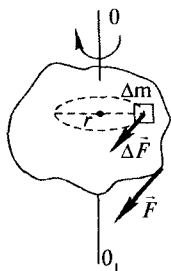
Endi biror qattiq jismning qo'zg'almas OO_1 o'q atrofida \vec{F} kuch ta'siridagi aylanma harakatini ko'raylik (124- rasm). Bu maqsadda butun jismni fikran juda kichik zarralarga — Δm elementar massalarga ajratamiz. Jismga ta'sir etuvchi \vec{F} kuch jismning biror A nuqtasiga qo'yilgan bo'lsa ham, uning aylantiruvchi ta'siri barcha elementar massalarga beriladi. Boshqacha qilib aytganda, har bir Δm elementar massaga $\Delta\vec{F}$ elementar aylantiruvchi kuch qo'yilgan bo'ladi (124- rasimga q.). Nyutonning ikkinchi qonuniga ko'ra

$$\Delta\vec{F} = \Delta m a,$$

bu yerda a — elementar massaning chiziqli tezlanishi. Bu ifodaning ikkala qismini elementar massa chizayotgan aylananing r radiusiga ko'paytirib va a chiziqli tezlanish o'rniga $a = \beta r$ dan β burchak tezlanishni kiritib,

$$\Delta Fr = \Delta mr^2\beta \quad (152)$$

munosabatni hosil qilamiz. $\Delta Fr = \Delta M$ — elementar zarraga qo'yilgan kuch momenti, $\Delta mr^2 = \Delta I$ — elementar zarraning inersiya momenti ekanligini inobatga olsak,



124- rasm.

$$\Delta M = \Delta I \beta \quad (153)$$

bo'ladi. Jismni tashkil qilgan barcha elementar zarralarga qo'yilgan ΔM aylantiruvchi momentlarni jamlasak, (153) ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\Sigma \Delta M = \beta \Sigma \Delta I, \quad (154)$$

bu yerda $\Sigma \Delta M = M$ — jismga qo'yilgan kuchning momenti, $\Sigma \Delta I = I$ — jismning inersiya momenti.

Jismni tashkil qilgan barcha moddiy nuqtalarning inersiya momentlari yig'indisi jismning inersiya momenti deyiladi.

Shu tushunchalardan foydalanib, (154) ni quyidagicha yoza olamiz:

$$M = I \beta. \quad (155)$$

(155) formula aylanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasi (aylanma harakat uchun Nyutonning ikkinchi qonuni)ni ifodalaydi. Shunday qilib, *jismga qo'yilgan aylantiruvchi kuch momenti jismning inersiya momentining burchak tezlanishiga ko'paytmasiga teng.*

Agar $M = \text{const}$ va $I = \text{const}$ bo'lsa, $\beta = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t} = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$ ifodadan foydalanib (26- § ga q.), (155) formulani quyidagicha o'zgartirib yozish mumkin:

$$M = I \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t} \quad \text{yoki} \quad M \Delta t = I \omega - I \omega_0, \quad (156)$$

bu yerda Δt — jismning aylanish burchak tezligi ω_0 dan ω gacha o'zgarishi uchun ketgan vaqt oralig'i. $M \Delta t$ ko'paytma ($F \cdot \Delta t$ kuch impulsi kabi) *kuch momentining impulsi deb, $I \omega$ ko'paytma ($m v$ jism impulsi kabi) jism impulsining momenti deb ataladi.* (156) formula *impuls momentining o'zgarish qonunini* ifodalaydi: *biror vaqt oralig'ida jism impulsi momentining o'zgarishi xuddi shu vaqt oralig'ida kuch momenti impulsiga teng bo'ladi.*

73- §. Ba'zi jismlarning inersiya momenti

Bir jinsli bo'lmagan va noto'g'ri shakldagi jismlarning inersiya momentlari eksperimental yo'l bilan, geometrik to'g'ri shakldagi bir jinsli jismlarning inersiya momenti esa hisoblash yo'li bilan topiladi.

Ba'zi jismlarning shunday usullarni qo'llab topilgan inersiya momentlarining ifodasini quyida keltiramiz.

1. Massasi m va uzunligi l bo'lgan sterjenning uning uzunligiga tik va o'rtasidan o'tgan OO' aylanish o'qiga nisbatan inersiya momenti (125- a rasm):

$$I = \frac{1}{12} ml^2.$$

2. Massasi m va uzunligi l bo'lgan sterjenning uning uzunligiga tik va bir uchidan o'tgan OO' aylanish o'qiga nisbatan inersiya momenti (125- b rasm):

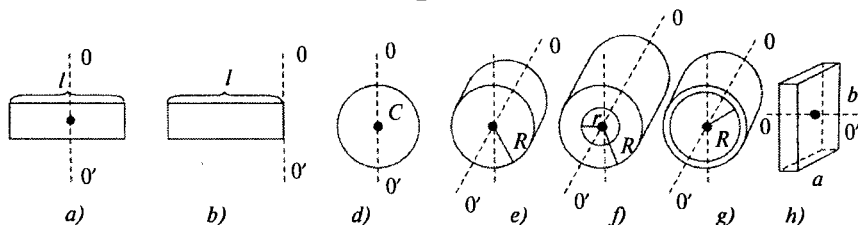
$$I = \frac{1}{3} ml^2.$$

3. Massasi m va radiusi R ga teng bo'lgan sharning o'z markazidan o'tgan OO' aylanish o'qiga nisbatan inersiya momenti (125- d rasm):

$$I = \frac{2}{5} mR^2.$$

4. Massasi m va radiusi R ga teng bo'lgan yaxlit silindrning o'z o'qi OO' ga nisbatan inersiya momenti (125- e rasm):

$$I = \frac{1}{2} mR^2.$$



125- rasm.

5. Massasi m , tashqi radiusi R va ichki radiusi r bo'lgan qalin devorli kovak silindrning o'z o'qiga nisbatan inersiya momenti (125- f rasm):

$$I = \frac{1}{2} m(R^2 + r^2).$$

6. Massasi m va radiusining o'rtacha qiymati R bo'lgan yupqa silindr (halqa)ning o'z o'qiga nisbatan inersiya momenti (125- g rasm):

$$I = mr^2.$$

7. Massasi m , bo'yi a va eni b bo'lgan brusokning inersiya momenti (125- h rasm):

$$I = \frac{1}{12} m(a^2 + b^2).$$

74- §. Aylanma harakat qilayotgan jismning kinetik energiyasi

Yuqorida fizikaning kinematika, dinamika va statika bo'limlarida jismning ilgarilanma va aylanma harakatlarini tavsiflovchi asosiy fizik kattaliklar va ular orasidagi bog'lanishni ifodalovchi formula (qonun)lar bilan tanishib chiqdik. Endi ularni mos ravishda juftlab, bir-biri bilan taqqoslash maqsadida quyidagi jadvalni tuzamiz.

№	Ilgarilanma harakat	Aylanma harakat
1.	Vaqt t	Vaqt t
2.	Chiziqli yo'l s	Burulish burchak φ
3.	Chiziqli tezlik \vec{v}	Burchak teslik $\vec{\omega}$
4.	Chiziqli tezlanish \vec{a}	Burchak tezlanish $\vec{\beta}$
5.	Kuch \vec{F}	Kuch momenti \vec{M}
6.	Massa m	Inersiya momenti I
7.	Kuch momenti $\vec{F} \cdot \Delta t$	Kuch momentining impulsi $\vec{M} \cdot \Delta t$
8.	Impuls $m\vec{v}$	Impuls momenti $I\vec{\omega}$

1	2	3
9.	Chiziqli tezlik ifodasi $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$	Burchak tezlik ifodasi $\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$
10.	Nyutonning ikkinchi qonuni $\bar{F} = m\bar{a}$	Dinamikaning asosiy qonuni $\bar{M} = I\bar{\beta}$
11.	Impuls o'zgarishi qonuni $\bar{F} \cdot \Delta t = m\bar{v} - m\bar{v}_0$	Impuls momenti o'zgarishi qonuni $\bar{M} \cdot \Delta t = I\bar{\omega} - I\bar{\omega}_0$

Taqqoslanayotgan qonunlarning ta'riflari va formulalarida katta o'xshashlik mavjud. Ilgarilanma harakatni tavsiflovchi har bir fizik kattalikka aylanma harakatni tavsiflovchi bir fizik kattalik mos keladi. Bundan foydalanib, ilgarilanma harakat qilayotgan jismning kinetik energiyasi $E_{k.il.} = \frac{mv^2}{2}$ ifodasiga o'xshash bo'lgan aylanma harakat qilayotgan jismning kinetik energiyasi ifodasini

$$E_{k.ayl.} = \frac{I\omega^2}{2} \quad (157)$$

ko'rinishda yoza olamiz. Ilgarilanma harakatda jismning bajargan ishi $A = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv^2}{2}$ ifodasiga o'xshash aylanma harakat qilayotgan jismning bajargan ishining ifodasi quyidagicha ko'rinishda bo'ladi:

$$A = \frac{I\omega_0^2}{2} - \frac{I\omega^2}{2}. \quad (158)$$

Agar jism bir vaqtning o'zida ham aylanma, ham ilgarilanma harakat qilayotgan bo'lsa, uning harakatdagi kinetik energiyasi ilgarilanma harakatdagi kinetik energiyasi bilan aylanma harakatdagi kinetik energiyasi yig'indisiga teng bo'ladi:

$$E_k = E_{k.il.} + E_{k.ayl.} = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}, \quad (159)$$

bu yerda m va I — mos ravishda jismning massasi va inersiya momenti, v va ω — jismning chiziqli va burchak tezliklari.



Takrorlash uchun savollar

1. Kuch momenti deb nimaga aytiladi? Kuch yelkasiga ta'rif bering.
2. Moddiy nuqtaning inersiya momenti qanday ta'riflanadi? Formulasini yozing.
3. Aylanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasini yozing va tushuntiring.
4. Kuch momentining impulsi deb nimaga aytiladi? Jism impulsining momenti deb-chi?
5. Impuls momentining o'zgarish qonunini ta'riflang va formulasini yozing.
6. Ilgarilanma harakat bilan aylanma harakatni ifodalovchi fizik kattaliklar va qonunlar orasida qanday o'xshashliklar mavjud?
7. Aylanma harakat qilayotgan jismning kinetik energiyasi qanday formula bilan aniqlanadi?
8. Bir vaqtning o'zida ham ilgarilanma, ham aylanma harakat qilayotgan jismning kinetik energiyasi nimaga teng?



Masala yechish namunalari

1- masala. 0,2 m radiusli bir jinsli diskning gardishiga urinma ravishda 98,1 N o'zgarmas kuch ta'sir qiladi. Aylanma harakat qilayotgan diskka 4,9 N·m ishqalanish kuchining momenti ta'sir qiladi. Agar disk o'zgarmas $100 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$ burchak tezlanish bilan aylanayotgan bo'lsa, diskning og'irligini toping.

Berilgan: $R = 0,2 \text{ m}$, $F = 98,1 \text{ N}$, $M_{\text{ishq.}} = 4,9 \text{ N} \cdot \text{m}$, $\beta = 100 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$.

Topish kerak: $P - ?$

Yechilishi. Diskni aylantiruvchi natijaviy kuch momenti quyidagiga teng (126- rasm):

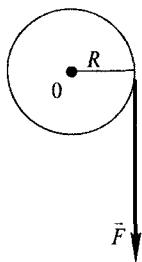
$$M = FR - M_{\text{ishq.}} \quad (a)$$

bu yerda R — aylananing radiusi F kuchning yelkasi vazifasini o'taydi. Bu kuch momenti aylanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasi orqali jismning burchak tezlanishi bilan quyidagicha bog'langan:

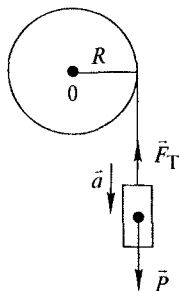
$$M = I\beta \quad (b)$$

bu yerda

$$I = \frac{1}{2}mR^2 \quad (d)$$



126- rasm.



127- rasm.

ga teng bo'lib, diskning inersiya momentini aniqlaydi. (a), (b) va (d) ifodalardan

$$FR - M_{\text{ishq.}} = \frac{mR^2}{2} \cdot \beta.$$

Bu ifodadan diskning m massasini topib, uni g ga ko'paytirsak, diskning og'irligi uchun

$$P = mg = \frac{2g(FR - M_{\text{ishq.}})}{\beta R^2}$$

formulani hosil qilamiz.

$$\text{Hisoblash: } P = \frac{29,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (98,1 \text{ N} \cdot 0,2 \text{ m} - 4,9 \text{ N} \cdot \text{m})}{100 \frac{1}{\text{s}^2} \cdot 0,04 \text{ m}^2} = 72,1 \text{ N}.$$

2- masala. Massasi 9 kg bo'lgan barabanga ip o'ralgan bo'lib, uning uchiga 2 kg massali yuk osilgan. Barabanni bir jinsli silindr deb hisoblab, yukning tezlanishini toping. Ishqalanishni hisobga olmang.

Berilgan: $m_1 = 9$ kg, $m_2 = 2$ kg.

Topish kerak: $a - ?$

Yechilishi. Ipga osilgan yukning harakat tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$m_2 a = m_2 g - F_T, \quad (a)$$

bu yerda F_T — ipning taranglik kuchi bo'lib, barabanga aylantiruvchi ta'sir ko'rsatadi (127- rasm). Uning momenti

$$M = F_T \cdot R, \quad (b)$$

bu yerda R — silindrning radiusi. F_T ni aniqlash uchun dinamikaning asosiy tenglamasidan foydalanamiz:

$$M = I\beta, \quad (d)$$

bu yerda $I = \frac{m_1 R^2}{2}$ — baraban (silindr)ning inersiya momenti, $\beta = \frac{a}{R}$ — uning burchak tezlanishi. I bilan β ning qiymatlarini (d) ifodaga, undan M ning qiymatini (b) ifodaga keltirib qo'yib, F_T ni topamiz:

$$F_T = \frac{M}{R} = \frac{I\beta}{R} = \frac{1}{R} \cdot \frac{m_1 R^2}{2} \cdot \frac{a}{R} = \frac{m_1 a}{2}. \quad (e)$$

(e) ni (a) ga keltirib qo'yamiz va yukning a tezlanishini topamiz:

$$a = \frac{2m_2 g}{2m_2 + m_1}.$$

$$\text{Hisoblash: } a = \frac{2 \cdot 2 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2 \cdot 2 \text{ kg} + 9 \text{ kg}} = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

3- masala. $9 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ tezlik bilan ketayotgan velosipedchining kinetik energiyasini toping. Velosiped bilan velosipedchining birgalikda og'irligi 780N, ikkala g'ildirakning og'irligi 30N ga teng. Velosiped g'ildiraklarini halqa deb hisoblang.

$$\text{Berilgan: } v = 9 \frac{\text{km}}{\text{soat}} = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad P_1 = 780 \text{ N}, \quad P_2 = 30 \text{ N}.$$

Topish kerak: E_k — ?

Yechilishi. Velosipedchining kinetik energiyasi o'zining g'ildiraklar bilan birgalikdagi ilgarilanma harakat energiyasi va g'ildiraklarning aylanma harakat energiyasining yig'indisiga teng, ya'ni

$$E_k = E_{k.il.} + E_{k.ayl.} \quad (a)$$

Ilgarilanma harakat kinetik energiyasi

$$E_{k.il.} = \frac{m_1 v^2}{2} = \frac{P_1 v^2}{2g} \quad (b)$$

ga va aylanma harakat kinetik energiyasi esa

$$E_{k.ayl.} = \frac{I\omega^2}{2}$$

ga teng, bu yerda $I = m_2 R^2 = \frac{P_2 R^2}{g}$ — g'ildiraklar (halqa)ning inersiya momenti, $\omega = \frac{v}{R}$ — ularning burchak tezligi. (Velosipedchining

ilgarilanma harakatining v tezligi velosiped g'ildiraklarining chiziqli tezligi ekanligini eslatib o'tamiz.)

Demak, g'ildiraklarning aylanma harakat kinetik energiyasi:

$$E_{k.\text{ayl.}} = \frac{P_2 R^2}{2g} \cdot \frac{v^2}{R^2} = \frac{P_2 v^2}{2g} \quad (d)$$

(b) va (d) larni (a) ifodaga keltirib qo'yamiz, u holda

$$E_k = \frac{P_1 v^2}{2g} + \frac{P_2 v^2}{2g} = \frac{v^2}{2g} (P_1 + P_2).$$

$$\text{Hisoblash: } E_k = \frac{(2,5)^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} (780+30) N = 254,2 \text{ J}.$$

4- masala. G'ildirak tormozlanish natijasida tekis sekinlanuvchan aylanma harakat qilib, 1 minut davomida o'z tezligini $300 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ dan $180 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ gacha kamaytiradi. G'ildirakning inersiya momenti $2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. G'ildirakning burchak tezlanishini, tormozlovchi momentini va tormozlanish ishini toping.

$$\text{Berilgan: } \omega_1 = 300 \frac{\text{ayl}}{\text{min}} = 300 \frac{2\pi}{60\text{s}} = 5 \cdot 2\pi \frac{1}{\text{s}},$$

$$\omega_2 = 180 \frac{\text{ayl}}{\text{min}} = 180 \frac{2\pi}{60\text{s}} = 3 \cdot 2\pi \frac{1}{\text{s}}, \quad t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}, \quad I = 2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2.$$

Topish kerak: β — ? M — ? A — ?

Yechilishi. Aylanma harakat burchak tezlanishi

$$\beta = \frac{\omega_1 - \omega_2}{t}$$

ifodadan aniqlanadi. G'ildirakni tormozlovchi moment aylanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasi

$$M = I\beta = I \frac{\omega_1 - \omega_2}{t}$$

dan topiladi. Tormozlanish ishi g'ildirak kinetik energiyasining hisobiga bajariladi. Shuning uchun:

$$A = \frac{I\omega_1^2}{2} - \frac{I\omega_2^2}{2} = \frac{I(\omega_1^2 - \omega_2^2)}{2}.$$

$$\text{Hisoblash: } \beta = \frac{5 \cdot 2\pi \frac{1}{s} - 3 \cdot 2\pi \frac{1}{s}}{60s} \approx 0,21 \frac{1}{s^2},$$

$$M = 2\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot 0,21 \frac{1}{s^2} \approx 0,42\text{N} \cdot \text{m},$$

$$A = \frac{2\text{kgm}^2 \left((5 \cdot 2\pi)^2 - (3 \cdot 2\pi)^2 \right) \frac{1}{s^2}}{2} = 6,31 \cdot 10^3 \text{J} = 6,31\text{kJ}.$$



Mustaqil yechish uchun masalalar

83. Yerni radiusi $6,4 \cdot 10^6$ m va massasi $6 \cdot 10^{24}$ kg bo'lgan shar deb hisoblab, uning aylanish o'qiga nisbatan inersiya momentini aniqlang.

84. 0,2 m radiusli 49 N og'irlikdagi disk o'z og'irlik markazidan o'tgan o'q atrofida aylanmoqda. Diskning aylanish burchak tezlanishi $8 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$. Disk gardishiga qo'yilgan urinma kuchning kattaligini toping.

85. 0,5 m radiusli barabanga ip o'ralgan, uning uchiga 98 N yuk osilgan. Agar yukning pastga $2,04 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ tezlanish bilan tushayotgani ma'lum bo'lsa, barabanning inersiya momentini toping.

86. 6 sm diametrli shar gorizontalk tekislikda sekundiga $4 \frac{\text{ayl}}{\text{s}}$ bilan sirpanishsiz dumalaydi. Sharning massasi 0,25 kg. Sharning kinetik energiyasini toping.

87. O'zgarmas tezlik bilan aylanayotgan valning kinetik energiyasi 60 J, impuls momenti $3,8 \text{kg} \cdot \text{m}^2$ bo'lsa, shu valning aylanish burchak tezligini aniqlang.

88. Diskning gardishiga urinma ravishda 20 N o'zgarmas kuch qo'yilgan. Diskning massasi 5 kg. Kuchning ta'siri boshlangandan keyin 5 s o'tgach disk qanday kinetik energiyaga ega bo'ladi?

V bob. SUYUQLIK VA GAZLAR STATIKASI

Ma'lumki, qattiq jismlar o'z hajmlarining va shakllarining o'zgarishiga qarshilik ko'rsatadi, ular elastiklik xususiyatiga ega.

Suyuqlik va gazlar qattiq jismlardan shaklga ega emasligi bilan, ular o'zlari solingan idishning shaklini olishlari bilan farq

qiladilar. (Bundan, albatta, vaznsizlik holatida bo'lgan suyuqliklar mustasnodir. Chunki vaznsizlik holatidagi suyuqlik sirt tarangligi tufayli shar shaklini oladi. Shuningdek, zichliklari bir xil bo'lgan bir suyuqlik ikkinchi suyuqlik ichiga kiritilganda shar shaklidagi hajmni egallaydi.)

Suyuqlik va gazlarning molekullari harakatchan bo'ladi, shuning uchun ular *oquvchanlik* xossasiga ega. Suyuqlik va gazlarning hajm elastikligi katta bo'lgani sababli, tashqi, siquvchi kuchlarning ta'siri to'xtatilgandan so'ng ular o'zlarining boshlang'ich holatlariga qaytadi.

Juda kam siqiladigan suyuqliklar alohida ahamiyatga ega. Tajribalarning ko'rsatishicha, suv sirtining har bir kvadrat metr yuziga shu yuzga tik ravishda 10^7 N kuch ta'sir qilganda suv o'zining boshlang'ich hajmining faqat 0,005 protsentigagina siqilar ekan. Boshqa suyuqliklar ham siquvchi kuchlar ta'sirida o'z hajmini deyarli o'zgartirmasliklari aniqlangan. Shu sababli, amalda suyuqliklarni siqilmaydi deb hisoblash mumkin.

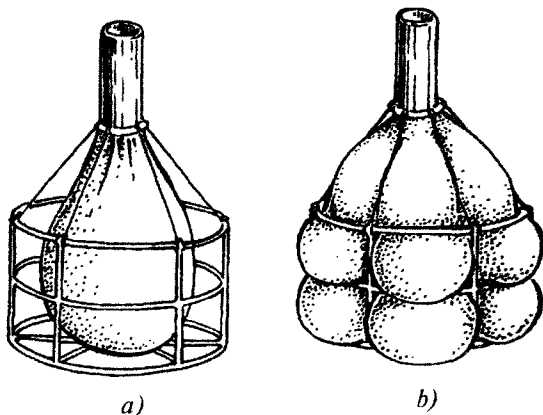
Suyuqlik va gazlar tinch holatda (muvozanatda) yoki harakatda bo'lishi mumkin. Masalan, yopiq idishlardagi gazlar, sisternalar, bochkalar yoki butilkalardagi suyuqliklar muvozanatda bo'ladi.

Suyuqlik va gaz muvozanat holatida turibdi, deganimiz ular o'zining butun massasi bilan harakatlanmay turganini, ularning alohida qismlarida sezilarli harakat yo'qligini va, umuman, suyuqlik yoki gazning oqmasligini bildiradi. Moddadagi molekulyar harakatlar bunday muvozanatga xalaqit bermaydi.

Amalda siqilmaydigan suyuqliklarning muvozanat shartlari fizika kursining *gidrostatika* bo'limida, gazlarning muvozanat shartlari *aerostatika* bo'limida o'rganiladi. Quyidagi paragraflarda suyuqlik va gazlarning muvozanat shartlarini hamda suyuqlik yoki gazga botirilgan jismlarning muvozanat shartlarini ko'rib chiqamiz.

75- §. Suyuqlik va gazlarning bosimi. Bosim birliklari

Suyuqlik o'zi tegib turgan qattiq jism sirtiga ma'lum kuch bilan ta'sir qilishi kundalik tajribalardan ma'lum. Bu kuch suyuqlikning *bosim kuchi* deb ataladi.



128- rasm.

Ochiq vodoprovod joʻmrangi teshigini barmogʻimiz bilan yopib, suvning unga koʻrsatayotgan bosim kuchini sezishimiz mumkin. Bosim kuchi suyuqlik toʻldirilgan idishning tubiga ham, devorlariga ham taʼsir qiladi. Simdan yasalgan qobirgʻaga oʻrnatilgan ichi boʻsh rezina stakanni olib (128- *a* rasm), uni simobga toʻldirilsa, stakanning tubi va devorlari tashqariga boʻrtib chiqishini kuzatishimiz mumkin (128- *b* rasm).

Bir-biriga bevosita tegib turgan jismlar orasidagi oʻzaro taʼsir kuchlari – elastiklik kuchlari jismlarning deformatsiyalanishidan yuzaga kelishini biz bilamiz. Suyuqliklar hajm oʻzgarishiga nisbatan elastiklikka molik boʻlgani uchun suyuqlikning siqilishida elastiklik kuchlari paydo boʻladi. Bu kuchlar *suyuqlikning bosim kuchidir*. Suyuqlik qancha koʻp siqilsa, bosim kuchi ham shuncha katta boʻladi.

Kuchning taʼsiri uning kattaligiga bogʻliq. Ammo baʼzi hollarda kuchning taʼsiri shu kuch taʼsir qilayotgan jism sirti yuzining kattaligiga ham bogʻliq boʻladi. Bunday hollarda kuchning taʼsirini toʻla tavsiflash uchun *bosim* deb ataladigan fizik kattalikdan foydalaniladi.

Jism sirtining birlik yuziga perpendikulyar ravishda taʼsir qiluvchi kuchga son jihatdan teng boʻlgan fizik kattalik bosim deyiladi.

Agar ΔS yuzga normal yoʻnalishda $\Delta \vec{F}$ kuch taʼsir etayotgan boʻlsa, u holda p bosim

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta S} \quad (160)$$

boʻladi. Agar bosim sirt boʻyicha tekis taqsimlangan boʻlsa, u holda

$$p = \frac{F}{S} \quad (161)$$

boʻladi. p bosim bilan $F = p \cdot S$ bosim kuchini bir-biridan farq qila bilish lozim. Masalan, odamning gorizontal sirtga bosim kuchi F , tayanch yuzining kattaligi qanday boʻlishidan qatʼiy nazar, uning ogʻirligiga teng. Odamning gorizontal sirtga koʻrsatgan bosimi p esa uning ogʻirligidan tashqari yana tayanch yuzasining kattaligiga ham bogʻliq boʻladi. Masalan, konkida turgan odamning gorizontal sirtga koʻrsatadigan bosimi oyoq kiyimida turgan odamning koʻrsatadigan bosimidan katta boʻladi, changʻida turgan odamning bosimidan esa ancha katta boʻladi.

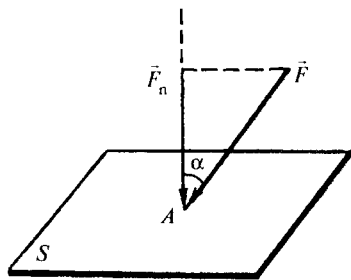
Agar kuch jism sirtiga tik yoʻnalishda taʼsir qilmayotgan boʻlsa (129- rasm), u holda bosimni hisoblashda kuchning shu sirtga nisbatan normal tashkil etuvchisini, yaʼni normal bosim kuchini olish kerak. F_n normal bosim kuchining kattaligi $F_n = F \cos \alpha$ ga teng, shuning uchun

$$p = \frac{F_n}{S} = \frac{F}{S} \cos \alpha \quad (162)$$

boʻladi, bunda α — taʼsir etayotgan \vec{F} kuch bilan jism sirtiga oʻtkazilgan normal orasidagi burchak.

Bosim suyuqlik va gazlarning asosiy xarakteristikalaridan biri boʻlib hisoblanadi. Bosimning fizik tabiati haqida shu kitobning molekulyar fizika boʻlimida batafsil toʻxtab oʻtiladi.

Bosim birligi qilib kuch birligining yuz birligiga koʻrsatgan bosimi olinadi.



129- rasm.

SI da bosim birligi qilib bir nyuton kuchning bir kvadrat metr yuzga ko'rsatadigan bosimi qabul qilingan. Bu birlik paskal (Pa) deb ataladi.

$$[p] = \frac{[F]}{[S]} = \frac{1\text{N}}{1\text{m}^2} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1\text{Pa}.$$

Bosimning quyidagi birliklaridan ham foydalaniladi:

1 GPa (gigapaskal) = 10^9 Pa;

1 MPa (megapaskal) = 10^6 Pa;

1 kPa (kilopaskal) = 10^3 Pa;

1 mPa (millipaskal) = 10^{-3} Pa;

1 μ Pa (mikropaskal) = 10^{-6} Pa.

Shuningdek,

1 bar (bar) = 10^5 Pa.

1 mm sim. ust = 133,3 Pa.

1 mm suv ust. = 9,8 Pa.

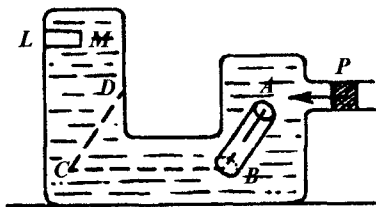
1 atm. = 760 mm sim. ust. = $1 \cdot 10^5$ Pa.

76- §. Suyuqlik va gazlar uchun Paskal qonuni

Suyuqlik og'irlik kuchi (xususiy og'irligi) ostida ham yoki suyuqlik hajmini chegaralab turuvchi sirtga ta'sir qiluvchi tashqi kuchlar (sirtiy kuchlar) ostida ham siqilishi mumkin. Suyuqlik ichida sirtiy kuchlar hosil qiladigan bosimni ko'rib chiqaylik.

Porshenli silindr ulangan ixtiyoriy shakldagi berk idishga suyuqlik (yoki gaz) solingan bo'lsin (130- rasm). Porshenni silindr ichiga itarsak, suyuqlikning siqilishi natijasida suyuqlik ichida bosim hosil bo'ladi. Idishning turli joylarida bosim o'lchanganda, ularning kattaligi deyarli bir xil bo'lishi aniqlangan. Bu holni nazariy yo'l bilan ham isbotlash mumkin. Buning uchun, avvalo, suyuqlik ichidagi ixtiyoriy ikkita, masalan, A va B nuqtalardagi bosim o'zaro teng ekanligiga ishonch hosil qilamiz. Shu maqsadda suyuqlikning ichida o'qi A va B nuqtalardan o'tuvchi ingichka silindrni fikran ajratib olamiz. Silindrning asoslari AB chiziqqa perpendikulyar bo'lsin. Silindr hajmidagi suyuqlik idishda tinch (muvozanatda) turgan suyuqlikning bir qismini tashkil qiladi, binobarin, silindr sirtiga bosim kuchlari ta'sir qilayotgan bo'lsa ham, uning ichidagi suyuqlik tinch turadi. Silindrga boshqa kuchlar ta'sir qilmaydi,

og'irlik kuchini esa nazarga olmaymiz. Suyuqlik muvozanatda bo'lishi uchun unga ta'sir qilayotgan bosim kuchlarining ixtiyoriy yo'nalishga bo'lgan proyeksiyalarining yig'indisi nolga teng bo'lishi kerak. Bosim kuchlarining AB o'qqa proyeksiyalarining yig'indisini ko'rib chiqaylik.



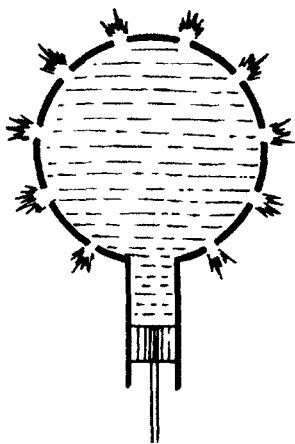
130- rasm.

Silindrning yon sirtiga ta'sir qilayotgan bosim kuchlarining AB o'qqa bo'lgan proyeksiyalari nolga teng, chunki bu kuchlar AB o'qqa perpendikulyar ravishda yo'nalgan. Silindrning asoslariga ta'sir qiluvchi kuchlar mos ravishda $p_A \cdot S$ va $p_B \cdot S$ ga teng bo'ladi, bunda p_A va p_B lar A va B nuqtalardagi bosim, S — silindr asosining yuzi. Bu kuchlar AB o'q bo'ylab qarama-qarshi tomonga yo'nalgan. Demak, silindr muvozanat holatida bo'lgani sababli, $p_A S = p_B S$ bo'ladi, bundan $p_A = p_B$ ekani kelib chiqadi, ya'ni A va B nuqtalardagi bosimlar o'zaro teng bo'ladi. Bunday mulohazani suyuqlik ichidagi boshqa ixtiyoriy ikki, masalan, C va D nuqta uchun ham yuritib, bu nuqtalardagi bosimlar ham o'zaro teng ekanligini isbot qilish mumkin.

Shunday qilib, *suyuqlik (yoki gaz) ga tashqi kuchlar ta'sir qilganda suyuqlik ichidagi barcha nuqtalarda bosim bir xil bo'ladi*, degan xulosaga kelamiz. Bu fikr fransuz olimi B. Paskalga tegishli bo'lib, uning nomi bilan *Paskal qonuni* deb yuritiladi.

Endi suyuqlik ichida fikran ajratib olingan LM silindrni qarab chiqaylik (130- rasmga q.). Bu silindrning L asosi idish devorida yotadi. Yuqorida yuritilgan mulohazani bu silindr uchun ham qo'llab, idish devoridagi bosim suyuqlik ichidagi bosimga teng ekaniga ishonch hosil qilish mumkin. Xuddi shuningdek, porshenning suyuqlikka tegib turgan sirtidagi bosim ham suyuqlik ichidagi bosimga teng bo'lishi ravshan. Shunday qilib, porshenning suyuqlik sirtiga ko'rsatgan bosimi p bo'lsa, suyuqlikning ichidagi barcha nuqtalarda va idish devorlarida ham bosim p ga teng bo'ladi.

Shuning uchun Paskal qonunini yana quyidagicha ta'riflash mumkin:



131- rasm.

Berk idishda turgan suyuqlik (yoki gaz) ga ta'sir etayotgan bosim suyuqlik (yoki gaz) ning har bir nuqtasiga o'zgarishsiz uzatiladi.

Paskal qonunining bunday ta'rifi umumiy hol uchun, ya'ni og'irlik kuchi nazarga olinadigan hol uchun ham to'g'ri bo'ladi. Agar tinch turgan suyuqlik ichidagi og'irlik kuchi ma'lum (umuman olganda turli nuqталarda turlicha bo'lgan) bosimni hosil qilsa, suyuqlik sirtiga qo'yilgan tashqi kuchlar suyuqlikning har bir nuqtasida bosimni bir xil qiymatga oshiradi.

Paskal qonunini oddiy tajribalarda tekshirib ko'rish mumkin.

131- rasmda turli joylarida tor teshiklari bo'lgan ichi bo'sh sharcha tasvirlangan. Sharcha ichiga porshen kiritilgan nay bilan ulangan. Agar sharni suvga to'ldirib olib, porshenni nay ichiga itarsak, sharning hamma teshiklaridan suv tizillab bir xilda otilib chiqadi.

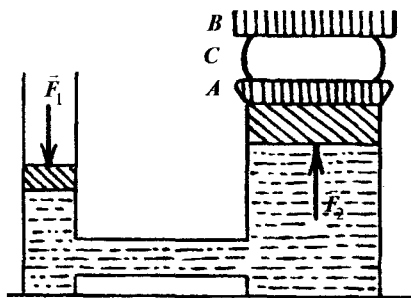
Bu tajribada porshen naydagi suv sirtiga bosadi. Porshenning bosimi shardagi suvning hamma molekulalariga uzatiladi. Natijada suvning bir qismi shar ichidan hamma yo'nalishda chiquvchi oqim shaklida otilib chiqadi.

Agar shar tutunga to'ldirilsa, bu holda porshenni nay ichiga itarganda sharning hamma teshiklaridan tutun oqimi chiqib boshlaydi. Bu gazlar ham o'ziga bo'lgan bosimni hamma tomonga bir xil uzatishini tasdiqlaydi.

77- §. Gidravlik pressning ishlash prinsipi

Paskal qonuniga asoslanib ishlaydigan mexanizmlarni *gidravlik mashinalar* deyiladi. Jismlarni presslash (siqish) maqsadida ishlatiladigan gidravlik mashina *gidravlik press* deb ataladi. Gidravlik pressning asosiy qismi bir-biri bilan nay orqali tutashtirilgan turli diametrlilik ikkita silindrdan iborat bo'lib, bu silindrlar ichida devorlarga jips tegib yuradigan porshenlar harakatlanadi (132- rasm).

Kichik porshening yuzini S_1 bilan, kattasining yuzini esa S_2 bilan belgilaylik. Agar S_1 porshenga \vec{F}_1 kuch ta'sir qilsa, u holda bu porshenga ko'rsatiladigan bosim $p = \frac{F_1}{S_1}$ bo'ladi.



132- rasm.

Paskal qonuniga ko'ra bu bosim suyuqlikning har bir nuqtasiga o'zgarishsiz uzatiladi. Bino-

barin, katta porshen ham xuddi shunday bosim ta'sirida bo'ladi. Shuning uchun katta porshenga

ta'sir etayotgan bosim ifodasini $p = \frac{F_2}{S_2}$ ko'rinishda yozish mumkin. Bu ikkala ifodadan quyidagi munosabatni hosil qilamiz:

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}, \quad \text{bundan} \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}. \quad (163)$$

Bu munosabatdan porshenlarga ta'sir qiluvchi kuchlar ular sirtlarining yuziga to'g'ri proporsional ekanligi kelib chiqadi. Gidravlik pressning ishlash prinsipi ana shunga asoslangan. Gidravlik press katta porshenining yuzi kichik porshenining yuzidan necha marta katta bo'lsa, gidravlik press kuchdan shuncha marta katta yutuq beradi.

Gidravlik presslarda suyuqlik sifatida suv yoki moy ishlatiladi. Presslanadigan C jism katta porshenga biriktirilgan A platforma ustiga qo'yiladi. Bu porshen ko'tarilganda jism qo'zg'almas ustki B platformaga taqaladi va siqiladi (132- rasmga q.).

Gidravlik pressning ishi tugagandan so'ng suyuqlik katta silindrdan kichik silindrga qayta o'tadi. (Bu hol rasmda ko'rsatilmagan.).

Gidravlik presslar katta kuch talab qiladigan joylarda, masalan, yog' zavodlarida urug' (kunjut, zig'ir, loviya, chigit, pista) dan yog' siqib chiqarishda, mevalardan sharbat ajratib olishda, faner, karton, paxta, pichan va shu kabilarni presslashda qo'llaniladi. Zavodlarda kuchli gidravlik presslardan metall va plastmassa detallar shtamplashda keng foydalaniladi.

78- §. Suyuqlikning idish tubi va devorlariga bosimi

Gravitatsion maydonda suyuqlikning har bir zarrasiga og'irlik kuchi ta'sir etadi. Shu sababli suyuqlik idishning tubi va devorlariga, shuningdek, uning ichidagi jismga ham bosim beradi.

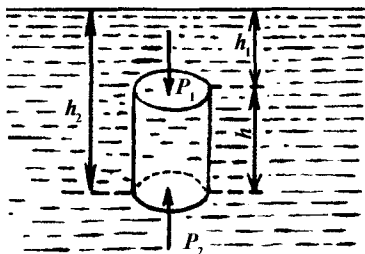
Suyuqlikning og'irligi tufayli bo'ladigan bosim *gidrostatik bosim* deyiladi.

Gidrostatik bosimni aniqlash mumkin. Muvozanat holatida turgan suyuqlik ichida asos yuzlari suyuqlikning erkin sirtiga parallel bo'lgan silindr shaklidagi suyuqlik hajmini fikran ajratib olaylik (133- rasm). (Suyuqlikning idish devorlariga tegmay turgan sirti *suyuqlikning erkin sirti* deb ataladi.) Ajratilgan suyuqlikning hajmiga silindrning o'qi bo'ylab yo'nalgan uchta kuch ta'sir etadi: ulardan biri silindrning suyuqlik erkin sirtidan h_1 chuqurlikda bo'lgan yuqori asosiga ta'sir etuvchi $F_1 = p_1 \cdot \Delta S$ kuch, ikkinchisi h_2 chuqurlikda bo'lgan pastki asosiga ta'sir etuvchi $F_2 = p_2 \Delta S$ kuch va nihoyat, shu silindr hajmidagi suyuqlikning og'irlik kuchi $P = \rho g(h_2 - h_1)\Delta S$, bu yerda p_1 va p_2 lar mos ravishda silindrning yuqori va pastki asoslariga ko'rsatilayotgan bosimlar, ΔS — shu asoslarning yuzi, ρ — suyuqlikning zichligi. Suyuqlik muvozanat holatida bo'lgani uchun quyidagi shart bajariladi:

$$p_1 \cdot \Delta S + \rho g(h_2 - h_1)\Delta S = p_2 \Delta S.$$

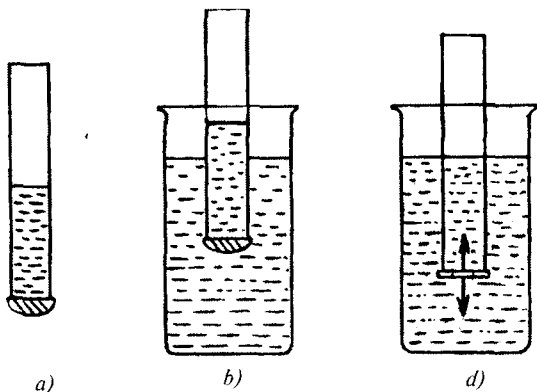
Bundan

$$p_2 - p_1 = \rho g(h_2 - h_1) = \rho gh \quad (164)$$



133- rasm.

bo'ladi, bu yerda h — ko'rila-yotgan silindr shaklidagi suyuqlik ustunining balandligi. (164) formuladan ko'rinadiki, og'irlik kuchi ta'sirida suyuqlik ichida bosim turli chuqurliklarda turlicha bo'ladi. Biroq suyuqlikning ixtiyoriy sathida bosim barcha yo'nalishlar bo'yicha bir xil bo'ladi. Bu *gidrostatik bosimdir*.



134- rasm.

Shunday qilib, *suyuqlikning idish tubiga va devorga ko'rsatadigan bosimi suyuqlik zichligi bilan suyuqlik ustuni balandligiga to'g'ri proporsional bo'ladi.*

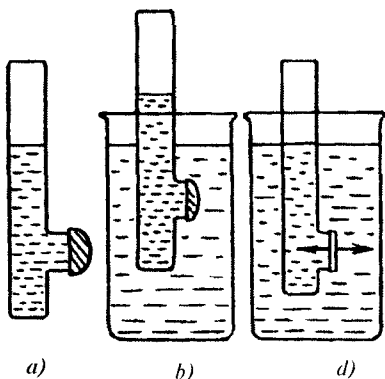
Agar suyuqlikka p_0 tashqi bosim (masalan, havoning bosimi) ta'sir qilayotgan bo'lsa, u holda suyuqlikning ichida h chuqurlikdagi bosim

$$p = p_0 + \rho gh \quad (165)$$

ga teng bo'ladi.

Paskal qonuniga asosan istalgan sathda suyuqlikning hamma yo'nalishlari bo'yicha, ya'ni yuqoridan pastga, pastdan yuqoriga va yon tomoniga bo'lgan bosimi bir xil bo'lishiga tajrida yordamida yana bir bor ishonch hosil qilish mumkin.

Pastki teshigi yupqa rezina bilan berkitilgan shisha nay olib, unga suv quyaylik. Bunda idish tubiga suvning bosim kuchi ta'sirida nayning tubi qavarib chiqadi (134- a rasm). So'ng nayni birmuncha keng bo'lgan suvli boshqa idishga tushiraylik. Nayni pastga suvga chuqurroq tushirgan sari rezina pardaning qavarig'i asta-sekin to'g'rilana borishini (134- b rasm) va nayning ichidagi suvning sathi idishdagi suvning sathiga yetganda rezina parda butunlay to'g'rilanganini ko'ramiz (134- d rasm). Bu esa pardaga yuqoridan va pastdan bo'lgan bosimlarning bir xil bo'lishini ko'rsatadi. Demak, suyuqliklarda pastdan yuqoriga yo'nalgan



135- rasm.

Shunday qilib, suyuqlik ichidagi bosim ayni bir sathda hamma yoʻnalishlar boʻyicha bir-biriga teng (oʻzgarmas) ekanini tajribalar tasdiqlaydi.

Yuqorida yuritilgan mulohazalarning hammasi gazlar uchun ham oʻrinli boʻladi. Biroq gazning zichligi suyuqlik zichligidan bir necha yuz marta kichik boʻlgani sababli idishdagi gazning ogʻirligi juda oz va uning ogʻirlik kuchi tufayli koʻrsatadigan bosimini koʻpchilik hollarda hisobga olmasa ham boʻladi.

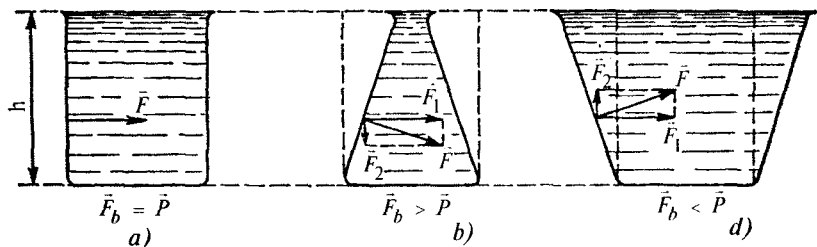
79- §. Hidrostatik paradoks

Gidrostatik bosim ifodasidan koʻrinadiki ((164) formulaga q.), bu bosimning kattaligi suyuqlik solingan idishning shakliga, tubining yuziga bogʻliq emas. Binobarin, gidrostatik bosim idishga quyilgan suyuqlikning ogʻirligiga bogʻliq boʻlmaydi.

Silindr shaklidagi idishga quyilgan suyuqlikning idish tubiga koʻrsatadigan bosim kuchi \vec{F}_b shu idishdagi suyuqlikning \bar{P} ogʻirligiga teng boʻlishi tushunarli (136- a rasm). Biroq asos yuzlari bir xil boʻlgan, lekin silindr shaklida boʻlmagan idishlar olib, ularga bir xil sathgacha suyuqlik quysak, idish tubiga koʻrsatiladigan gidrostatik bosim kuchi \vec{F}_b shu idishdagi suyuqlikning \bar{P} ogʻirligiga teng boʻlmasdan, undan katta (136- b rasm) yoki kichik (136- d rasm) boʻlishi mumkin. Bu hol *gidrostatik paradoks* deb yuritiladi.

bosim boʻladi va bu bosim berilgan chuqurlikda yuqoridan pastga yoʻnalgan bosimga teng boʻladi.

Yon devordagi teshigi rezina parda bilan qoplangan nay bilan ham xuddi shunday tajriba oʻtkazib, suyuqlikning rezina pardaga yon tomondan beradigan bosimi ham ikkala tomondan bir xil boʻlishini koʻrsatish mumkin (135- a, b, d rasmlar).



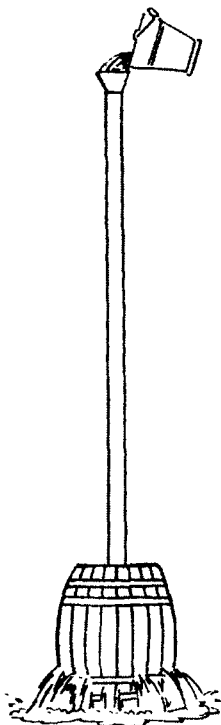
136- rasm.

Gidrostatik paradoksnı quyidagicha tushuntirish mumkin. Muvozanat holatidagi suyuqlikka idish devorlari tomonidan shu devorlarga perpendikulyar bo‘lgan va miqdor jihatidan suyuqlikning bosim kuchiga teng bo‘lgan \vec{F} kuch ta’sir qiladi. 136- a rasmda tasvirlangan silindr shaklidagi idishda bu kuch suyuqlikni siqadi. 136- b rasmda tasvirlangan shakldagi idishda esa suyuqlik \vec{F} kuchning gorizontaal tashkil etuvchisi \vec{F}_1 kuch ta’sirida siqiladi, vertikal tashkil etuvchisi \vec{F}_2 kuch esa pastga tomon yo‘nalgan bo‘lib, idish tubiga bo‘lgan bosim kuchini ko‘paytiradi. 136- d rasmda tasvirlangan idishda esa \vec{F} kuchning vertikal tashkil etuvchisi \vec{F}_2 kuch yuqoriga yo‘nalgan bo‘lib, suyuqlik og‘irligining bir qismini kompensatsiyalaydi va idish tubiga bo‘lgan bosim kuchini kamaytiradi.

Shunday qilib, idishning shakli har qanday bo‘lganda ham, suyuqlikning idish tubiga bosim kuchi suyuqlikning shunday vertikal ustuni og‘irligiga tengki, bu ustunning asosi idish tubi yuziga, balandligi esa suyuqlik ustuni balandligiga teng bo‘ladi.

Suyuqlik ustunining balandligi qancha katta bo‘lsa, suyuqlikning idish tubiga va devorlariga bosimi ham shuncha katta bo‘lishiga Paskal tomonidan amalga oshirilgan quyidagi tajribada ishonch hosil qilish mumkin. Ichiga suv to‘ldirib, hamma tomoni mustahkam bekitilgan bochkaga Paskal uzun ingichka nay o‘rnatdi. Nay suvga to‘lg‘azilganda suvning bochka devorlariga bosimi shuncha ortib ketganki, natijada suv bochka taxtalarining ulanish oraliqlaridan otilib chiqib boshlagan (137- rasm).

Gidrostatik bosim ρgh suyuqlik ustunining balandligiga qarab o‘zgarib borganı uchun (suyuqlik sirtida $h = 0$, tubida $h = H$)



137- rasm.

idishning yon devorlariga ko'rsatiladigan bosim kuchini topishda bosimning o'rtacha qiymati

$$p_{o'r} = \frac{0 + \rho g H}{2} = \frac{1}{2} \rho g H$$

ni devorning S yuziga ko'paytirish lozim, ya'ni

$$F = p_{o'r} \cdot S = \frac{1}{2} \rho g H S. \quad (166)$$

80- §. Tutash idishlar qonuni

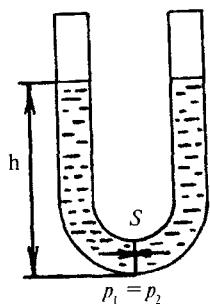
Pastki qismlari o'zaro nay orqali ulangan va biridan ikkinchisiga suyuqlik oqib o'ta oladigan ikki yoki undan ortiq idishlar sistemasi *tutash idishlar* deb ataladi. Masalan, leyka, choynak, kofe qaynatgich tutash idishlarga misol bo'la oladi. U -simon naylar eng sodda tutash idishlar hisoblanadi (138- rasm).

Tajribalarning ko'rsatishicha, tutash idishlarning bir tirsagiga bir jinsli suyuqlik quyilsa, uning barcha tirsaklarida suyuqlik

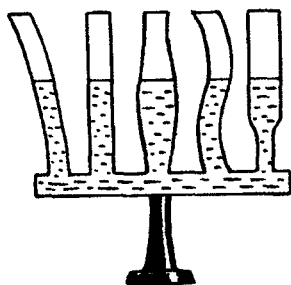
sirti bir xil balandlikka erishguncha bir tirsakdan boshqasiga oqib o'tadi (139- rasm). Bu hodisani suyuqlikning muvozanatda bo'lish sharti asosida tushuntirish mumkin. Masalan, U -simon nayda bir jinsli suyuqlik tinch holatda bo'lsin (138- rasmga q.). Naylarning tutashgan yeridagi kesimidan biror S yuzni ko'z oldimizga keltiraylik. Bu S yuzga bir tomondan p_1 , ikkinchi tomondan p_2 ga teng bo'lgan gidrostatik bosim ta'sir qiladi. Suyuqlikning muvozanatda bo'lgan vaqtida yuzning tinch holatda bo'lishini va har bir naydagi suyuqlik ustuniga ta'sir qilayotgan tashqi bosimlar bir-birini kompensatsiyalashini e'tiborga olsak, gidrostatik bosim ifodasiga ko'ra

$$\rho g h_1 = \rho g h_2$$

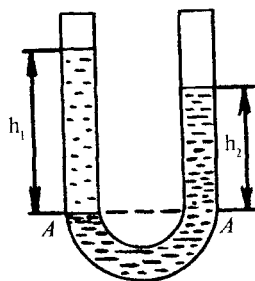
ni yozish mumkin.



138- rasm.



139- rasm.



140- rasm.

Bundan, $h_1 = h_2$ ekani kelib chiqadi.

Har qanday shakldagi tutash idishlarda tinch holatda bo'lgan bir jinsli suyuqlikning erkin sirti bir xil balandlikda bo'ladi.

Agar tutash idishlarga bir-biri bilan aralashmaydigan, zichliklari ρ_1 va ρ_2 turlicha bo'lgan suyuqliklar solinsa, bu suyuqliklar muvozanatda bo'lgan vaqtda sathlari bir xil balandlikda bo'lmaydi. Chunki suyuqlikning gidrostatik bosimi suyuqlik ustuni balandligiga va zichligiga to'g'ri proporsional- ligidan, bosimlar teng bo'lganda zichligi katta bo'lgan suyuqlik ustunining balandligi zichligi kichik bo'lgan suyuqlik ustunining balandligiga qaraganda kichik bo'ladi.

140- rasmda bir-biriga aralashmaydigan turli suyuqliklar solingan U- simon idish tasvirlangan. Bu suyuqliklar ustunining balandligi suyuqliklarni ajratib turuvchi AA sathdan boshlab o'lchanadi. Bu sathdan pastda turgan suyuqlik bir jinslidir, shuning uchun shu sathda ikkala tirsakdagi gidrostatik bosim bir xil bo'ladi, ya'ni

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2.$$

Bundan quyidagi munosabatni hosil qilamiz:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}. \quad (167)$$

(167) munosabat *tutash idishlar qonunining matematik ifodasidir*. Bu qonun quyidagicha ta'riflanadi: *tutash idishlardagi turli suyuqliklarning muvozanat holatida suyuqliklarni ajratib*

turuvchi sathdan boshlab o'Ichangan ustunlar balandliklari suyuqliklarning zichliklariga teskari proporsional bo'ladi.

Texnikada tutash idishlar keng qo'llaniladi. Masalan, kanal va daryolardagi shlyuzlar, suv minoralari, vodoprovod tarmoqlari va hokazolar tutash idishlar prinsipiga asoslanib quriladi. Tutash idishlar xossalaridan berk idishlarda, masalan, bug' qozonida suyuqlik sathi balandligini aniqlashda ishlatiladigan shisha naylarda foydalaniladi.

81- §. Suyuqlik va gazlar uchun Arximed qonuni

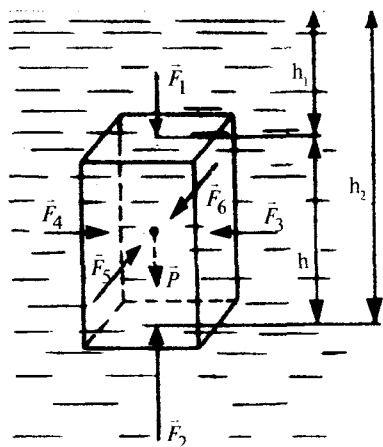
Agar suyuqlik ichiga biror qattiq jism botirilsa, uning sirtlariga suyuqlikning bosim kuchlari ta'sir qiladi. Chuqurlik ortib borgan sari bosim ham ortib borishi sababli jismning pastki qismiga yuqori qismiga nisbatan kattaroq kuchlar ta'sir qiladi. Bu kuchlarning teng ta'sir etuvchisi yuqoriga qarab yo'nalgan bo'ladi. Suyuqlikka botirilgan jismga ta'sir etuvchi bosim kuchlarining teng ta'sir etuvchisi suyuqlik ichidan jismni itarib chiqaruvchi kuch bo'ladi. Gaz ichida turgan jismlarga ham ularni gaz ichidan itarib chiqaruvchi kuch ta'sir qiladi. Jismni suyuqlik yoki gaz ichidan itarib chiqaruvchi kuchni uni qanday hisoblash mumkin ekanini ko'rsatib bergan qadimgi yunon olimi Arximed

sharafiga *Arximed kuchi* deb ataladi.

Bu kuchning kattaligini aniqlaylik.

Masalani soddalashtirish maqsadida parallelepiped shaklidagi jism suyuqlikka botirilgan deb olaylik. Bu jismning asoslari suyuqlik sirtiga parallel bo'lsin (141- rasm). Jismning yon sirtlariga ta'sir qiluvchi \vec{F}_3 , \vec{F}_4 , \vec{F}_5 va \vec{F}_6 bosim kuchlari juft-jufti bilan o'zaro teng va bir-birini muvozanatlaydi. Ularning ta'sirida jism faqat siqiladi.

Jismning yuqori sirtiga h_1 balandlikka ega bo'lgan suyuqlik



141- rasm.

ustuni \vec{F}_1 kuch bilan, pastki sirtiga esa h_2 balandlikka ega bo'lgan suyuqlik ustuni \vec{F}_2 kuch bilan bosadi. $h_2 > h_1$ bo'lgani sababli, $\vec{F}_2 > \vec{F}_1$ bo'ladi. Demak, suyuqlik jismga kuchlarning $\vec{F}_A = \vec{F}_2 - \vec{F}_1$ ayirmasiga teng Arximed kuchi bilan ta'sir ko'rsatadi. Bu ayirmani hisoblash uchun gidrostatik bosim formulasidan foydalanamiz.

Agar parallelepiped asosi yuzining kattaligi S bo'lsa, u holda $F_1 = p_1 S$ va $F_2 = p_2 S$ bo'ladi, bunda $p_1 = \rho_s g h_1$ ifoda h_1 balandlikdagi (jismning yuqori sirtiga ko'rsatilayotgan) gidrostatik bosim, $p_2 = \rho_s g h_2$ esa h_2 balandlikdagi (jismning pastki sirtiga ko'rsatiladigan) gidrostatik bosim, ρ_s — suyuqlikning zichligi. U holda jismga ta'sir etuvchi Arximed kuchi quyidagiga teng bo'ladi:

$$F_A = \rho_s g S (h_2 - h_1) = \rho_s g S h = \rho_s g V, \quad (168)$$

bu yerda $V = Sh$ — jismning hajmi, $\rho_s g V$ — jism hajmiga teng hajmli suyuqlikning og'irligi. Shunday qilib, *suyuqlik (yoki gaz) ga botirilgan jism o'zi siqib chiqargan suyuqlik (yoki gaz) og'irligiga teng bo'lgan kuch bilan yuqoriga tomon itariladi.*

Bu ta'rif *Arximed qonuni* deb ataladi.

Arximed „Suzuvchi jismlar haqida“ nomli asarida bu qonunni quyidagicha ta'riflagan:

„Suyuqlikdan og'ir jism suyuqlikka tushirilganda uning tubiga yetguncha borgan sari chuqurroq tushadi va suyuqlik ichida turganda jism hajmicha suyuqlikning og'irligicha o'z og'irligidan yo'qotadi“.

82- §. Jismlarning suzish shartlari

Arximed kuchi F_A bilan jismning P og'irligi orasidagi $F_A - P$ ayirma *ko'taruvchi kuch* deyiladi. Ko'taruvchi kuchning kattaligiga va yo'nalishiga bog'liq holda suyuqlikka botirilgan jism uch holatda bo'lishi mumkin:

1. Arximed kuchi og'irlik kuchidan kichik bo'lsin, ya'ni $F_A - P < 0$, $P = \rho g V$ (ρ — jismning zichligi) ekanligidan

$$F_A - P = \rho_s g V - \rho g V = g V (\rho_s - \rho) < 0, \text{ bundan } \rho_s < \rho.$$

Bu holda jism suyuqlik tubiga tushadi, ya'ni cho'kadi.

2. Arximed kuchi son jihatidan jismning og'irligiga teng bo'lsin, ya'ni $F_A - P = 0$. Binobarin,

$$F_A - P = gV(\rho_s - \rho) = 0, \text{ bundan } \rho_s = \rho.$$

Bu holda jism suyuqlikning istalgan joyida muvozanatda bo'la oladi.

3. Arximed kuchi jismning og'irligidan katta bo'lsin, ya'ni $F_A - P > 0$, binobarin,

$$F_A - P = gV(\rho_s - \rho) > 0, \text{ bundan } \rho_s > \rho.$$

Bu holda jism suyuqlik sirtiga ko'tarila boshlaydi va suyuqlik sirtiga „qalqib chiqadi“.

Shu uchinchi holni ko'rib chiqaylik. Jism suyuqlik ichida yuqoriga, suyuqlik sirtiga tomon ko'tarilayotganida unga ta'sir qilayotgan Arximed kuchi o'zgarmaydi, chunki

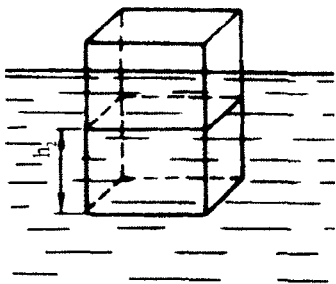
$$F_A = \rho_s gS(h_2 - h_1)$$

formulada berilgan suyuqlik va jism uchun ρ_s , S o'zgarmas kattaliklar, h_1 va h_2 lar esa kamayib boradi, biroq ularning ayirmasi $h = h_2 - h_1$ jismning balandligiga teng va o'zgarmaydi. Jismning yuqori sirti suyuqlik sirti bilan bir sathda bo'lganda $F_1 = 0$ bo'ladi, chunki $h_1 = 0$. Bu vaqtda Arximed kuchi $F_A = F_2 = \rho_s Sgh_2$ ga teng bo'lib qoladi. Biroq jismning ko'tarilishi davom etaveradi, h_2 esa kamayib boradi, demak, Arximed kuchi ham kamayib boradi. Shu sababli $F_A - P = \rho_s Sgh_2 - P$ ko'tatuvchi kuch kamayib boradi. Ko'taruvchi kuch nolga teng bo'lganda jismning qalqib chiqishi to'xtaydi va jism suyuqlik sirtida suzib yuradi. Demak, jismning suyuqlik sirtida suzib yurish sharti quyidagicha bo'ladi:

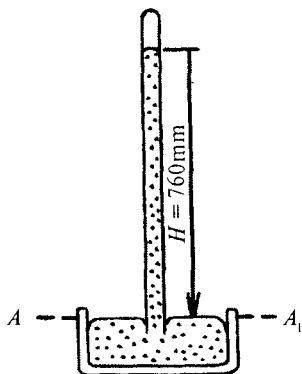
$$\rho_s gSh_2 = P \quad \text{yoki} \quad \rho_s gV_2 = P, \quad (169)$$

bunda $Sh_2 = V_2$ jismning suyuqlikka botib turgan qismining hajmi (142- rasm).

Shunday qilib, (169) ifodadan ko'rinadiki, suzib yuruvchi jismning og'irligi hamma vaqt shu jism siqib chiqargan suyuqlik og'irligiga teng bo'lar ekan.



142- rasm.



143- rasm.

83- §. Atmosfera bosimi. Torrichelli tajribasi

Yerni o‘rab turgan havo qatlami *atmosfera* deyiladi.

Yer atmosferasi o‘zining hozirgi tarzida ayni bir vaqtda ikki sababning borligi tufayli mavjuddir: 1) hamma jismlar kabi havoning tarkibiga kiruvchi gaz molekullari ham Yerga tortiladi; 2) gaz molekullari uzluksiz va tartibsiz (xaotik) harakatda bo‘ladi (90- § q.). Agar og‘irlik kuchi bo‘lmay, faqat molekulyar harakat mavjud bo‘lganda edi, molekullar butun olam fazosi bo‘ylab tarqalib ketgan bo‘lar edi. Agar molekullarning tartibsiz harakati bo‘lmaganda edi, ularning hammasi og‘irlik kuchi ta‘sirida Yerga „qulab tushar“ va butun havo Yer sirti yaqinida yupqa qatlam hosil qilib to‘plangan bo‘lar edi.

Molekullarning tartibsiz harakati va ularga og‘irlik kuchining ta‘sir qilishi natijasida gaz molekullari Yer atrofidagi fazoda atmosfera qatlamini hosil qiladi.

O‘lchashlar atmosferani hosil qilgan gazlar unda Yer sirtidan yuqoriga ko‘tarilgan sari zichligi tobora kamayib boradigan holda taqsimlanishini ko‘rsatadi. Eng yuqori qatlamlarda (Yer sirtidan minglab kilometr balandlikda) atmosfera asta-sekin havosiz fazoga o‘tadi. Atmosferaning aniq chegarasi yo‘q.

Atmosfera ham Yer sirtiga va undagi jismlarga bosim ko‘rsatadi. Atmosfera bosimini birinchi bo‘lib 1643- yilda italyan olimi E. Torrichelli tajriba yo‘li bilan aniqlagan. Torrichelli o‘z

tajribasini quyidagicha o'tkazgan. Bir uchi kavsharlangan, uzunligi bir metr, ko'ndalang kesimi 1 sm^2 bo'lgan shisha nay olib, uni simob bilan to'ldirgan. So'ngra nayning ochiq uchini barmog'i bilan qattiq berkitib, uni simobli kosaga to'nkargan va simob ichida nayning uchini ochgan. Bunda naydagi simobning bir qismi kosaga oqib tushadi va nayning yuqori uchida *Torrichelli bo'shlig'i* deb ataladigan havosiz fazo hosil bo'ladi (143- rasm).

Kosadagi simob sirtiga ko'rsatilayotgan atmosfera bosimi nayda qolgan simob ustuni bosimi bilan muvozanatlashgan vaqtda naydan simobning oqib chiqishi to'xtaydi. Demak, Paskal qonuniga binoan, kosadagi simobning AA_1 sathida naydagi simobning bosimi ham atmosfera bosimiga teng bo'ladi. Ammo nayning yuqori qismida havo yo'q. (Aslida bunday emas: bu sohada simob bug'lari mavjud, lekin bug'ning zichligi juda oz bo'lgani uchun uning bosimini hisobga olmasa ham bo'ladi). Shuning uchun naydagi simobning AA_1 sathidagi bosimi faqat naydagi shu simob ustuni og'irligi tufayli yuzaga keladi. Binobarin, simob ustuni balandligini o'lchab, atmosfera bosimini hisoblash mumkin.

Kuzatishlar dengiz sathi balandligidagi joylarda atmosfera bosimi o'rta hisobda balandligi 760 mm bo'lgan simob ustunining bosimiga teng bo'lishini ko'rsatadi. Joy dengiz sathidan qancha baland bo'lsa, u yerda bosim shuncha kam bo'ladi. Chunki havo qatlami Yer sirtidan qancha baland joylashgan sari, u shuncha kam siqilgan va zichligi ham shuncha kichik bo'ladi.

Atmosfera bosimi ham bosim birliklarida o'lchanadi (75- § ga q.).

0°C temperaturada balandligi 760 mm ga teng bo'lgan simob ustunining bosimiga teng atmosfera bosimini *normal atmosfera bosimi* deyiladi. Bu bosim necha Pa ekanini aniqlash uchun balandligi $h = 760 \text{ mm} = 0,76 \text{ m}$ va asos yuzi $S = 1 \text{ sm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$ bo'lgan simob ustunining og'irligini hisoblaylik:

$$P = mg = V\rho g = hS\rho g,$$

bunda $V = hS$ — simobning hajmi, ρ — zichligi, $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ga teng, binobarin,

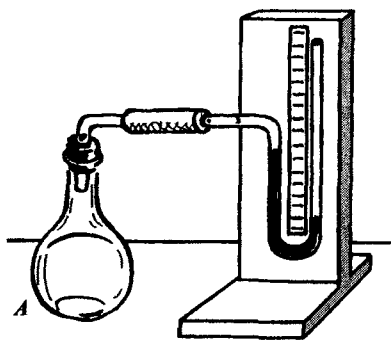
$$p = 0,76\text{m} \cdot 10^{-4} \text{m}^2 \cdot 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1,013 \cdot 10^5 \text{Pa}.$$

Demak, normal atmosfera bosimi $p = 1,013 \cdot 10^5 \text{Pa}$ ga teng kan.

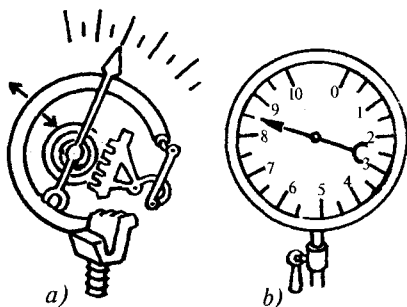
84- §. Bosimni o'lchash

Berk idishlardagi bosimni o'lchashga mo'ljallangan asboblardan *manometrlar* deyiladi. Suyuqlikli manometrlar va metall manometrlar mavjud. Suyuqlikli manometrlarning asosida tutash idishlarning xossalari va suyuqlikning og'irlik kuchi ta'siridagi gidrostatik bosimi yotadi. Suyuqlikli manometrlar ma'lum bir sathgacha bir jinsli suyuqlik (odatda simob yoki suv) bilan to'ldirilgan U- simon naydan iborat bo'lib, nayning bir uchi bug' yoki gazning bosimi o'lchanayotgan A idishga tutashtirilgan bo'ladi (144- rasm). Naylardagi mm yoki sm larda o'lchangan suyuqlik ustunlari bosimlarning farqi idishdagi bosim atmosfera bosimidan qancha kattalikka ko'p yoki kam ekanini bildiradi. Suyuqlikning zichligini bilgan holda bu bosimlar farqini bosimning birliklarida ifodalash mumkin. Masalan, balandligi 1 mm bo'lgan suv ustunining bosimiga teng bo'lgan bosimni Pa larda qanday ifodalanishini ko'raylik. (Suvning zichligi

$$\rho = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.)$$



144- rasm.



145- rasm.

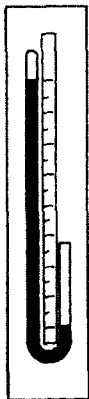
$$p = \rho gh = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10^{-3} \text{ m} = 9,8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 9,8 \text{ Pa}.$$

Suyuqlikli manometrlar kichik bosimlarni o'lchashda ishlatiladi. Katta bosimlarni o'lchash uchun turli metall manometrlardan foydalaniladi. 145- rasmda metall manometrlardan birining tuzilishi (a) va tashqi ko'rinishi (b) tasvirlangan. Bunday manometrning muhim qismi yoy shaklida egilgan metall (jez) nay bo'lib, uning bir uchi berkitib qo'yilgan. Nayning ikkinchi uchi jo'mrak orqali bosimi o'lchanadigan idishga tutashiriladi. Bosim ortganda nay to'g'rilana boshlaydi va uning berk uchining harakati richag va tishli g'ildirak orqali bosim birliklarida darajalangan asbob shkalasi ustida harakatlanuvchi strelkaga uzatiladi. Bosim kamayganda nay elastikligi tufayli o'zining dastlabki vaziyatiga, strelka esa shkalaning nolinchi chizig'iga qaytadi.

Atmosfera bosimini o'lchashda ishlatiladigan asboblari *barometrlar* deb ataladi. Simobli va metall barometrlar mavjud. Torrichelli nayi eng sodda barometr bo'lib, unga simob ustunining balandligini o'lchash uchun shkala o'rnatilgan. Ba'zi barometrlarda simob ustunining balandligini aniq hisoblash uchun nayning ko'rinishi turlicha qilib yasaladi. 146- rasmda ana shunday barometrlardan biri tasvirlangan. Atmosfera bosimini muvozanatlovchi simob ustunining balandligi barometrning ochiq va berk

tirsaklaridagi simob sathlarining farqi bilan aniqlanadi.

Atmosfera bosimini o'lchash uchun ishlatiladigan metall barometrlarni *aneroidlar* deb ataladi. Aneroidning asosiy qismi Q quticha bo'lib, u yupqa elastik metall plastinka — M membrana bilan mahkam berkitilgan va ichidan havosi so'rib olingan (147- rasm). Membrananing elastikligini oshirish uchun uni to'lqinsimon qilib tayyorlanadi. Atmosfera bosimi qutichani ezib yubormasligi uchun membrana strelka biriktirilgan P prujina vositasida tashqariga tortib qo'yilgan. Atmosfera ta'sirida membrana bukiladi va prujinani tortadi, strelka o'ngga yoki chapga buriladi. Agar bunday



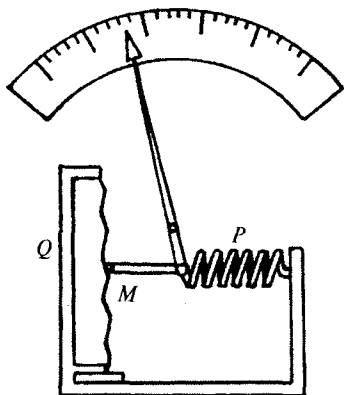
146- rasm.

asbobning shkalasi balandlik bo'yicha metrlarda darajalangan bo'lsa, u holda atmosfera bosimining kamayishi bo'yicha balandlikni o'lchaydigan asbob — *alimetr*ga ega bo'lamiz.



Takrorlash uchun savollar

1. Bosim kuchi deb nimaga aytiladi? Bosim deb-chi? Ularning farqi nimada?
2. Bosimning birliklarini va ular orasidagi bog'lanishni ayting.
3. Paskal qonunini ta'riflang.
4. Gidravlik pressning tuzilishini va ishlash prinsipini tushuntiring.
5. Hidrostatik bosim deganda nimani tushunasiz, uning formulasini keltirib chiqaring.
6. Hidrostatik paradoksni siz qanday tushuntirasiz?
7. Tutash idishlar qanday tuzilgan? Misollar keltiring.
8. Atmosfera nima?
9. Tutash idishlar qonunini ta'riflang.
10. Arximed qonunini ta'riflang.
11. Jismlarning suzish shartlarini tushuntiring.
12. Suyuqlikli va metall manometrlarning tuzilishini va qo'llanishini tushuntiring.
13. Simobli va metall barometrlarning tuzilishini va qo'llanishini tushuntiring.



147- rasm.



Masala yechish namunalari

1- masala. To'g'ri burchakli parallelepiped shaklidagi idishga bir xil og'irlikda simob va suv solingan. Simob qatlamining balandligi 12 sm ga teng. Suv qatlamining balandligini, idish tubiga va idish tubidan 6 sm balandlikda idish devoriga bo'lgan bosimni toping.

Berilgan: $P_1 = P_2$, $\rho_1 = 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, $\rho_2 = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, $h_1 = 12 \text{ sm} = 0,12 \text{ m}$, $h = 6 \text{ sm} = 0,06 \text{ m}$.

Topish kerak: $h_2 - ?$, $p - ?$, $p' - ?$

Yechilishi. Simob qatlamining idish tubiga ko'rsatayotgan bosim kuchi simob og'irligiga teng, ya'ni

$$F_1 = P_1 = \rho_1 g V_1 = g S \rho_1 h_1,$$

bu yerda S — idish tubining yuzi, V_1 — simobning hajmi.

Suv qatlamining idish tubiga ko'rsatayotgan bosim kuchi suvning og'irligiga teng, ya'ni

$$F_2 = P_2 = \rho_2 g V_2 = g S \rho_2 h_2,$$

bu yerda V_2 — suvning hajmi, h_2 — suv sathining balandligi. Masalaning shartiga binoan $P_1 = P_2$, binobarin,

$$g S \rho_1 h_1 = g S \rho_2 h_2$$

deb yoza olamiz. Bundan suv qatlamining qalinligi

$$h_2 = \frac{\rho_1}{\rho_2} h_1$$

bo'ladi.

Idish tubiga ko'rsatilayotgan umumiy bosim har bir suyuqlik ko'rsatayotgan bosimlarning yig'indisiga teng bo'ladi. Masalaning shartiga asosan simobning bosimi suvning bosimiga tengligi kelib chiqadi.

$\left(\frac{F_1}{S} = \frac{F_2}{S}\right)$, demak, umumiy bosim bitta suyuqlik, masalan, simob bosimini ikkilangan qiymatiga teng bo'ladi, ya'ni

$$p = 2 p_1 = 2 \rho_1 g h_1.$$

Idish tubidan h balandlikda idish devoriga bo'lgan bosim h_2 balandlikdagi suv qatlamining bosimi bilan $h_1 - h$ ($h_1 > h$) balandlikdagi simob qatlamining bosimi yig'indisiga teng bo'ladi, ya'ni

$$p' = \rho_2 g h_2 + \rho_1 g (h_1 - h);$$

bu ifodaga h_2 ning ifodasini keltirib qo'ysak, u holda

$$p' = \rho_1 g (2h_1 - h)$$

ekani kelib chiqadi.

Hisoblash:

$$1) \quad h_2 = \frac{13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} 0,12 \text{ m} = 1,63 \text{ m};$$

$$2) p = 2 \cdot 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,12 \text{m} = 0,33 \cdot 10^5 \text{ Pa};$$

$$3) p' = 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (2 \cdot 0,12 - 0,06) \text{m} = 0,24 \cdot 10^5 \text{ Pa}.$$

2- masala. Birining diametri ikkinchisidan 4 marta katta bo'lgan ikkita tutash idishga simob solingan. Agar kichik diametrli idishga balandligi 70 sm bo'lgan suv solinsa, simob sathlari qancha o'zgaradi?

Berilgan: $d_1 = 4d_2$, $\rho_1 = 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, $\rho_2 = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$,
 $h = 70 \text{ sm} = 0,7 \text{ m}.$

Topish kerak: $\Delta h_1 - ?$ $\Delta h_2 - ?$

Yechilishi. Suv solingandan so'ng kichik diametrli idishdagi simobning sathi Δh_2 ga pastga, katta diametrli idishdagi simobning sathi esa Δh_1 ga yuqoriga tomon siljiydi (148- rasm). Sathlar orasidagi farq $\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2$ ga teng bo'ladi. Suyuqliklar muvozanatda turganda AA_1 sathda ikkala idishda ham bosim bir xil bo'ladi, binobarin,

$$\rho_1 g \Delta h = \rho_2 g h$$

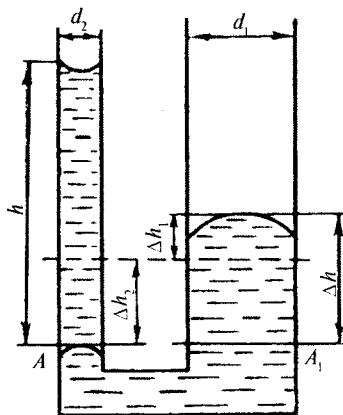
deb yoza olamiz. Bundan

$$\Delta h = \frac{\rho_2}{\rho_1} h \quad (a)$$

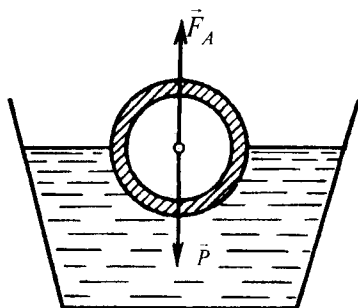
bo'ladi. Suyuqliklarning deyarli siqilmasligini nazarga olsak,

$$S_1 \Delta h_1 = S_2 \Delta h_2 \quad (b)$$

deb yozish mumkin, bu yerda



148- rasm.



149- rasm.

$$S_1 = \frac{\pi}{4} d_1^2 \quad \text{va} \quad S_2 = \frac{\pi}{4} d_2^2 \quad (d)$$

lar birinchi va ikkinchi idishlarning ko'ndalang kesimi yuzlari. Masalaning shartiga ko'ra $d_1 = 4d_2$ ekanini e'tiborga olib, (a) (b) va (d) tenglamalarni birgalikda yechsak,

$$\Delta h_1 = \frac{\rho_2 h}{17\rho_1} \quad \text{va} \quad \Delta h_2 = \frac{16\rho_2 h}{17\rho_1}$$

ifodalarni hosil qilamiz.

$$\text{Hisoblash: } \Delta h_1 = \frac{1 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,7\text{m}}{17 \cdot 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,003\text{m},$$

$$\Delta h_2 = \frac{16 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,7\text{m}}{17 \cdot 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,048\text{m},$$

3- masala. Ruxdan ichi g'ovak qilib yasalgan va tashqi hajmi 300 sm^3 bo'lgan shar suvda yarmi botgan holda suzib yuribdi (149- rasm). Sharning ichki qismi (g'ovak)ning hajmini toping.

$$\text{Berilgan: } V_1 = 300 \text{ sm}^3 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3, \quad \rho_1 = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3},$$

$$\rho_2 = 7,1 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Topish kerak: V_2 — ?

Yechilishi. Sharga $p = \rho_2 g(V_1 - V_2)$ ga teng bo'lgan og'irlik kuchi va

$F_A = \rho_1 \cdot g \frac{V_1}{2}$ ga teng bo'lgan Arximed kuchi ta'sir qiladi, bu yerda V_2 — g'ovakning hajmi, $(V_1 - V_2)$ — sharning rux egallagan qismining hajmi, $\frac{V_1}{2}$ — shar siqib chiqargan suvning hajmi (g'ovakdagi havoning og'irligini hisobga olmaymiz).

Shar suvda muvozanatda bo'lgani sababli

$$F_A = P \quad \text{yoki} \quad \rho_1 g \frac{V_1}{2} = \rho_2 g(V_1 - V_2)$$

deb yoza olamiz. Bu munosabat sharning suvda suzish shartini ifodalaydi. Undan V_2 ni topsak,

$$V_2 = V_1 \left(1 - \frac{\rho_1}{2\rho_2} \right)$$

ifoda hosil bo'ladi.

Hisoblash:

$$V_2 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \left(1 - \frac{10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2 \cdot 7,1 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \right) = 2,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3.$$



Mustaqil yechish uchun masalalar

89. Hidravlik pressda kichik porshenning yuzi 6 sm^2 , katta porshenning yuzi esa 600 sm^2 . Kichik porshenga 400 N kuch, kattasiga $36\,000 \text{ N}$ kuch ta'sir etadi. Bu press kuchdan qancha yutuq beradi? Ishqalanish bo'lmaganda-chi?

90. Yuzi 250 sm^2 bo'lgan nasos porsheniga suyuqlikning ko'rsatayotgan bosimi $12 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ga teng bo'lsa, bosim kuchini muvozanatlovchi kuch qanday bo'ladi?

91. Suv, spirt va simobda $0,5 \text{ m}$ chuqurlikda bosimni aniqlang. (Spirtning zichligi $800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ga teng.)

92. Suvning erkin sirtiga bo'lgan atmosfera bosimi balandligi 760 mm bo'lgan simob ustunining bosimiga teng bo'lsa, suvda qanday chuqurlikda bosim $5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ bo'ladi?

93. Suv havzasida suv sirtidan 10 m chuqurlikkacha oraliqda bosimning taqsimlanish grafisini chizing. Atmosfera bosimi $0,973 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ga teng deb oling.

94. Idishdagi bosim $266,6 \text{ Pa}$ ga o'zgarsa, unga ulangan suvli manometrning ochiq tirsagidagi suv sathi qanchaga siljiydi?

95. Tutash idishlarda balandligi $10,35 \text{ sm}$ bo'lgan suv ustuni balandligi $11,5 \text{ sm}$ bo'lgan mineral moy ustuni bilan muvozanatlashib turibdi. Shu moyning zichligini aniqlang.

96. Tutash idishlarga dastlab simob quyildi, so'ngra idishlardan biriga 48 sm balandlikda moy, ikkinchisiga esa 20 sm balandlikda kerosin quyildi. Tutash idishlarda simob sathlari orasidagi farqni aniqlang.

97. Barometr tog' etagida $1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ni, tog' cho'qqisida esa $0,962 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ni ko'rsatadi. Tog'ning balandligi qancha?

98. Massasi 140 g bo'lgan shisha parchasining suvdagi og'irligi $0,82 \text{ N}$ ga teng. Shishaning zichligi qanday?

99. Agar og'irligi 7,8 N bo'lgan metall parchasining suvdagi og'irligi 6,8 N ga, benzindagi og'irligi 7,1 N ga teng bo'lsa, benzinning zichligi qanday?

100. Suvdagi hajmi $0,5 \text{ m}^3$ bo'lgan qarag'ay g'o'lasi 70 kg massali odamni ko'tarib tura oladimi? Qarag'ayning zichligi $440 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ga teng.

101. Og'irligi 750 N bo'lgan odamni ko'tarib tura oladigan 50 sm qalinlikdagi yassi muzning sirti eng kamida qanday bo'lishi mumkin?

Muzning zichligi $0,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ga teng.

85- §. Suyuqlik va gazlarning oqishi. Uzluksizlik tenglamasi

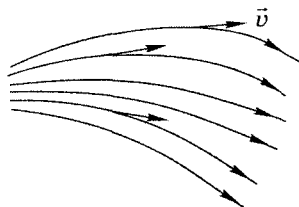
Fizikaning suyuqlik harakatini o'rganadigan bo'limi *gidrodinamika* deb, gazlar harakatini o'rganadigan bo'limi *aerodinamika* deb ataladi.

Suyuqlik (yoki gazning) harakatini o'rganishda ma'lum sharoitlarda suyuqlik oqishini „ideal“ suyuqlikning oqishi deb tasavvur qilish mumkin. Ideal suyuqlik deganda qovushoqligi bo'lmagan, siqilmaydigan suyuqlik tushuniladi. Ravshanki, bunday suyuqlik tabiatda mavjud emas. Lekin tayinli bir sharoitda real suyuqliklar (tabiatda mavjud suyuqliklar)ning xossalari ideal suyuqliklarning xossalariга ozmi-ko'pmi yaqinlashib boradi.

Oqayotgan suyuqlik (yoki gaz) har bir zarrasining harakatiga tezlikning biror qiymati mos keladi, ya'ni har bir zarra o'z tezlik vektoriga ega bo'ladi. Shu ma'noda butun suyuqlikni *tezlik vektori maydoni* deb atash qabul qilingan. Bu maydonni quyidagicha tasvirlash mumkin. Harakatlanayotgan suyuqlikda shunday chiziqlar o'tkaziladiki, bu chiziqlarning har bir nuqtasidan o'tkazilgan urinma suyuqlikning shu nuqtadagi zarrasi tezligining yo'nalishi bilan ustma-ust tushsin (150- rasm). Bunday chiziqlar *oqim chiziqlari* deb ataladi. Oqim chiziqlarining quyugligini suyuqlikning tezligiga proporsional qilib chizishga kelishilgan. Demak, suyuqlikning oqish tezligi katta bo'lgan joylarda oqim chiziqlarini zichroq qilib, tezlik kichik bo'lgan joylarda esa siyrakroq qilib o'tkaziladi.

Agar harakatlanayotgan suyuqlik tezligi qaralayotgan hajmning har bir nuqtasida vaqt o'tishi bilan o'zgarmasa, suyuq-

likning bunday harakati *barqaror* (*statsionar*) harakat deyiladi. Bu holda oqim chiziqlari ham o'zgarmaydi va suyuqlikning ayni shu vaqtda biror oqim chizig'ida bo'lgan zarrasi hamma vaqt shu chiziqda yotadi. Boshqacha aytganda, *barqaror harakatda suyuqlik zarralarining trayektoriyasi oqim chiziqlari bilan mos tushadi.*



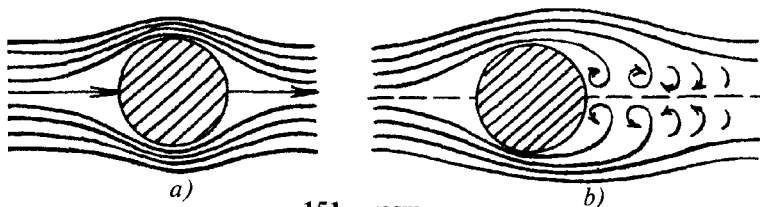
150- rasm.

Suyuqlikning (yoki gazning) ikki xil: *laminar* va *turbulent* oqimi kuzatiladi. Ba'zi hollarda suyuqlik go'yo aralashmasdan bir-biriga nisbatan sirpanayotgan qatlamlarga ajralgan holda oqadi. Bunday oqishni laminar (qatlam-qatlam) oqim deyiladi. Laminar oqimga, masalan, rangli suyuqlik oqimini kiritsak, shu oqimning butun uzunligi davomida yoyilmasdan oqadi. Bunga sabab laminar oqimda suyuqlik zarralari bir qatlamdan boshqa qatlamga o'tmaydi. Laminar oqim barqaror oqimdir.

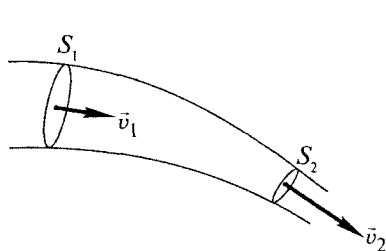
Oqimning tezligi yoki ko'ndalang kesimi o'zgarsa, oqish xarakteri o'zgaradi, suyuqlik intensiv aralasha boshlaydi, uyurmalar hosil bo'ladi. Bunday oqim turbulent oqim deyiladi. Turbulent oqim barqaror emas, bunday oqim vaqtida zarraning tezligi har bir berilgan joyda doim tartibsiz ravishda o'zgarib turadi. Agar turbulent oqimga rangli suyuqlik qo'shilsa, u holda suyuqlik qo'shilgan joydan uzoqqa bormasdan oqimning butun kesimi bo'ylab tarqalib ketadi.

151- rasmda suyuqlikning uzun silindr atrofidan oqib o'tishidagi laminar va turbulent oqimlar tasvirlangan. 151- *a* rasmda suyuqlik oqimi silindrning butun sirtidan kichik tezlik bilan sirpanib o'tayotganida oqim chiziqlari silindrning atrofidan o'tib, uning old tomonida qanday joylashgan bo'lsa, orqa tomonida ham shunday joylashishi tasvirlangan. Ravshanki, bu laminar oqimdir. 151- *b* rasmda suyuqlik oqimining silindrning butun sirtidan sirpanib o'tish tezligi ortgan sari silindrning orqa tomonida uyurmalar hosil bo'lishi tasvirlangan. Bunday oqim turbulentdir.

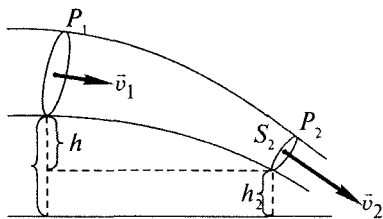
Suyuqlikning oqim chiziqlari bilan o'ralgan qismi *oqim nayi* deyiladi. Oqim chiziqlari o'zaro kesishishmasligi sababli suyuqlik



151- rasm.



152- rasm.



153- rasm.

zarralari harakat vaqtida oqim nayining yon sirtidan hajm ichkari-siga ham, hajm tashqarisiga ham o'ta olmaydi.

Biror oqim nayini olib, uning oqish tezligiga tik bo'lgan ixtiyoriy ikki S_1 va S_2 kesimlarini tanlaylik (152- rasm). Suyuqlikning S_1 kesim o'tkazilgan joydagi tezligi \bar{v}_1 , S_2 kesim o'tkazilgan joydagi tezligi esa \bar{v}_2 bo'lsin. Suyuqlik siqilmagani, uzilmagani va nayning yon tomonidan o'tib ketmagani uchun Δt vaqt oralig'ida bu kesimlardan bir xil hajmdagi, demak, bir xil massali suyuqlik oqib o'tadi. S_1 kesimdan o'tayotgan suyuqlik hajmi asosi S_1 va balandligi $v_1 \cdot \Delta t$ bo'lgan silindrning hajmiga, ya'ni $S_1 v_1 \Delta t$ ga, S_2 kesimdan o'tayotgan suyuqlik hajmi esa $S_2 v_2 \Delta t$ ga teng. Demak, $S_1 v_1 = S_2 v_2$ bo'ladi. Kesimlar ixtiyoriy tanlangani uchun

$$Sv = \text{const} \quad (170)$$

deb yozish mumkin. (170) munosabat oqimning *uzluksizligi tenglamasi* deyiladi va shunday ta'riflanadi: *qovushoq bo'lmagan siqilmaydigan suyuqlikning berilgan oqim nayi uchun nay ko'ndalang kesimi yuzining suyuqlikning oqish tezligiga ko'paytmasi o'zgarmas kattalikdir.*

Bu tenglama faqat oqim nayi uchungina emas, har qanday real truba, daryoning o'zani va boshqalar uchun ham o'rinlidir.

86- §. Harakatlanayotgan suyuqlik va gazlarda bosim. Bernulli tenglamasi

Biror moddiy truba bo'yicha qovushoq bo'lmagan va siqilmaydigan suyuqlik oqayotgan bo'lsa, shu trubaning o'zini oqim nayi deb olish mumkin. Agar trubaning kesimlari uning turli joylarida turlicha bo'lsa, uzluksizlik teoremasiga ko'ra, trubaning kengroq bo'lgan joylarida suyuqlik sekinroq oqadi, torroq bo'lgan joylarida esa tezroq oqadi.

Oqim yo'nalishi bo'yicha borgan sari torayib boruvchi oqim nayini ko'z oldimizga keltiraylik. Suyuqlik nayning torroq qismiga yaqinlasha borgan sari uning tezligi orta boradi, suyuqlik tezlanish oladi. Bundan kelib chiqadiki, nayning torroq qismiga kirib borayotgan suyuqlikka nayning kengroq qismidagi suyuqlik tomonidan biror kuch ta'sir etadi. Suyuqlik ichida hosil bo'ladigan bunday kuch faqat bosimning nayning turli joylarida turlicha bo'lishi hisobiga vujudga kelishi mumkin. Kuch oqim nayining kengroq qismidan torroq qismiga tomon yo'nalgan ekan, bundan, oqim nayining torroq joylaridagi bosimga nisbatan kengroq joylardagi bosim katta bo'ladi, degan xulosaga kelamiz.

Oqim bo'ylab suyuqlik tezligining o'zgarishi bilan bosimning o'zgarishi orasida qanday bog'lanish borligini aniqlaylik. Shu maqsadda oqayotgan suyuqlikning biror Δm massasini fikran ajratib olaylik. Bu massa dastlab oqim nayining S_1 kesimi orqali, so'ng S_2 kesimi orqali o'tadi (153- rasm), suyuqlikning ko'chirilishida ish bajariladi, chunki unga kuch ta'sir etadi. Energiyaning saqlanish qonuniga asosan bajarilgan ish Δm massaning S_1 kesim o'tkazilgan joydagi E_1 to'la energiyasi bilan S_2 kesim o'tkazilgan joydagi E_2 to'la energiyasi ayirmasiga teng:

$$A = E_2 - E_1. \quad (171)$$

E_1 va E_2 energiyalar Δm suyuqlik massasining kinetik va potensial energiyalaridan iborat:

$$E_1 = \frac{\Delta m v_1^2}{2} + \Delta m g h_1 \quad \text{va} \quad E_2 = \frac{\Delta m v_2^2}{2} + \Delta m g h_2, \quad (172)$$

bu yerda h_1 va h_2 lar mos ravishda S_1 va S_2 kesimlar joylashgan balandlikni bildiradi.

Oqim nayining S_1 yoki S_2 kesimlari orqali suyuqlikning Δm massasi oqib o'tishi uchun ketgan vaqt Δt bo'lsin. Bu Δt vaqt ichida S_1 kesimdan Δm massa oqib o'tishi uchun o'sha joyda suyuqlik $\Delta l_1 = v_1 \Delta t$ masofaga, S_2 kesim o'tkazilgan joyda esa $\Delta l_2 = v_2 \Delta t$ masofaga siljishi kerak. Ajratilgan suyuqlik qismining ikki uchiga ta'sir qiluvchi kuchlar mos ravishda $F_1 = p_1 S_1$ va $F_2 = -p_2 S_2$ bo'ladi, bunda p_1 va p_2 lar mos ravishda suyuqlikning S_1 va S_2 yuzalardagi bosimlari, minus ishora F_2 kuch oqim yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalganligini bildiradi. Shunday qilib, suyuqlikning oqim bo'ylab Δt vaqt ichida ko'chishida bajarilgan ish quyidagicha ifodalanadi:

$$A = F_1 \Delta l_1 + F_2 \Delta l_2 = p_1 S_1 v_1 \Delta t - p_2 S_2 v_2 \Delta t.$$

E_1 , E_2 va A uchun topilgan qiymatlarni (171) tenglikka keltirib qo'ysak, u holda

$$\frac{\Delta m v_2^2}{2} + \Delta m g h_2 - \frac{\Delta m v_1^2}{2} - \Delta m g h_1 = p_1 S_1 v_1 \Delta t - p_2 S_2 v_2 \Delta t$$

yoki

$$\frac{\Delta m v_1^2}{2} + \Delta m g h_1 + p_1 S_1 v_1 \Delta t = \frac{\Delta m v_2^2}{2} + \Delta m g h_2 + p_2 S_2 v_2 \Delta t. \quad (173)$$

Oqimning uzluksizligi haqidagi qonunga ko'ra, $\Delta V = S_1 v_1 \Delta t = S_2 v_2 \Delta t$ va bu Δm massali suyuqlikning hajmidir. (173) ning o'ng va chap qismlarini ΔV hajmga bo'lib, $\frac{\Delta m}{\Delta V} = \rho$ — suyuqlikning zichligi ekanligini e'tiborga olsak, u holda

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 + p_2 \quad (174)$$

bo'ladi. S_1 va S_2 kesimlar ixtiyoriy tanlangan edi, shuning uchun (174) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho g h + p = \text{const.} \quad (175)$$

(174) va (175) formulalar *Bernulli tenglamasi* deb ataladi, bu yerda: p — *statik bosim*; $\frac{\rho v^2}{2}$ — *dinamik bosim*; $\rho g h$ — *gidrostatik bosim* deyiladi. Demak, Bernulli tenglamasini (aniq-

rog'i teoremasini) shunday ta'riflash mumkin: *siqilmaydigan ideal suyuqlikning barqaror oqimida dinamik, gidrostatik va statik bosimlarning yig'indisidan iborat to'la bosim oqimning har qanday kesimida o'zgarmasdir.*

Bernulli va uzluksizlik tenglamalarini faqat suyuqliklar uchungina emas, balki gazning siqilishini va qovushoqligini nazarga olmasa bo'ladigan hollarda gazlarga ham tatbiq qilish mumkin. Aniqlanishicha, gazning harakat tezligi uncha katta bo'lmagan hollarda tatbiq qilish mumkin ekan. Bunday tezliklarda gazlarda katta ichki ishqalanish kuchlari paydo bo'lmaydi. Gazning harakat tezligi tovushning ana shu gazda tarqalish tezligidan kichik bo'lgan hollarda gazning siqilishini nazarga olmaslik mumkinligini nazariya va tajriba ko'rsatadi. Shuning uchun $150 - 200 \frac{m}{s}$ dan ortmaydigan tezliklarda (tovushning havoda tarqalish tezligi $340 \frac{m}{s}$) harakatlanuvchi havoni bimalol siqilmaydigan ideal suyuqlik deb hisoblash va unga uzluksizlik tenglamasini va Bernulli tenglamasini tatbiq etish mumkin.

87- §. Qovushoq suyuqlikning oqishi. Puazeyl qonuni

Ideal suyuqliklar va ideal gazlar tabiatda mavjud emas. Borliqdagi barcha real suyuqliklar va gazlarga ko'p yoki oz darajada qovushoqlik (yopishqoqlik yoki ichki ishqalanish) xosdir.

Suyuqliklarning qovushoqligi ular molekulalarining o'zaro tutinishidan yuzaga keladi. Laminar oqimda suyuqlik qatlam-qatlam bo'lib oqadi. Suyuqlikning bir qatlami ikkinchi qatlamiga nisbatan ko'chganda ozmi-ko'pmi ishqalanish kuchlari vujudga keladi. Bu hodisani quyidagicha tushunish lozim.

Suyuqlikning tezroq harakatlanayotgan qatlami o'ziga yondoshgan qo'shni qatlamni o'ziga ergashtirib ketishga intiladi, bu qatlamning harakatini tezlatishga harakat qiladi, go'yo unga tezlantiruvchi kuch ta'sir qilayotgandek bo'ladi. Va aksincha, sekinroq harakat qilayotgan qatlam tomonidan tezroq harakat qilayotgan qatlamga sekinlantiruvchi kuch ta'sir etadi. Bu kuchlarni *ichki ishqalanish kuchlari* deb ataladi. Ichki ishqalanish kuchlari Nyuton qonuni bilan ifodalanadi:

$$F_{\text{ishq.}} = -\eta \frac{\Delta v}{\Delta l} \cdot S, \quad (176)$$

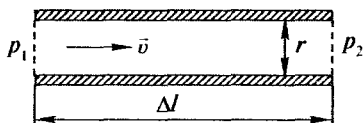
bu yerda $\frac{\Delta v}{\Delta l}$ nisbat *tezlik gradiyenti* deb ataladigan kattalik bo'lib, u suyuqlik oqimi tezligining bir birlik masofadagi o'zgarishini bildiradi, S — suyuqlik qatlamlarining bir-biriga tegib turgan yuzasining kattaligi, η — suyuqlikning *qovushoqlik* (yoki *yopishqoqlik*, yohud *ichki ishqalanish*) koeffitsienti deb ataladigan fizik kattalik, „minus“ ishora esa ichki ishqalanish kuchlari tezlik gradiyentiga teskari yo'nalishda (tezlikning kamayib borishi yo'nalishida) ta'sir etishini bildiradi. Suyuqlikning qovushoqlik koeffitsienti uning tabiatiga va temperaturaga juda bog'liq bo'ladi. Tajribalarning ko'rsatishicha, temperatura ortishi bilan suyuqlikning qovushoqlik koeffitsienti kamayib boradi, biroq gazlarning qovushoqligi temperatura ortishi bilan bir oz bo'lsa ham ortib boradi. Bu hol suyuqlik va gazlarda qovushoqlikni yuzaga keltiradigan sabablar turlicha ekanligi bilan tushuntiriladi.

Suyuqliklarning qovushoqligi gazlarning qovushoqligidan bir necha marta katta bo'ladi. Qovushoqlik tufayli suyuqlikning trubadan (yoki boshqa o'zandan) oqishi qiyinlashadi, uning oqim tezligi kamayadi.

1841- yili fransuz fizigi Puazeyl quyidagi qonunni kashf etdi: *suyuqlikning truba bo'ylab laminar oqimining o'rtacha tezligi suyuqlikning bosimi gradiyentiga, trubaning radiusiga to'g'ri proporsional, suyuqlikning qovushoqlik koeffitsientiga teskari proporsionaldir.*

154- rasmda suyuqlik oqayotgan trubaning Δl uzunlikdagi qismi tasvirlangan. Trubaning radiusi r , suyuqlikning oqim tezligi v , bosimlari farqi $\Delta p = p_1 - p_2$ bo'lsa, Puazeyl qonunining matematik ifodasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$v = -\frac{\Delta p}{\Delta l} \frac{r^2}{8\eta}, \quad (177)$$



154- rasm.

bu yerda „minus“ ishora oqim tezligining bosim gradiyentiga teskari yo'nalganini ko'rsatadi.

Puazeyl qonunidan foydalanib, vaqtning biror Δt oralig'ida

trubadan o'qib o'tgan suyuqlikning ΔV hajmini aniqlash mumkin:

$$\Delta V = Sv\Delta t = \pi r^2 v \Delta t,$$

bu yerda $S = \pi r^2$ — trubaning ko'ndalang kesimi yuzi. Bu ifodaga (177) formuladan v ning qiymatini keltirib qo'ysak, u holda

$$\Delta V = -\frac{\pi r^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta l} \Delta t \quad (178)$$

munosabatni hosil qilamiz. (178) — *Puazeyl formulasi* deb ataladi. Puazeyl formulasining ahamiyati juda katta. Jumladan, naychadan o'qib o'tgan suyuqlikning ΔV hajmini, naychanning r ichki radiusini va Δl uzunligini tajribada o'lchab, kerakli suyuqlikning η qovushoqlik koeffitsientini aniqlash va hatto, uning temperaturaga qanday bog'lanishda ekanligini o'rganish mumkin.

88- §. Qovushoq suyuqlikda jismning harakati.

Stoks formulasi

Biror jism suyuqlik ichida harakatlanayotganda vujudga keladigan hodisalarni ko'rib chiqaylik. Shu maqsadda tinch turgan suyuqlik ichida jism harakatlanayapti, deyish o'rniga, aksincha, jism tinch turibdi, suyuqlik esa jism tashqarisidan tekis oqib o'tayapti, deb hisoblaymiz.

Jism qovushoq suyuqlik ichida harakatlanganida qarshilik vujudga keladi. Bu qarshilik ikki sababdan kelib chiqadi.

Birinchi sabab: jismning shakli suyuqlikning oqib o'tishi uchun qulay bo'lsa va uning harakat tezligi kichik bo'lsa, qarshilik bevosita suyuqlikning qovushoqligidan kelib chiqadi. Suyuqlikning jismga bevosita tegib turgan qatlami uning sirtiga yopishib oladi va u bilan birga harakatlanib, yondoshgan qo'shni qatlamlarni ichki ishqalanish tufayli ergashtirib ketadi. Jismning sirtidan uzoqlasha borgan sari qatlamlarning tezligi kamaya boradi va, nihoyat, jism sirtidan biror masofada suyuqlik jismning harakati ta'sirida to'lqinlanmaydi. Shunday qilib, jism tezlik gradiyentiga ega bo'lgan suyuqlik qatlami bilan o'ralib qoladi. Bu qatlamni *chegara qatlam* deyiladi. Chegara qatlamda qarshilik kuchlari hosil bo'ladi. Jismning harakat tezligi va o'lchamlari kichik bo'lganda Stoks

qarshilik kuchini aniqlagan va uning nomi bilan aytiladigan *Stoks qonunini* yaratdi. Bu qonun shunday ta'riflanadi: *qarshilik kuchi tezlikning birinchi darajasiga, qovushoqlik koeffitsientiga va jismning chiziqli o'lchamlariga to'g'ri proporsional bo'ladi.*

Qovushoq suyuqlik ichida harakatlanayotgan shar uchun, Stoks qonuniga ko'ra, qarshilik kuchi quyidagiga teng:

$$F = 6\pi\eta r v, \quad (179)$$

bu yerda η — suyuqlikning qovushoqlik koeffitsienti, r — sharning radiusi, v — sharning suyuqlik ichidagi harakat tezligi. (179) ifoda *Stoks formulasi* deb ataladi. Bu formulaga asoslanib, tajriba yo'li bilan suyuqliklarning qovushoqlik koeffitsientini aniqlash mumkin.

Stoks formulasi faqat sharlarning suyuqlik ichida tushishigina emas, balki mayda sharchalarning gaz muhiti ichida tushishiga tatbiq qilinishi mumkin. Bu holda gaz muhitni qovushoq suyuqlik deb qarash mumkin bo'ladi. Masalan, mayda tuman tomchilarining havoda tushishi tezligini shu usuldan foydalanib juda yaxshi aniqlash mumkin.

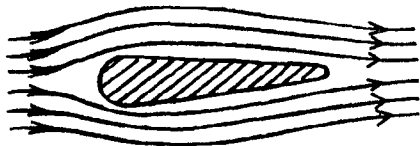
Ikkinchi sabab: qovushoq suyuqlik ichidagi qarshilik kuchlarining vujudga kelishining ikkinchi sababi oqimda uyurmalarining hosil bo'lishidir.

85- § da ko'rganimizdek, suyuqlikning jismning butun sirtini sirpanib o'tish tezligi kichik bo'lganda uyurmalar hosil bo'lmaydi. Tezlik orta borgan sari uyurmalar vujudga kela boshlaydi. Uyurmada aylanayotgan suyuqlik statsionar (laminar) oqimdagi suyuqlikka qaraganda tezroq harakat qiladi. Ammo bizga ma'lumki (86- § ga q.), suyuqlik qancha tez harakat qilsa, undagi bosim shuncha kam bo'ladi. Demak, jismning uyurma hosil qilgan orqa tomonidagi bosim old tomonidagi bosimga qaraganda kamroq bo'ladi. Harakatlanayotgan jismning old tomonidagi bosim bilan orqa tomonidagi bosim orasidagi farq jismning harakatiga ko'rsatiladigan qarshilikni yuzaga keltiradi.

O'lchashlar uyurmalar hosil bo'lishi bilan vujudga keladigan qarshilikka nisbatan suyuqlik yoki gazdagi ichki ishqalanish tufayli vujudga keladigan qarshilik ancha kam bo'lishini ko'rsatadi.

Shuning uchun katta tezliklarda keyingi qarshilikning ahamiyati bo'lmay qoladi.

Demak, suyuqlik yoki gazda harakatlanayotgan jismga ko'rsatilayotgan qarshilikning asosiy sababi harakatlanayotgan



155- rasm.

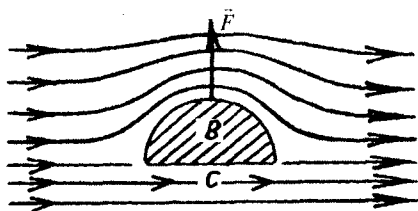
jismning orqasida uyurmalar hosil bo'lishidir. Shu sababli bu qarshilikni kamaytirish maqsadida jismga suyuqlikning uyurmalanishini yuzaga keltirmaydigan maxsus shakl beriladi. Tajribalarning ko'rsatishicha, jismning butun sirtini suyuqlik yoki gazning uyurmalar hosil qilmay sirpanib o'tishi uchun jism mumkin qadar silliqqlangan, chiqiq joylari bo'lmagan, old tomoni yumaloqlangan, orqa tomoni uchlik shaklda ishlangan bo'lishi kerak ekan. Suyri shakl bunday talablarni qondiradi (155-rasm).

Tegishli o'lchashlarning ko'rsatishicha, uyurmalarining vujudga kelishi bilan bog'liq bo'lgan qarshilik kuchi, tezlik uncha katta bo'lmaganda, tezlikning kvadratiga proporsional bo'ladi. Tezlik tovushning shu suyuqlik yoki gazdagi tezligiga yaqin bo'lganda qarshilik kuchi tezlikning kubiga, tovush tezligidan katta tezliklarda esa tezlikning kvadratiga proporsional bo'ladi.

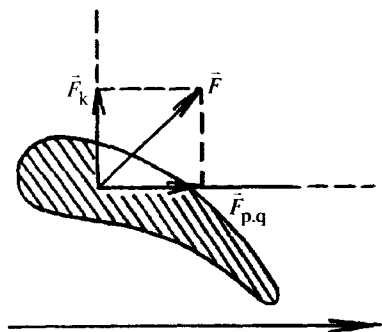
89- §. Samolyot qanotining ko'tarish kuchi

Yuqorida ko'rib o'tilganidek, oqim tezligi orta borgan sari suyuqlik va gazlarda uyurmalar vujudga kela boshlaydi. Jism harakatlanayotganda bajariladigan ishning bir qismi uyurmalarini vujudga keltirishga sarf bo'ladi. Suyuqlikda ichki ishqalanish mavjudligi sababli, uyurmalarining energiyasi pirovardida issiqlikka aylanadi. Bu hol kemasozlik va samolyotsozlikda maqsadga muvofiq emas, chunki energiya isrofi yuz beradi. Shuning uchun samolyotlarning korpusi va qanotlari, suvosti kemalar, kemalarining suvosti qismlari suyri shaklda quriladi.

Qovushoq bo'lmagan suyuqlik simmetrik jismni aylanib oqayotganida jismga ta'sir etuvchi kuchlarning yig'indisi nolga teng bo'ladi. Lekin qovushoq bo'lmagan suyuqlik nosimmetrik



156- rasm.



157- rasm.

jismni aylanib oqayotganida unga ta'sir qiladigan kuchlar yig'indisi nolga teng bo'lmaydi.

Bunga ishonch hosil qilish uchun, faraz qilaylik, cheksiz uzun yarim silindrni (simmetriyaga ega emas) suyuqlik aylanib o'tayotgan bo'lsin (156- rasm). Oqim chiziqlari jismning C sirtiga parallel bo'ladi va unga ta'sir qiladigan bosim p_c statik bosimga teng bo'ladi. Jismning B nuqtasiga yaqin sirtiga ko'rsatilayotgan p_B bosim kichikroq bo'ladi, chunki silindrning B sirti tomonida oqim tezligi kattalashadi. Demak, $p_c > p_B$ bo'ladi. Bu hol noldan farqli \vec{F} natijaviy kuchni yuzaga keltiradi. \vec{F} kuch qo'zg'atilmagan oqim chiziqlariga tik yo'nalgan bo'lib jismni shu yo'nalishda siljishga intiladi.

Agar qovushoq suyuqlik nosimmetrik jismni aylanib oqayotgan bo'lsa, jismga ta'sir qilayotgan kuch \vec{F} oqim chizig'iga tik bo'lmaydi, chunki qovushoqlik tufayli vujudga keladigan qarshilik kuchi bu kuchga qo'shiladi (157- rasm). Natijaviy \vec{F} kuchni ikkita tashkil etuvchiga ajratish mumkin. Ulardan biri $\vec{F}_{p,q}$ kuch oqim bo'yicha yo'nalgan bo'lib, *pehana qarshilik* deb ataladi, ikkinchisi \vec{F}_k kuch oqim chiziqlariga tik yo'nalgan bo'lib, *ko'tarish kuchi* deyiladi. Samolyot qanotining ishi shu kuchlarning mavjud bo'lishiga asoslangan.

Samolyotni havoda ko'tarib turuvchi kuch bu uning qanotlariga ta'sir etuvchi kuchdir. Peshana qarshilik samolyot uchishiga zararli ta'sir ko'rsatadi. Samolyotning qanotiga va fyuzelyajiga suyri shaklni berib, pehana qarshilikni kamaytiriladi. Peshana

qarshilikni parrakning tortish kuchi yengadi. Agar ko'tarish kuchi samolyotning og'irligidan katta bo'lsa, samolyot havoga ko'tariladi. Shu maqsadda qanotning profili (tik kesimi) yetarli kattalikda ko'taruvchi kuch yuzaga keltiradigan qilib yasaladi.

Samolyot qanoti ko'tarish kuchining nazariyasini birinchi marta rus olimi, aerodinamikaning asoschisi N.E. Jukovskiy ishlab chiqqan.



Takrorlash uchun savollar

1. Oqim chiziqlari deb nimaga aytiladi? Oqim nayi deb-chi?
2. Suyuqlikning barqaror harakati nimasi bilan xarakterli?
3. Suyuqlikning laminar oqimi deganda nimani tushunasiz? Turbulent oqimi deganda-chi?
4. Uzluksizlik tenglamasini yozing va fizik mazmunini tushuntiring.
5. Bernulli tenglamasini yozing. Bu tenglamaning ta'rifini bering.
6. Bernulli tenglamasini havo oqimiga qanday sharoitda tatbiq etish mumkin?
7. Ichki ishqalanish kuchlari qanday yuzaga keladi?
8. Ichki ishqalanish kuchlari uchun Nyuton qonunini yozing va tushuntiring.
9. Puazeyl qonunini yozing va tushuntiring.
10. Puazeyl formulasini yozing. Bu formuladan foydalanib tajribada qanday fizik kattalikni aniqlash mumkin?
11. Jism qovushoq suyuqlik ichida harakatlanganda vujudga keladigan qarshilik kuchining ikki sababini tushuntiring.
12. Stoks formulasini yozing va tushuntiring.
13. Nima uchun samolyotning fyuzelyaji (korpusi) va qanotlari suyri shaklda quriladi?
14. Samolyot qanotining ko'tarish kuchini tushuntiring.

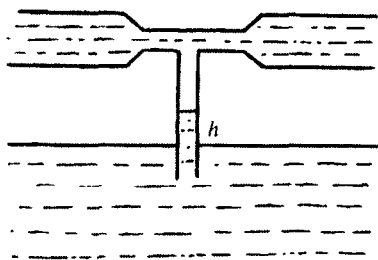


Masala yechish namunalari

1- masala. Gorizontaal trubaning keng qismining diametri 6 sm (158-rasm), bu qismda suvning tezligi $30 \frac{\text{sm}}{\text{s}}$, bosimi 1 atm. Shu trubaning diametri 2 sm bo'lgan tor qismiga kavsharlangan vertikal nayda suv qancha balandlikka ko'tariladi?

$$\text{Berilgan: } d_1 = 6 \text{ sm} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ m}, v_1 = 30 \frac{\text{sm}}{\text{s}} = 30 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}},$$

$$p_1 = 1 \text{ atm} = 1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}, d_2 = 2 \text{ sm} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}.$$



158- rasm.

Topish kerak: $h - ?$

Yechilishi. Bernulli tenglamasiga muvofiq:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2,$$

bu yerda ρ — suvning zichligi, v_2 — trubaning tor qismida suvning tezligi, p_2 — trubaning tor qismidagi (vertikal naydagi) bosimi. Vertikal naydagi bosim atmosfera bosimidan

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2}(v_2^2 - v_1^2) \quad (a)$$

kattalikka farq qiladi. Bosimning yetishmasligi vertikal naydagi suv ustuni bilan muvozanatlashadi. Bunday ustunning og'irligi ρShg ga teng, bu yerda S — vertikal nayning ko'ndalang kesimi. Shunday qilib,

$$\rho Shg = (p_1 - p_2)S$$

bo'ladi, bundan

$$h = \frac{p_1 - p_2}{\rho g}. \quad (b)$$

Uzluksizlik tenglamasiga muvofiq,

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \quad \text{yoki} \quad \frac{\pi d_1^2}{4} v_1 = \frac{\pi d_2^2}{4} v_2,$$

bu yerda S_1 va S_2 lar trubaning keng va tor qismlarining ko'ndalang kesimlari, v_2 — trubaning tor qismidagi suv tezligining qiymati yuqoridagi formulaga ko'ra:

$$v_2 = v_1 \frac{d_1^2}{d_2^2}. \quad (d)$$

(a) va (d) formulalardan foydalanib, (b) formulaga ko'ra, h uchun quyidagi munosabatni hosil qilamiz:

$$h = \frac{\frac{\rho}{2} \cdot (v_2^2 - v_1^2)}{\rho g} = \frac{1}{2g} \left(v_1^2 \frac{d_1^4}{d_2^4} - v_1^2 \right) = \frac{v_1^2}{2g} \left(\frac{d_1^4}{d_2^4} - 1 \right).$$

Hisoblash:

$$h = \frac{(0,3)^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \left(\frac{(6 \cdot 10^{-2})^4}{(2 \cdot 10^{-2})^4} - 1 \right) = 0,37 \text{ m}.$$

2- masala. Idishning yon sirtiga radiusi 1mm va uzunligi 1,5 sm bo'lgan kapillyar naycha o'rnatilgan. Idishga qovushoqligi $1 \frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}$ ga teng glitserin quyilgan. Idishdagi glitserinning sathi kapillyardan 0,18 m balandlikda o'zgarmas holda saqlanadi. Kapillyardan 5 sm^3 glitserin oqib chiqishi uchun qancha vaqt kerak bo'ladi?

Berilgan: $r = 1 \text{ mm} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $l = 1,5 \text{ sm} = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$, $\eta = 1 \frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}$,
 $h = 0,18 \text{ m}$, $V = 5 \text{ sm}^3 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$, $\rho_{\text{gl}} = 1,2 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Topish kerak: $t - ?$

Yechilishi. Puazeyl qonuniga ko'ra, kapillyar naydan t vaqt ichida laminar oqib chiqqan glitserinning hajmi

$$V = \frac{\pi r^4 \cdot t \cdot \Delta p}{8l \eta},$$

bu yerda r — kapillyar nayning ichki diametri, Δp — kapillyar nay uchlaridagi bosimlar farqi. Agar kapillyar uchlaridagi bosimlarni mos ravishda p_2 va p_1 bilan belgilasak, kapillyar naydan suyuqlik oqib chiqishi uchun $p_2 > p_1$ bo'lishi kerak (159- rasm). Bu bosimlarning $p_2 - p_1 = \Delta p$ farqi idishdagi glitserinning h balandlikdagi ustunining bosimiga teng bo'ladi, ya'ni

$$\Delta p = \rho_{\text{gl}} \cdot gh,$$

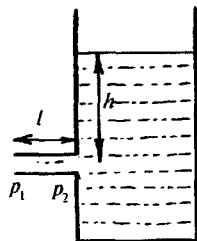
bu yerda ρ_{gl} — glitserinning zichligi. Demak,

$$V = \frac{\pi r^4 \cdot t \rho_{\text{gl}} gh}{8l \eta}, \text{ bundan } t = \frac{8V\eta}{\pi r^4 \rho_{\text{gl}} \cdot gh}.$$

Hisoblash.

$$t = \frac{8 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot 1 \frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}}{3,14 \cdot 1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^4 \cdot 1,2 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,18 \text{ m}} = 1,5 \text{ min}.$$

3- masala. Radiusi 0,5 mm bo'lgan shisha sharcha glitserin quyilgan katta idish ichida $5 \frac{\text{sm}}{\text{s}}$ barqaror tezlik bilan tushib bormoqda. Agar shishaning zichligi $2,7 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, glitserinning zichligi esa $1,2 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ bo'lsa, glitserinning qovushoqlik koeffitsientini aniqlang.



159- rasm.

Berilgan: $r = 0,5\text{mm} = 5 \cdot 10^{-4}\text{ m}$, $v = 5 \frac{\text{sm}}{\text{s}} = 5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$,

$$\rho_{\text{sh}} = 2,7 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad \rho_{\text{gl}} = 1,2 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Topish kerak: η — ?

Yechilishi. Shisha sharchaga uchta kuch: \vec{P} — og'irlik kuchi, \vec{F}_A — Arximed ko'tarish kuchi va \vec{F}_i — ishqalanish kuchi ta'sir qiladi (160-rasm). Bu kuchlar bir-birini to'la kompensatsiyalaganda sharchaning glitserindagi harakati barqaror bo'ladi. Masalaning shartidan kelib chiqib,

$$\vec{P} + \vec{F}_A + \vec{F}_i = 0$$

deb yoza olamiz, bu yerda sharchaning og'irligi $P = mg = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{\text{sh}} \cdot g$, Stoks qonuniga ko'ra, ishqalanish kuchi $F_i = 6\pi\eta r v$ va Arximed ko'tarish kuchi $F_A = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{\text{gl}} \cdot g$, ekanligini e'tiborga olsak, u holda quyidagi

$$\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{\text{sh}} g - 6\pi\eta r v - \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{\text{gl}} g = 0$$

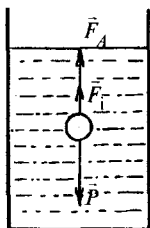
ifodaga ega bo'lamiz. Bu ifodani glitserinning η qovushoqligiga nisbatan yechib, η koeffitsient uchun

$$\eta = \frac{2r^2 g (\rho_{\text{sh}} - \rho_{\text{gl}})}{9v}$$

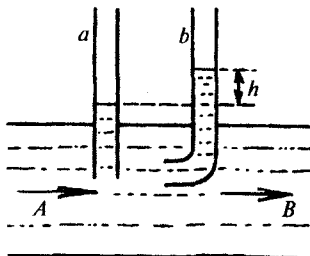
ifodani hosil qilamiz.

Hisoblash:

$$\eta = \frac{2 \cdot 25 \cdot 10^{-8} \text{m}^2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (2,7 - 1,2) \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{9 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1,62 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}.$$



160- rasm.



161- rasm.



Mustaqil yechish uchun masalalar

102. Trubaning ko'ndalang kesimidan 30 minutda 0,6 kg karbonat anhidrid gazi oqib o'tganligi ma'lum bo'lsa, trubadagi gazning oqim tezligini toping. Gazning zichligi $7,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ga, trubaning diametri 2 sm ga teng deb oling.

103. AB gorizontol naydan (161- rasm) suyuqlik oqmoqda. Diametrlari bir xil bo'lgan a va b naychalardagi bu suyuqlik sathining farqi $h = 10$ sm ga teng. AB naydagi suyuqlik oqimining tezligini toping.

104. Oqib chiqayotgan suvning tezligi $v = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ bo'lishi uchun gorizontol joylashgan suvpurkagichning porsheniga qanday kuch qo'yilishi kerak? Porshen radiusi $R = 2$ sm. Ishqalanishni hisobga olmang.

105. Hajmi 2 m^3 bo'lgan suvni o'zgaruvchan kesimli gorizontol quvur bo'ylab 50 kPa bosimli kesimdan 20 kPa bosimli kesimga ko'chirishda bajarilgan ishni toping.

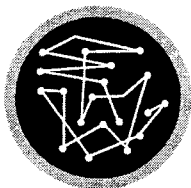
106. Po'kakdan yasalgan 5 mm radiusli sharcha kanakunjut moy to'ldirilgan idishning tubidan $3,5 \frac{\text{sm}}{\text{s}}$ o'zgarimas tezlik bilan chiqib kelayotgan bo'lsa, kanakunjut moyining qovushoqlik koeffitsientini toping. Kanakunjut moyining zichligi $0,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ga teng.

107. Idishga har sekundda 0,2 l suv quyila boriladi. Bunda idishdagi suvning sathi 8,3 sm balandlikda o'zgarimasdan qolishi uchun idish tubidagi teshikning diametri qanday bo'lishi kerak?

108. Agar bo'yoq pultidan $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan suyuq bo'yoq oqib chiqayotgan bo'lsa, kompressor bo'yoq pultida qanday bosim hosil qiladi?

Bo'yoqning zichligi $0,8 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ga teng.

109. Qovushoqligi $1,2 \cdot 10^{-4} \frac{\text{g}}{\text{sm} \cdot \text{s}}$ ga teng havodagi 0,3 mm diametrlri yomg'ir tomchisi eng ko'pi bilan qanday tezlikka erishadi?



MOLEKULYAR FIZIKA VA ISSIQLIK

Issiqlik haqidagi tushuncha juda qadim zamondan ma'lum bo'lib, u dastlab odamning fiziologik sezishi asosida yuzaga kelgan. Fiziologik sezish asosida odam jismlarni issiq va sovuqqa ajratgan va ularning isitilganlik darajasini aniqlagan. Lekin bizning sezgi organlarimiz temperaturani noaniq o'lchaydi va bu sohada noto'g'ri natijalarga olib keladi.

XII — XIII asrlarda Farengeyt, Delil, Lomonosov, Reomyur va Selsiyar tomonidan ikkita doimiy nuqtaga ega bo'lgan turli xil tuzilgan termometrlarning yaratilishi issiqlik hodisalarini o'rganishni rivojlantirib yubordi. Birinchi navbatda issiqlikdan moddalarning kengayishi o'rganila boshlandi. Lekin issiqlik fizikasining asosiy miqdoriy tushunchalari birdaniga yuzaga kelavermadi. O'sha davr fiziklarining asarlarida „issiqlik miqdori“, „issiqlik darajasi“, „issiqlik gradusi“ tushunchalarida juda ko'p chalkashliklar bor edi. 1755-yilda Lambert temperatura va issiqlik miqdori tushunchalarini bir-biridan farq qilishni aytib o'tdi. Turli temperatura va turli miqdordagi suyuqliklarni bir-biri bilan aralashtirilganda yuzaga keladigan temperaturani aniqlashni va uning formulasini Rixman bergan. 1803- yili Blek issiqlik miqdori va temperatura tushunchalarini bir-biridan ajratdi va birinchi bo'lib „issiqlik sig'imi“, „yashirin erish issiqligi“ va „yashirin bug'lanish issiqligi“ tushunchalarini kiritdi.

Issiqlik haqida nazariya ham yuzaga kela boshladi. Ulardan biri alohida issiqlik suyuqligi — teplorod haqidagi nazariya bo'lsa, ikkinchisi issiqlikka „sezilmaydigan zarralarning“ harakat turi deb qarash edi. Lomonosov keyingi nazariyaning ashaddiy tarafdori edi.

Teplorod nazariyasiga ko'ra, jismda teplorod qancha ko'p bo'lsa, uning temperaturasi shuncha yuqori bo'ladi, deb hisoblanar edi. Bu nazariya uchun u yoki bu jismda mavjud bo'lgan teplorodni issiqlik miqdori sifatida tasavvur qilish tabiiy hol edi. Jismlar temperaturalarining tenglashishi bir jismdan boshqa jismga biror miqdorda teplorodning o'tishi jarayonidan iborat deb hisoblanar

edi. Teplorod nazariyasi kalorimetrik dalillarni yaxshi tushuntirar edi, shuning uchun teplorod haqidagi nazariya XIX asrning o'rtalarigacha ustunlik qilib keldi. Lekin energiya saqlanish qonunining ochilishi fiziklarni Lomonosov nazariyasiga qaytishga majbur qildi.

Issiqlikning kinetik nazariyasi materiya, birinchi navbatda, havo va bug'ning kinetik nazariyasi bilan birga rivojlana bordi. Bernulli havoni „turli yo'nalishlarda juda tez“ harakat qilayotgan zarralardan iborat va zarralar „elastik suyuqlik“ hosil qiladi deb qaradi. U zarralar harakat tezligi bilan havoning isishi orasidagi bog'lanishni aniqladi. Bu fizika tarixida gaz xossalarini molekular harakati bilan tushuntirishdagi birinchi urinish bo'lgan va Bernulli fizika tarixiga gazlar kinetik nazariyasining asoschilaridan biri bo'lib kirgan.

1750- yilda Lomonosov „Issiq va sovuqning sababi haqida fikrlar“ degan asarida issiqlik materiyaning ichki harakatida bo'lib, materiyaning sezilmaydigan zarralarining o'rin o'zgartirishidir, deb yozgan edi. U bu harakatlarning ehtimoliy xarakterini — ilgarilanma, aylanma va tebranma harakatlardan iborat deb qarab, „issiqlik bog'langan materiyaning ichki aylanma harakatidan iboratdir“ degan edi. Issiqroq jismlarda molekula (korpuskula)lar tezroq aylanadi, sovuqroqlarida esa sekinroq aylanadi; issiqroq jism sovuqrog'iga tekkizilganda soviydi, degan fikrlarni bildiradi.

1798- yili Rumford to'p stvollarini parmalashni kuzatib, bunda ajralib chiqayotgan issiqlik metallni parmalashda bajarilgan ish bilan bog'liq, degan fikrni aytdi. Keyingi yili Devi buni tajribada isbot qildi. U muzning bir bo'lagini boshqa bo'lagiga ishqalaganda erishi shu ishqalashda bajarilgan ish natijasida hosil bo'lgan issiqlik hisobiga sodir bo'lishini isbotladi.

XIX asr birinchi yarmining oxirlarida Joul issiqlikning mexanik ekvivalentini eksperimental aniqlaydi: bir kilokaloriya issiqlik miqdori olish uchun 427 kilogrammometr mexanik ish bajarish kerak.

Issiqlikning mexanik nazariyasining bu yutuqlari shunga olib keldiki, XIX asrning o'rtalariga kelib, teplorod nazariyasi butkul inkor etildi.

Fizikaning „Molekulyar fizika va issiqlik“ deb nomlanadigan bo'limining asosida materiyaning atom-molekulyar tuzilishi haqidagi tasavvur yotadi. Molekulyar fizika turli holatlardagi moddalarning makroskopik xossalarini, shuningdek, moddaning

bir holatdan boshqa holatga aylanishlari bo'ysunadigan qonunlarni moddaning molekulyar tuzilishi haqidagi, atom va molekular harakatlarining va ular orasidagi ta'sir kuchlarining xarakteri haqidagi tasavvurlarga asoslanib tushuntiradi.

VI bob. MODDA TUZILISHINING MOLEKULAR-KINETIK NAZARIYASI ASOSLARI

90- §. Molekulyar-kinetik nazariyaning asosiy qoidalari va ularning eksperimental asoslari

Har qanday moddaning xossalari uni tashkil etuvchi zarralarning xossalari va harakatining xarakteri bilan aniqlanadi. Makroskopik jismlar xossalarini aniqlash uchun ularni tashkil qiluvchi ayrim molekularlarning xarakterini emas, balki ularning jami harakati tufayli hosil bo'ladigan o'rtacha natijaviy kattaliklarni bilish muhim ahamiyatga ega. Xudda ana shu natijani **molekulyar-kinetik nazariya** yordamida o'rganish mumkin.

Modda tuzilishining molekulyar-kinetik nazariyasi quyidagi uchta qoidaga asoslanadi:

1. *Barcha moddalar molekularlararo oraliqqa ega bo'lgan molekularlardan tashkil topgan; molekularlar o'z navbatida atomlardan tashkil topgan.*

2. *Molekularlar har doim uzluksiz tartibsiz (xaotik) harakatda bo'ladi.*

3. *Molekularlar orasida har doim tortishish va itarishish kuchlari mavjud bo'ladi. Bu kuchlar molekularlar oralig'iga keskin bog'liqdir. Molekularlar oraliqlari juda kichik bo'lganda itarishish kuchi juda katta bo'ladi; molekularlar bir-birlaridan uzoqlashganda esa bu kuchlar kamayib, ular orasida tortishish kuchi ortadi. Mavjud bo'lgan bu kuchlar elektromagnit tabiatga ega bo'ladi.*

Molekula—moddani tashkil etuvchi zarra bo'lib, u o'zida shu moddaning asosiy xossalarini saqlovchi mustaqil eng kichik bo'lakchadir.

Har xil atomlardan tashkil topgan molekularlar turli xossaga ega bo'lgan moddalarni hosil qiladi.

Atom va molekularlar juda kichik zarralar bo'lgani tufayli ularni ko'z bilan ko'rish mumkin emas. Biroq elektron mikroskoplar

vositasida ba'zi yirik molekulalarni, masalan, diametri $4 \cdot 10^{-9}$ m ga yaqin bo'lgan oqsil molekularini ko'rish mumkin. Elektron proyektorlarning yaratilishi natijasida kichik molekulalarni, hatto ayrim atomlarni ko'rish imkoni tug'ildi. Bunday kuzatishlarning mumkinligi molekulalar va atomlarning real mavjud ekanligining rad etib bo'lmaydigan isbotidir.

Molekulalararo masofa mavjudligining to'la ishonchli bilvosita tasdig'i gaz hajmining o'zgaruvchanligidir. Haqiqatan, gaz siqilganda uning hajmi faqat uni tashkil qilgan molekulalarning orasidagi masofaning qisqarishi hisobigagina o'zaro yaqinlashishi tufayli kichrayishi mumkin.

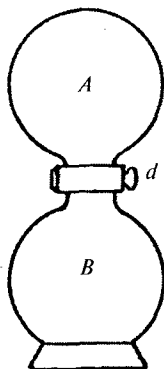
Qattiq jismlarning o'z shakllarini saqlay olish xususiyatlari molekulalar orasidagi o'zaro itarishish va tortishish kuchlarining mavjudligini namoyon qiladi. Qattiq jismlarning shaklini hatto arziyas darajada o'zgartirish, masalan, cho'zish yoki siqish uchun ham katta kuch sarflash kerakligi tajribalardan ma'lum. Molekulalarning orasidagi tortishish kuchlari jismning cho'zilishiga, itarishish kuchlari esa siqilishiga to'sqinlik qiladi.

✓ Molekulalarning uzluksiz xaotik harakati diffuziya va broun harakati hodisalarida yaqqol namoyon bo'ladi.

Bir-biri bilan chegaradosh bo'lgan jism zarralarining ularning issiqlik harakati tufayli bir-biriga kirib borish hodisasi diffuziya deyiladi. Diffuziya natijasida jismlar olingan fazoda modda molekulalarining konsentratsiyasi tenglashadi. (Moddaning birlik hajmdagi molekulari soni molekulalarning konsentratsiyasi deb ataladi.) ✓

Diffuziya hodisasini gaz, suyuqlik va qattiq jismlarda kuzatilganda ularda bu hodisa turli darajada sodir bo'lganligini ko'rishimiz mumkin.

Gazlardagi diffuziya hodisasini quyidagi tajriba asosida kuzataylik. 162- rasmdagi shisha idishning *A* va *B* qismida *d* jo'mrak yopiq holatda bo'lganda ikki xil gaz, masalan, *A* qismida havo, *B* qismida esa brom bug'lari qamalgan bo'lsin. Jo'mrakni ochsak, molekulalarning xaotik harakati tufayli qoramtir rangli brom bug'lari (shuningdek, havo molekulari) idish bo'ylab tarqalib, ma'lum vaqt o'tgandan so'ng idishning har ikkala *A* va *B* qismida bir xil rangdagi aralashma hosil bo'lishini kuzatamiz.



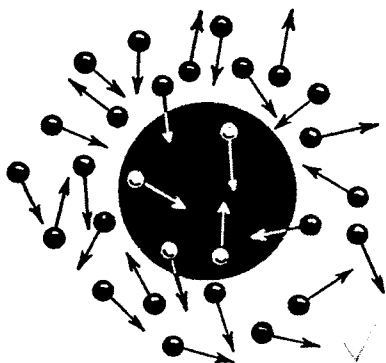
162- rasm.

Suyuqliklarda diffuziya jarayoni gazlardagiga nisbatan ancha sekin boradi. O'rtasida to'sig'i bo'lgan idishga ikki xil (suv bilan shakarli suv, suv bilan spirt yoki rangli va rangsiz) suyuqlik quyaylik. Agar ular orasidagi to'siqni asta-sekin olsak, bir suyuqlik molekulari ikkinchi suyuqlik molekulari bilan aralashib ketadi, bunda diffuziya hodisasi natijasida suyuqliklar tarkibi oldingi tarkiblaridan farq qiluvchi bitta suyuqlikka aylanadi. Bu hosil bo'lgan suyuqlik *eritma* deyiladi. Eritmalar orasida diffuziya hodisasi bo'layotganda avvalo yuqori konsentratsiyali eritmadan past konsentratsiyali eritma tomon ko'proq modda o'tib, teskari yo'nalishda o'tuvchi modda miqdori kamroq bo'ladi. Bu jarayonning o'tish tezligi suyuqliklarning tarkibi, zichligi, molekularning o'lchami, massasi, kimyoviy tuzilishi, qovushoqligi kabi faktorlarga bog'liq bo'ladi.

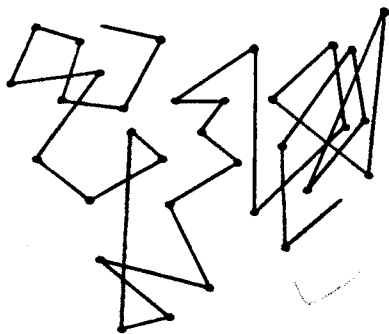
Qattiq jismlarda diffuziya jarayoni juda sekin ketishini tajribalar ko'rsatadi. Masalan, tajribalardan birida silliqlangan qo'rg'oshin plastinka bilan oltin plastinkani ustma-ust qo'yib, ularning ustiga yuk qo'yilgan. Odatdagi uy temperaturasida (taxminan 20°C) 5 yildan keyin qo'rg'oshin plastinka bilan oltin plastinka zarralari bir-biriga 1 sm gacha ko'chib, singib ketgan. Bunda oltin bilan qo'rg'oshin qotishmasidan iborat bir jinsli qatlam hosil bo'lgan.

Diffuziya temperaturaga keskin bog'liqdir. Berilgan moddalarning temperaturasi ortishi bilan molekularning xaotik harakati jadallashi natijasida diffuziya hodisasi tezlashadi.

Molekularning tartibsiz harakatda ekanligi 1827- yilda ingliz botanigi Broun tomonidan tajriba asosida aniqlangan.



163- rasm.



164- rasm.

Suvda erimaydigan mayda zarralar (gummegut poroshogi yoki tush kukuni) ni suvga aralastirilib, ular mikroskop orqali qaralganda zarralarning tartibsiz harakat qilishi kuzatilgan. Bu zarralarning harakatga kelishiga asosiy sabab, suvning qo'shni molekulalari tartibsiz ravishda unga urilib son-sanoqsiz turtki impuls berishi natijasidir (163- rasm).

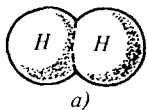
Bu harakat olimning sharafiga *Broun harakati* deyiladi. Broun harakati molekulalarning tartibsiz harakat qilishidan tashqari molekulalarning mavjud ekanligini ham isbotladi. Shuningdek, *m* massali molekulalar „*v*“ tezlik bilan harakatlanib, Broun zarrasiga *mv* impuls beradi. Molekulalar harakati tartibsiz bo'lganligi sababli zarraga atrofdan berilayotgan impulslar bir-birini kompensatsiyalamaydi: zarraga turli tomonlardan turli sondagi molekulalar uriladi, shu bilan birga, alohida molekulalarning zarb kuchlari ham bir xil emas. Natijada Broun zarrasiga ta'sir etuvchi kuch noldan farqli bo'lib, zarra ma'lum tomonga harakatlanadi. Broun harakatini Perren mukammal o'rganib, zarraning teng vaqtlar oralig'ida o'tgan masofasining rasmini olgan (164- rasm).

Suyuqlik temperaturasining oshishi bilan molekulalarning harakat tezligi, binobarin, Broun harakati ortadi.

91- §. Molekula va atom o'lchamlari

Biz yuqorida har qanday modda molekulalardan, molekulalar esa o'z navbatida, atomlardan tashkil topganligi haqida to'xtalib o'tdik.

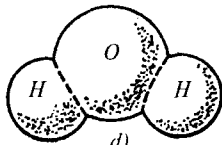
Kimyo kursidan ma'lumki, molekulalar turlicha atom birikmalaridan tashkil topishi mumkin. Bir atomli (geliy He, argon Ar, neon Ne kabi inert gazlar), ikki atomli (kislород O₂, vodorod H₂, azot N₂) va ko'p atomli molekulalar bo'lishi mumkin. Turli modda atomlari birikib ko'p atomli molekulalarni hosil qiladi. Masalan, osh tuzining molekulasi bitta natriy Na atomi va bitta xlor Cl atomidan, suv molekulasi esa ikkita vodorod H atomi va bitta kislород O atomidan iborat (165- rasm); shuningdek, oqsil molekulalari va polimerlar ko'p atomli molekulalarga kiradi. Hozirgi vaqtda turli usullar bilan atom va molekulalarning mavjudliginigina emas, balki ularning o'lchamlarini ham aniqlash mumkin. Bu usullardan biri quyidagicha. Biror idishdagi suvning sirtiga moy tomchisini tomizsak, u suvning yuziga yoyilib, yupqa parda hosil qiladi. Parda shu darajada yupqa bo'lsinki, unda molekulalar bir



a)



b)



d)

165- rasm.

qavat bo'lib tekis terilgandek bo'lsin. U holda pardaning qalinligini, ya'ni molekulaning diametrini (agar molekulani sharsimon deb olsak) osongina hisoblash mumkin. Masalan, suv sirtiga hajmi $V=10^{-9} \text{ m}^3$ bo'lgan moy tomchisi tomizganimizda tomchi $S=0,5 \text{ m}^2$ yuzga yoyilgan bo'lsin, u holda pardaning qalinligi, ya'ni molekulaning diametri σ quyidagicha topiladi:

$$\sigma = \frac{V}{S} = \frac{10^{-9} \text{ m}^3}{0,5 \text{ m}^2} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ m}.$$

Aniq o'lchash va hisoblashlar atom va molekulalarning diametri $\sigma = 2 \div 3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ ekanini ko'rsatadi. Bu o'lchamlar shu qadar kichikki, ularni faqat taqqoslash orqali tasavvur etish mumkin. Masalan, qo'limizdagi ruchkani Yerdan Oygacha yetadigan qilib kattalashtirilganda, moy molekulasini ham shuncha marta kattalashtirilsa, uning diametri shu ruchka kattaligidек bo'ladi.

Molekulalarning o'lchami juda kichik bo'lgani uchun har qanday makroskopik jismda nihoyatda ko'p molekulalar bo'ladi. Bunga ishonch hosil qilish uchun massasi 10^{-3} kg , hajmi $V=10^{-6} \text{ m}^3$ bo'lgan suv tomchisidagi molekulalar sonini taqriban hisoblab ko'raylik. Suv molekulasining diametri $3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ ga teng ekanini hisobga olganimizda, har bir suv molekulasining egallagan hajmi taxminan $V_1 \approx (3 \cdot 10^{-10} \text{ m})^3 \approx 2,7 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$ ga to'g'ri keladi. U vaqtda 10^{-6} m^3 hajmdagi suv molekulalarining soni

$$N = \frac{V}{V_1} = \frac{10^{-6} \text{ m}^3}{2,7 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3} \approx \frac{1}{3} \cdot 10^{23} \approx 3 \cdot 10^{22} \quad (1)$$

bo'ladi.

92- §. Molekulalar massasi. Modda miqdori. Avogadro soni

Ayrim molekula va atomlarning massasi juda kichik ekaniga ishonch hosil qilish maqsadida bitta suv molekulasini massasini hisoblab ko'raylik. Buning uchun yuqorida normal sharoitda olingan

10^{-3} kg massali suvning egallagan hajmi $V = 10^{-6}$ m³ ga tengligidan foydalanamiz. Bu hajmda mavjud bo'lgan suv molekularining soni $N = 3 \cdot 10^{22}$ dona ekani (1) dan ma'lum. U vaqtda 10^{-3} kg suv massasini unda mavjud bo'lgan molekular soniga bo'lish orqali bir dona suv molekulasining massasi topiladi:

$$m_{0\text{H}_2\text{O}} = \frac{m}{N} = \frac{10^{-3} \text{ kg}}{3 \cdot 10^{22}} \approx 3 \cdot 10^{-26} \text{ kg.}$$

Boshqa modda molekularining massalari ham shunga yaqin qiymatga ega bo'ladi. Ammo minglab atomlarga ega bo'lgan organik moddalarning molekulari bundan mustasnodir.

Molekulalarning massalari juda kichik bo'lgani tufayli, hisob ishlarida massalarning absolyut qiymatlaridan emas, balki nisbiy qiymatlaridan foydalanish qulaydir. Shuning uchun hamma atom va molekularning massasi xalqaro kelishuvga muvofiq uglerod atomi massasining 1/12 qismi bilan taqqoslab olinadi (bu holda atomlarning nisbiy massalari butun sonlarga yaqin bo'lib chiqadi).

Moddaning M_N nisbiy molekulyar (yoki atom) massasi deb shu molekula (yoki atom) m_0 massasining uglerod atomi $m_{0\text{C}}$ massasining 1/12 qismiga nisbatiga aytiladi. Demak, moddaning M_N nisbiy molekulyar massasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$M_N = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0\text{C}}}. \quad (2)$$

M_N kattalikning o'lchovi yo'q. Bundan ko'rinadiki, hisoblanishi zarur bo'lgan molekulaning massasi $m_0 = \frac{1}{12} M_N \cdot m_{0\text{C}}$ bo'lar ekan.

Masalan, magniyning (Mg) atom massasi 24 ga teng. Bu degan so'z, magniy atomining massasi uglerod (C) atomi massasining 1/12 qismidan 24 marta katta demakdir, shuningdek, vodorod atomining massasi 1 ga teng, demak, vodorod atomining massasi uglerod atomining massasidan 12 marta kichikdir.

Jismlarda atom yoki molekular nihoyatda ko'p bo'ladi. Shuning uchun aniq bir jismdagi atomlar sonini 0,012 kg uglerod massasidagi atomlar soni bilan taqqoslash qabul qilingan. Buning uchun *modda miqdori* deb ataladigan maxsus fizik kattalik kiritiladi. Modda miqdori ν deb (grek harfi; „nyu“ deb o'qiladi) ma'lum

bir jismdagi molekularlar soni N ning 0,012 kg massali uglerodda mavjud bo'lgan atomlar soni (N_A) ga nisbatiga aytiladi:

$$v = \frac{N}{N_A}. \quad (3)$$

SI da modda miqdori mo'l hisobida o'lchanadi va u asosiy birliklardan biridir. *Bir mo'l — moddaning shunday miqdoriki, unda mavjud bo'lgan molekularlar soni 0,012 kg uglerodagi atomlar soniga teng.*

Mo'l bilan bir qatorda unga karrali birlik kilomo'l (kmo'l) ham qo'llaniladi: $1 \text{ kmo'l} = 10^3 \text{ mo'l}$.

Mo'l ta'rifiga asosan, har qanday moddaning bir mo'l miqdoridagi molekula yoki atomlar soni bir xil bo'ladi. Bu son XIX asrda yashagan Italiya olimi sharafiga *Avogadro soni* deb ataladi va u N_A bilan belgilanadi. Bu son bir mo'l modda (ya'ni 0,012 kg uglerod) dagi atomlar soniga teng bo'lib, quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$N_A = \frac{\mu_C}{m_{0C}} = \frac{\mu}{m_0}, \quad (4)$$

bunda μ_C va μ kattaliklar (grek harfi: „myu“ deb o'qiladi) bir mo'l uglerodning va ixtiyoriy olingan moddaning kilogramm hisobidagi massasi.

Bir mol miqdorida olingan modda massasi μ *molyar massa* deb ataladi. Molyar massa tushunchasi fizikada, ayniqsa kimyoda keng qo'llaniladi. Agar v mo'l moddaning massasi m bo'lsa, u holda, ta'rifga binoan, molyar massa quyidagicha ifodalanadi: ✓

$$\mu = \frac{m}{v}. \quad (5)$$

$m = m_0 N$ ekanligini va (3) formulani e'tiborga olsak, u holda

$$\mu = m_0 N_A \quad (5a)$$

bo'ladi. Demak, molyar massa molekulaning massasi bilan Avogadro soni ko'paytmasiga teng ekan. (5) dan ko'rinadigan molyar massa

$\frac{\text{kg}}{\text{mo'l}}, \frac{\text{kg}}{\text{kmo'l}}, \frac{\text{g}}{\text{mo'l}}$ larda o'lchanadi, molyar massani M_N nisbiy molekulyar massa orqali ifodalash mumkin. m_0 ning (2) dan topila-

digan qiymatini va N_A ning $N_A = \frac{0,012}{m_{0C}}$ qiymatini (5a) ga qo'yamiz:

$$\mu = M_N \cdot \frac{m_{0C}}{12} \cdot \frac{0,012}{m_{0C}} = 10^{-3} M_N \frac{\text{kg}}{\text{mo}^{\prime}1}$$

✓ Demak, molyar massa son jihatdan nisbiy molekulyar massaga teng ekan. Masalan, karbonat anhidrid (CO_2) ning molyar massasi $0,044 \frac{\text{kg}}{\text{mo}^{\prime}1}$ ga, uglerodniki $0,012 \frac{\text{kg}}{\text{mo}^{\prime}1}$ ga, kislorodniki $0,032 \frac{\text{kg}}{\text{mo}^{\prime}1}$ ga teng. O'lchashlar natijasida uglerod atomining massasi $m_{0C} = 1,995 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ ekani aniqlangan. (4) formuladagi kattaliklarning son qiymatini o'rniga qo'yib Avogadro sonini hisoblasak,

$$N_A = \frac{0,012 \frac{\text{kg}}{\text{mo}^{\prime}1}}{1,995 \cdot 10^{-26} \text{ kg}} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mo}^{\prime}1^{-1}$$

hosil bo'ladi. Avogadro soni molekulyar fizika va kimyoda muhim ahamiyatga ega bo'lib, universal doimiy hisoblanadi. Modda miqdori ma'lum bo'lganda Avogadro sonidan foydalanib, molekular sonini topish mumkin. Turli gazlar bilan olib borilgan tajribalardan ko'rinadiki, *bir xil harorat va bosimda har qanday gazning bir mo'1 massasi birday hajmni egallaydi*. Bunga Avogadro qonuni deyiladi.

Normal sharoitda ($T = 273 \text{ K}$ temperatura va $1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ atmosfera bosimida) bir mo'1 gaz massasining hajmi

$$V_{\mu} = 0,0224 \frac{\text{m}^3}{\text{mo}^{\prime}1}$$

ekani aniqlangan. Bir mo'1 (yoki kmo'1) moddaning hajmi *molyar hajm* deb ataladi.

Normal sharoitda N_A Avogadro sonini bir mo'1 gazning $V_{\mu} \text{ m}^3$ hisobida hajmiga bo'lganimizda 1 m^3 hajmdagi molekular sonini topish mumkin. Bu son *Loshmidt* soni deyiladi (98- § ga q.) va n_0 bilan belgilanadi:

$$n_0 = \frac{N_A}{V_{\mu}} \cdot \frac{6,02 \cdot 10^{23} \text{ mo}^{\prime}1^{-1}}{22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{mo}^{\prime}1} \approx 2,7 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$$

ya'ni

$$n_0 = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$$

93- §. Gaz, suyuq va qattiq holatdagi modda molekularining harakati haqida. Molekulalarning o'zaro ta'siri

Tabiatdagi mavjud moddalar turli holatlarda uchraydi. Masalan, muz, suv va suv bug'i; bular suvning uch holatidir. Suvning bu uch agregat holatidagi molekulari bir-biridan farq qilmay, balki molekularning joylashishi va ta'sirlashishi bilan farq qiladi. Molekulalar harakatining umumiy xarakteri gaz, suyuq va qattiq jismlar uchun birday bo'ladi, ya'ni molekular ixtiyoriy yo'nalishlarda turlicha tezlik bilan betartib harakatlanadi. Shuning uchun ham molekularning tezligi haqida gapirilganda — *o'rtacha tezlik*, o'tgan yo'li deyilganda esa ikkita ketma-ket to'qnashishlar oralig'iga teng bo'lgan *o'rtacha erkin yugurish yo'li* tushuniladi.

Gaz molekulari orasidagi masofa uning o'lchamiga nisbatan ko'p marta katta bo'lgani tufayli, molekular orasidagi o'zaro ta'sir kuchi juda ham kichik bo'lib, molekular istalgan yo'nalishda bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda harakatlana oladi. Hisoblashlar va o'lchashlarning ko'rsatishicha, normal sharoitda molekularning o'rtacha erkin yugurish yo'li taxminan 10^{-8} — 10^{-7} m ga teng bo'lib, bir sekundda 10^{10} marta o'zaro va idish devorlari bilan to'qnashadi. Gaz molekularining ilgarilanma va aylanma harakat qilishi tajribalarda aniqlangan. Gaz molekulari orasida o'zaro itarishish kuchi bo'lgani sababli gaz solingan idishning butun hajmini to'la egallaydi, bundan ko'rinadiki, gaz aniq shakl va hajmga ega emas. Molekulalar orasida tortishish kuchi mavjud bo'lganligi uchun ular bir-biridan cheksiz uzoq masofaga tarqalib keta olmaydi.

Suyuqlik molekulari gaz molekulariga qaraganda ancha zich joylashgani uchun ularning erkin yugurish yo'li molekularning o'z o'lchamidan ham kichik bo'lib, taxminan 10^{-10} m ga teng. Bu oraliqning mavjudligi suyuqliklarda oquvchanlik xususiyatini belgilaydi. Tajribalarning ko'rsatishicha, suyuqlik molekulari ilgarilanma harakat bilan birga tebranma va aylanma harakat ham qiladi.

Suyuqliklarda molekular orasidagi tortishish kuchi gaz molekulari orasidagi tortishish kuchiga nisbatan ancha katta bo'lganligi uchun molekularni har tomonga tarqalib ketishiga yo'l qo'ymay tutib turadi, shuning uchun ham idishga solingan suyuqlik shu idish hajmining ma'lum bir qismini va idish shaklini egallaydi.

Qattiq jism molekulari suyuqlik molekulariga qaraganda ancha zich joylashgan bo'lib, muvozanat holati atrofida tebranma harakat qiladi. Ularning bir joydan ikkinchi joyga ko'chishi kamdan-kam uchraydi.



Takrorlash uchun savollar

1. Molekulyar-kinetik nazariya ta'limoti haqida tushuncha bering.
2. Molekulyar-kinetik nazariyaning asosiy qonun-qoidalari nimalardan iborat?
3. Diffuziya deganda nimani tushunasiz? Diffuziya moddaning agregat holatiga va temperaturaga qanday bog'liq?
4. Broun harakati bilan qanday hodisa tushuntiriladi?
5. Temperatura ortishi bilan Broun harakati ortadi va diffuziya jarayoni tezlashadi, nima uchun?
6. Molekulalarning o'lchami va massasi haqida tushuncha bering.
7. Avogadro soni va Avogadro qonuni haqida ma'lumot bering.
8. Modda miqdori nima va uning birligi qanday?
9. Nisbiy va molyar massa nima? Molyar massa qanday birliklarda o'lchanadi?
10. Normal sharoit deganda nimani tushunasiz?
11. Loshmiddt soni nima? Uning qiymatini keltirib chiqaring.



Masala yechish namunalari

1- masala. Normal sharoitda 1) 0,001 kg azot va 2) 1 m³ kislorod tarkibidagi molekular sonini hisoblang. Normal sharoitda kislorodning zichligi $\rho_2 = 1,43 \text{ kg/m}^3$.

$$\text{Berilgan: } m_1 = 0,001 \text{ kg} = 10^{-3} \text{ kg}, V_2 = 1 \text{ m}^3, \rho_2 = 1,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \mu_1 = 28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo'l}}, \mu_2 = 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo'l}}.$$

Topish kerak: N —? n —?

Yechilishi: 1. Berilgan massadagi azot gazining molekular soni shu berilgan massani bitta azot molekulasining massasiga nisbatiga teng bo'lib, quyidagicha ifodalanadi:

$$N = \frac{m_1}{m_0}, \text{ bunda } m_0 = \frac{\mu_1}{N_A} \text{ ga teng bo'lib, } \mu_1 \text{ — azot molekulasining}$$

molyar massasi, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mo'l}^{-1}$ — Avogadro soni. Bu ikkala tenglikdan quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$N = \frac{m_1 N_A}{\mu_1}$$

Hisoblash:

$$N = \frac{10^{-3} \text{ kg} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mo}^{-1} \text{ l}^{-1}}{28 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mo}^{-1} \text{ l}^{-1}} = 215 \cdot 10^{20} \text{ dona.}$$

2. Normal sharoitda hajm birligidagi kislorod molekularining soni quyidagicha topiladi. Kislorod massasi $m_2 = V_2 \rho_2$ ga, molekular soni $N = m_2/m_0$ ga tengligidan

$$n = \frac{N}{V_2} = \frac{m_2}{m_0 V_2} = \frac{V_2 \rho_2}{\mu_2 V_2} = \frac{N_A}{\mu_2} \rho_2$$

bo'ladi.

Hisoblash:

$$n = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \text{ mo}^{-1} \text{ l}^{-1}}{32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo}^{-1} \text{ l}}} \cdot 1,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \approx 2,7 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}.$$

2- masala. Ozon (O_3), karbonat anhidrid (CO_2), metan (CH_4) gazlarining bitta molekulasining massasini hisoblang.

Berilgan: $\mu_1 = 48 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo}^{-1}}$, $\mu_2 = 44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo}^{-1}}$, $\mu_3 = 16 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo}^{-1}}$,
 $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mo}^{-1} \text{ l}^{-1}$.

Topish kerak: $m_{01} - ?$ $m_{02} - ?$ $m_{03} - ?$

Yechilishi. Masala shartida berilgan har bir gaz molekulasining massasini quyidagi formulalardan topamiz:

$$m_{01} = \frac{\mu_1}{N_A}, \quad m_{02} = \frac{\mu_2}{N_A}, \quad m_{03} = \frac{\mu_3}{N_A}$$

$$m_{01} \approx 8,0 \cdot 10^{-26} \text{ kg}, \quad m_{02} \approx 7,3 \cdot 10^{-26} \text{ kg}, \quad m_{03} \approx 2,7 \cdot 10^{-26} \text{ kg.}$$

3- masala. Normal sharoitda 1 m³ havoda $2,7 \cdot 10^{25}$ dona molekula bor. Agar molekular orasidagi masofa molekula diametridan 10 marta kattaligi ma'lum bo'lsa, molekulaning diametri qanchaga teng ekanligini hisoblang.

Berilgan: $V = 1 \text{ m}^3$, $n_0 = 2,7 \cdot 10^{25}$, $\frac{l}{\sigma} = 10$ marta.

Topish kerak: $\sigma - ?$

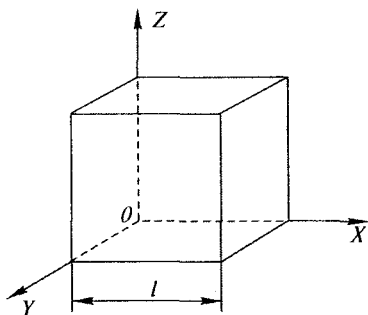
Yechilishi. Agar kubning hajmini 1 m³ deb olsak, u holda n_0 dona molekular uch o'lchamli fazoda OY , OZ , OX yo'nalishlar bo'ylab

harakatlanadilar (166- rasm). Har bir molekulaga kub hajmining l^3 ga teng qismi mos keladi, bunda l — molekular orasidagi masofa. Shunday ekan, kubning hajmi $V = n_0 \cdot l^3$ deb hisoblash mumkin.

Masalaning shartiga ko'ra $\frac{l}{\sigma} = 10$ edi.

Bu ikki ifodadan molekularning diametrini topsak,

$$\sigma = \frac{1}{10} \sqrt[3]{\frac{V}{n_0}}$$



166- rasm.

Hisoblash:
$$\sigma = \frac{1}{10} \sqrt[3]{\frac{1 \text{ m}^3}{2,7 \cdot 10^{25}}} = \frac{1 \text{ m}}{10 \cdot 3 \cdot 10^8} \approx 3 \cdot 10^{-10} \text{ m.}$$

4- masala. Diametri $3 \cdot 10^{-3}$ m bo'lgan suv tomchisidagi suv molekulari sonini aniqlang.

Berilgan: $d = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $\mu = 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$, $\rho = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Yechilishi. Berilgan suv tomchisidagi molekular soni quyidagicha topiladi:

$$N = \frac{m}{m_0},$$

bunda m — suv tomchisining massasi, m_0 — bitta molekularning massasi. Suv tomchisining massasini zichlik formulasidan foydalanib quyidagicha ifodalaymiz:

$$m = \rho V,$$

bunda V — berilgan suv tomchisining hajmi; tomchi shar shaklida bo'lgani uchun V ni quyidagicha ifodalaymiz:

$$V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d}{2}\right)^3 = \frac{1}{6} \pi d^3,$$

u vaqtda massa $m = \frac{1}{6} \rho \pi d^3$ bo'ladi. Bitta molekularning massasi quyidagicha topiladi:

$$m_0 = \frac{\mu}{N_A}.$$

Aniqlangan m va m_0 ning ifodalarini tomchida molekular sonini aniqlash ifodasiga qo'ysak,

$$N = \frac{\pi \rho d^3 N_A}{6\mu}$$

ifoda hosil bo'ladi.

Hisoblash:

$$N = \frac{3,14 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 27 \cdot 10^{-9} \text{m}^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{mo}^{-1}}{6 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo}^{-1}}} \approx 4,5 \cdot 10^{20} \text{ dona.}$$



Mustaqil yechish uchun masalalar

110. Vodород va kislorod molekularining massasini hisoblang.

111. Normal sharoitda 1 m³ hajmdagi gaz molekularining sonini hisoblang.

112. 0,001 kg suv bug'idagi molekular sonini hisoblang.

113. 10⁻⁹ m³ hajmdagi kerosin tomchisi suvga tomizilgan. Tomchi yoyilib 0,9 m² suv betini parda holda qoplagan. Parda qalinligini molekula diametriga teng deb hisoblab, kerosin molekulasining diametrini aniqlang.

114. Normal sharoitda 500 mo⁻¹ kerosin qancha hajmni egallaydi?

115. Yuzi 30 · 10⁴ m² bo'lgan buyumga 1 mkm qalinlikda nikel qatlami qoplangan. Qatlamda qancha nikel atomi bor? Nikelning zichligi

8,9 · 10³ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, molekulyar massasi 59 · 10⁻³ $\frac{\text{kg}}{\text{mo}^{-1}}$ ga teng.

94- §. Molekulyar fizikani o'rganishning statistik va termodinamik usullari

Hozirgi zamon fanida jismlarning fizik xossalarini, shuningdek, bu jismlarni tashkil qiluvchi zarralarning issiqlik harakati va o'zaro ta'siri tufayli bo'ladigan fizik hodisalarni o'rganishda ularning xossalarini o'zgarishiga bog'liq bo'lgan quyidagi ikki xil yondashishdan — *makroskopik* va *molekulyar-kinetik usuldan* foydalaniladi. Birinchi usul jismlarning ichki tuzilishidagi xususiyligini hisobga olmagan holda makroskopik jismlarning xossalarini ularda energiya aylanishi va saqlanishi qonunlari asosida o'rganishga asoslangan bo'lib, *termodinamik usul* deyiladi. Gap shundaki, jismlar (sistema)ning ko'p xossalari unda energiyaning bir turdan ikkinchi turga aylanish jarayonlari bilan ham bog'liq. Binobarin, bu qonunlar yordamida jismlarning ko'p xossalarini va hodisalarni o'rganish mumkin.

Molekulyar-kinetik usul moddalarning ichki tuzilishi asosida ularning xossalari chuqurroq o'rgatadi. Makroskopik jismlarning xossalari ulardagi zarralarning tartibsiz harakatidan bo'ladigan mikrojarayonlar tufayli bo'lgani uchun bu mikrojarayonlarni o'rganish asosidagina jismlarning xossalari batafsil tushuntirish va miqdoriy xarakterlab berish mumkin. Molekulyar-kinetik nazariya jismlarning makroskopik xossalari (bosim, temperatura, elastiklik, qovushoqlik va h.k)ni molekulalarning tartibsiz harakati va o'zaro ta'sirining yig'indisidan iborat deb qaraydi. Makroskopik jismda alohida molekulani kuzatish mumkin emas, binobarin, bitta molekulaning harakati va miqdoriy xarakteristikalari haqida gapirish ma'noga ega emas. Molekulyar-kinetik nazariya ayrim molekulalarning harakatlari bilan emas, balki ko'p miqdordagi molekulalarning harakatini xarakterlaydigan fizik kattaliklarning o'rtacha qiymatlari bilan ish ko'radi va statistik usuldan foydalanadi. Shuning uchun molekulyar-kinetik usul *statistik usul* deb, molekulyar-kinetik nazariya esa *statistik fizika* deb ham yuritiladi. Har ikkala termodinamik va statistik usullar bir-birini to'ldiradi. Bu usullarning birlashishi gaz, suyuq va qattiq holatdagi moddalarning tuzilishi va ularda bo'ladigan jarayonlarni o'rganishga keng yo'l ochib beradi.

95- §. Temperatura va uni o'lchash

Moddani tashkil etuvchi molekulalar uzluksiz xaotik harakatda ekan, molekulalarning kinetik energiyaga ega ekanligi o'z-o'zidan tushunarli. Lekin ana shu energiyaning molekulalarning harakat tezligiga bog'liq holda ortishi yoki kamayishi modda holatini o'zgartiradimi? Agar o'zgartirsa, u qanday kattaliklar bilan bog'liq, degan savol tug'iladi. Bu savolga quyidagicha mulohaza yuritib javob berish mumkin.

Biz „issiq“, „iliq“, „sovuq“ atamalarini kundalik hayotimizda juda ko'p ishlatamiz. Bu tushunchalar esa aynan kuzatilayotgan jismni tashkil etuvchi molekulalarning harakat tezligi va, demak, kinetik energiyasi bilan bog'liqdir.

Fikrimizning dalili sifatida M. V. Lomonosovning „Issiq va sovuqning sababi haqidagi fikrlar“ degan asaridan quyidagini keltiramiz. „Issiqlik materiyani ichki harakatidan iborat bo'lib, materiyani sezilmaydigan zarralarining (ya'ni molekulalarining) o'rin o'zgartirishidir“. Haqiqatan ham, biri issiq, ikkinchisi sovuq

bo'lgan jismlarni bir-biriga tekkizsak, jismlar holatlari o'zgaradi, ya'ni birinchi jism soviydi, ikkinchisi esa isiydi. Bunda birinchi jismni tashkil qiluvchi molekulalar kinetik energiyasi ikkinchi jism molekulalariga uzatiladi. Bu jarayon *issiqlik muvozanati* tiklanguncha, ya'ni har ikkala jism bir xil issiqlik darajasiga erishguncha davom etadi. Issiqlik muvozanati holatini xarakterlovchi fizik kattalik — *temperaturadir*. Issiqlik muvozanati holatida bo'lgan jismlarning temperaturasi bir xil bo'ladi va aksincha, bir xil temperaturali jismlar o'zaro issiqlik muvozanatida bo'ladi. Agar jism (yoki sistema) issiqlik muvozanati holatida bo'lmasa va yakkalangan bo'lsa, u holda ma'lum vaqtdan keyin u o'z-o'zidan issiqlik muvozanati holatiga o'tadi. Issiqlik muvozanati holatining asosiy belgilaridan biri jismning hamma qismlarida yoki sistemadagi barcha jismlarda temperatura bir xil qiymatga ega ekanligidir.

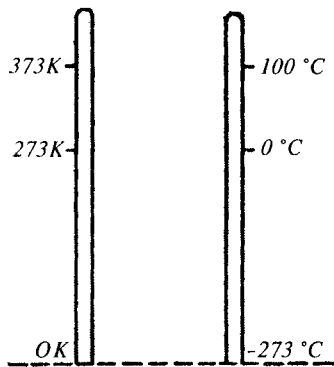
Yuqorida bayon etilgan tajribadan issiqlik muvozanati o'rnatilganda ikkala (issiq va sovuq) jism molekulalari kinetik energiyalarining o'rtacha qiymatlari tenglashadi, degan xulosa kelib chiqadi. Bu o'rinda, *temperatura molekulalar o'rtacha kinetik energiyasining o'lchovi*, deyish mumkin.

Jismlarning issiq yoki sovuq ekanligini aksariyat holda ularni ushlab ko'rish orqali sezamiz. Ammo bu obyektiv emas, chunki bir xil sharoitda turgan metall va yog'och buyumni ushlab, metall buyum yog'och buyumga nisbatan sovuq deyiladi. Lekin ikkalisining holat sharoiti bir xil. Shuning uchun jismlarning holatini, ya'ni isitilganlik darajasini aniqlashda temperaturadan foydalaniladi.

Temperaturani o'lchaydigan asbob — *termometr* deyiladi. Termometrning ishlashi, yuqorida ko'rib o'tganimizdek, jismlarning bir-biriga energiya berish yoki olishiga asoslangan. Ko'pincha ishlatiladigan termometrlar suyuqlikli (simobli, spirtli) termometrlardir. Termometr shkalasini aniqlashda normal atmosfera bosimida muzning erish temperaturasi bilan suvning qaynash temperaturasi oralig'ini 100 ta teng bo'lakka bo'lib, har bir bo'limni bir gradus deb qabul qilinadi.

Selsiy ixtiro etgan termometrning shkalasida muzning erish temperaturasi nol gradus va suvning qaynash temperaturasi 100 gradus (167- rasm) deb olingan va bunday shkala temperaturaning *Selsiy shkalasi* deyiladi. Selsiy shkalasida ifodalangan temperatura t bilan belgilanadi va Selsiy gradusi ($^{\circ}\text{C}$) hisobida ifodalanadi.

Kelvin boshqa temperaturalar shkalasini taklif qildi. Bunda u nazariy ravishda olinishi mumkin bo'lgan eng kichik temperaturani *absolyut nol* deb, suvning uchlanma nuqtasi (suv, suv bug'i va muz bir-biriga tegib turgan holda muvozanatda bo'lish temperaturasi)ni 273,16 gradus deb oldi va bu temperaturalar oralig'ini 273,16 ta teng bo'lakka bo'ldi. Suvning uchlanma nuqtasi bilan muzning erish nuqtasi 0,01 gradusga farq qiladi. Kelvinning taklif qilgan shka-



167- rasm.

lasini *termodinamik* yoki *absolyut temperatura shkalasi* deyiladi. Bu shkala bilan ifodalangan temperatura T bilan belgilanadi va kelvin (K) hisobida ifodalanadi. Temperatura birligi kelvin SI da asosiy birliklardan biri hisoblanadi.

Kelvin shkalasi bo'yicha temperatura birligi qiymati Selsiy shkalasidagi qiymatga deyarli teng bo'lgani uchun Kelvin shkalasida ifodalangan temperatura Selsiy shkalasida ifodalangan temperatura bilan quyidagicha bog'lanishga ega bo'ladi:

$$T = 273 + t.$$

Angliya va Amerika Qo'shma Shtatlarida ba'zida temperaturaning Farengeyt shkalasidan foydalaniladi. Polyak fizigi G. Farengeyt 1709- yili spirtli termometr, 1714- yili simobli termometr ixtiro qildi va temperaturalar shkalasini tavsiya etdi. Farengeyt shkalasida muzning erish temperaturasini 32° ga va suvning qaynash temperaturasini 212° ga teng qilib olinib, bu temperaturalar intervali 180 ta teng bo'lakka (gradusga) bo'lingan, Farengeyt termometrlari amalda birinchi ishlatilgan yaroqli termometrlardan hisoblangan.

96- §. Ideal gaz holati

Gaz xossalari ustida batafsil to'xtalishdan avval gazning o'ziga tegishli bo'lgan ba'zi soddalashtirishlarni kelishib olaylik.

Biz yuqorida (93- § ga q.) modda agregat holatlaridan biri bo'lgan gaz holati ustida to'xtalib o'tgan edik. Ma'lumki, gazni tashkil

etuvchi atom va molekular orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari juda kichik bo'lib, ba'zi sharoitlarda ularni hisobga olmasa ham bo'ladi.

Biz ideal gaz holatini o'rganish uchun quyidagi soddalash-tirishlarni kiritamiz.

1. Gazni tashkil etuvchi atom va molekular o'lchamlarini hisobga olmasa ham bo'ladigan darajada kichik bo'lgan elastik sharchalardir.

2. Atom va molekular orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari juda kichik (umuman yo'q desa ham bo'ladi).

Bu shartlarni qanoatlantiruvchi gaz *ideal gaz* deyiladi. Gaz yuqoridagi shartlarning bajarilishi yoki bajarilmasligiga qarab ideal yoki real holatda bo'lishi mumkin. Berilgan massali gazning holati p bosim, V hajm va T temperaturalardan iborat uchta kattalikning qiymatlari bilan aniqlanadi. Bu kattaliklar *holat kattaliklari* deyiladi, ular bir-biriga qonuniy ravishda bog'langan bo'lib, ulardan birining o'zgarishi natijasida boshqalari ham o'zgaradi. Bu kattaliklarning o'zaro bog'lanishi analitik usulda

$$f(p, V, T) = 0$$

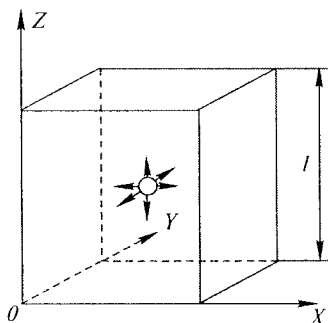
funksiya ko'rinishida ifodalanishi mumkin. Biror jismning kattaliklari orasidagi bog'lanishni ifodalovchi munosabat shu jismning *holat tenglamasi* deb ataladi. Binobarin, yuqoridagi munosabat berilgan gaz massasining holat tenglamasidir. Kattaliklarning o'zgarishi bilan gaz holatining o'zgarishi *gaz jarayoni* deyiladi. Temperatura o'zgarmaganda gaz bosimining uning hajmiga bog'liq holda o'zgarishi *izotermik jarayon*, bosimi o'zgarmaganda gaz hajmining uning temperaturasi bog'liq holda o'zgarishi *izobarik jarayon*, hajmi o'zgarmaganda gaz bosimining uning temperaturasi bog'liq holda o'zgarishi *izoxorik jarayon* deyiladi.

97- §. Ideal gazlar molekulyar-kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi

✓ Gazlar kinetik nazariyasi gaz holatini xarakterlovchi kattaliklar bilan molekular harakati o'rtasidagi bog'lanishni hosil qilishda asosiy rol o'ynaydi.

Biror idishda olingan gaz xaotik harakatdagi molekular to'plamidan iboratdir. Har bir molekula idish devoriga urilganda devorga biror kichik kuch bilan ta'sir qiladi, ammo molekular

to'plami esa kattagina kuch bilan ta'sir qiladi. Idish devorining yuz birligiga ta'sir etuvchi kuch gaz molekularining bosimiga teng. Demak, gazning bosimi gaz molekularini issiqlik harakati tufayli idish devoriga urilishidan kelib chiqadi. Molekulyar-kinetik nazariyaning asosiy tenglamasini keltirib chiqarish maqsadida quyidagicha shartlashib olamiz: tekshirilayotgan gaz, *birinchidan*, siyraklashtirilgan,



168- rasm.

muvozanat holatda, ya'ni temperatura, bosim berilgan gazning barcha qismlarida bir xil, kub shaklidagi idishda olingan bo'lsin: *ikkinchidan*, gaz bir xil m_0 massali molekulalardan tashkil topgan bo'lsin; *uchinchidan*, gaz molekularining o'lchami ular orasidagi masofaga nisbatan juda kichik bo'lsin (bunday sharoitda molekulalar betartib harakati natijasida bir-biri bilan deyarli to'qnashmaydi); va nihoyat, *to'rtinchidan*, har bir molekulaning harakati Nyuton mexanikasi qonuniga bo'ysunadi va molekulalarning idish devoriga urilishi absolyut elastik, ya'ni molekulalar idish devoriga urilib qaytganda hech qanday energiya yo'qotmaydi.

Kelishib olingan shartlarga binoan, molekulalarning issiqlik harakati mutlaqo ixtiyoriy bo'lgani tufayli o'zaro perpendikulyar bo'lgan uchta yo'nalish (OX , OY , OZ) larning har biri bo'ylab idishdagi hamma molekulalarning $1/3$ qismigina harakat qiladi (168- rasm).

Idishning o'ng devoriga tomon v tezlik bilan perpendikulyar borib urilayotgan bitta molekulani kuzataylik.

Idish devoriga urilgandan so'ng molekula — v tezlik bilan undan qaytadi. $\Delta\tau$ vaqtda molekulaning idish devoriga bergan kuch impulsi $F \Delta\tau$ bo'ladi. Impulsning o'zgarish qonuniga binoan

$$F \Delta\tau = mv - (-mv) = 2mv \quad (6)$$

bo'ladi.

Molekulalar tezliklarining koordinata o'qlariga proyeksiyalarini mos ravishda v_x, v_y, v_z bilan belgilaylik. Biror $\Delta\tau$ vaqt ichida idishning o'ng tomonidagi devoridan OX o'qi yo'nalishida $v_x \Delta\tau$ oraliqdagi molekulalar devorga yetib borib urilsin, ya'ni $V' = Sv_x \Delta\tau$

hajmdagi molekular urilsin (bunda S — idish devorining yuzi). Agar idishning birlik hajmidagi molekular soni n bo'lsa, bu ajratib olingan hajmdagi molekular soni $z = nSv_x \Delta\tau$ bo'ladi. Lekin shu ajratib olingan hajmdagi molekularning yarmi $\Delta\tau$ vaqt oralig'ida devorga uriladi, ikkinchi yarmi esa o'ngdan chapga, ya'ni idish devoridan qaytayotgan molekular sonini tashkil etadi. Shuning uchun idishning S yuzli devoriga urilgan molekular soni

$$z' = \frac{1}{2} n S v_x \Delta\tau$$

bo'ladi.

Bitta molekulaning devorga bergan impulsi mv_x bo'lgani uchun z' molekulaning shu devorga bergan impulsi

$$F' \Delta\tau = mv_x z'$$

yoki

$$F' \Delta\tau = \frac{1}{2} nmv_x^2 S \Delta\tau \quad (7)$$

bo'ladi. Shu vaqt ichida xuddi shuncha (z' ta) molekula S yuzli devordan absolyut qiymati jihatidan (7) ga teng bo'lgan impuls olib o'ngdan chapga tomon harakatlanadi. Shunday qilib V' hajmdagi molekularning idish devoriga borib urilib qaytishidagi impuls o'zgarishi (6) ifodaga o'xshash quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\frac{1}{2} nmv_x^2 S \Delta\tau - \left(-\frac{1}{2} nmv_x^2 S \Delta\tau\right) = nmv_x^2 S \Delta\tau$$

yoki

$$F \cdot \Delta\tau = nmv_x^2 S \Delta\tau. \quad (8)$$

(8) tenglamaning har ikki tomonini $S \Delta\tau$ ga bo'lib, quyidagi natijaga ega bo'lamiz:

$$\frac{F}{S} = nmv_x^2,$$

bunda $\frac{F}{S} = p$ — bosimni ifodalagani uchun yuqoridagi tenglamani quyidagi ko'rinishda yoza olamiz:

$$p = nmv_x^2. \quad (9)$$

Ma'lumki, tanlab olingan hajmdagi molekullarning hammasi ham v_x tezlik bilan harakatlanavermaydi, ba'zilar v_x dan katta, ba'zilari v_x dan kichik tezlik bilan harakatlanadi. Shuning uchun v_x^2 o'rniga $\overline{v_x^2}$ o'rtacha qiymatini olib (9) tenglikni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$p = nm\overline{v_x^2}. \quad (9a)$$

Har bir molekulaning tezligini uning OX , OY , OZ o'qlardagi proyeksiyalari orqali quyidagicha yozish mumkin:

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2,$$

tezliklarning o'rtacha qiymati esa

$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2} \quad (10)$$

bo'ladi. Molekulyar harakat tartibsiz harakat bo'lgani sababli uchala koordinata o'qlari bo'yicha tezliklar kvadratlarning o'rtacha qiymatlarini o'zaro teng deb faraz qilish mumkin, ya'ni:

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}.$$

(10) formulani nazarga olib,

$$\overline{v_x^2} = \frac{\overline{v^2}}{3} \quad (11)$$

ni yozish mumkin. (11) ni (9a) ga qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$p = \frac{1}{3} nm\overline{v^2} \quad (9b)$$

yoki

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m\overline{v^2}}{2}, \quad (9d)$$

bu yerda $v^* = \sqrt{\overline{v^2}}$ — gaz molekullarining o'rtacha kvadratik tezligi deb ataladigan tezlik, $\frac{m\overline{v^2}}{2} = \overline{E_k}$ — bitta molekulaning ilgarilanma harakat kinetik energiyasining o'rtacha qiymati. Shuning uchun (9d) tenglamani kinetik energiya orqali quyidagicha yozish mumkin:

$$\sqrt{p} = \frac{2}{3} n \bar{E}_k \quad (9e)$$

✓ Bu molekulyar-kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi bo'lib, undan gaz bosimi hajm birligidagi molekular kinetik energiyasining o'rtacha qiymatiga to'g'ri proporsional ekani kelib chiqadi.

Shunday qilib, *gazning bosimi hajm birligidagi gaz molekularining o'rtacha kinetik energiyasining uchdan ikki qismiga teng.*

98- §. Ideal gaz bosimining temperaturaga bog'liqligi. Bolsman doimiysi. Loshmidt soni

Endi gaz bosimini uning temperaturasiga bog'lanish formulasini keltirib chiqaraylik. Buning uchun quyidagicha mulohaza yuritamiz.

Ma'lumki, molekularning xotik harakati modda temperaturasiga bog'liq: temperatura qancha yuqori bo'lsa, molekular shuncha tez harakatlanadi va ularning tezligi shuncha katta bo'ladi (Broun harakatini eslang). Temperatura ortishi bilan modda molekulari kinetik energiyasining o'rtacha qiymati ham ortadi. Bundan molekularning tartibsiz harakati kinetik energiyasining o'rtacha qiymati bilan modda temperaturasi bir-biri bilan o'zaro to'g'ri proporsional bog'lanishda bo'lgan fizik kattaliklar ekan, degan xulosaga kelamiz. Boshqacha qilib aytganda, biz temperatura deb ataydigan kattalik aslida molekular ilgarilama harakatining o'rtacha kinetik energiyasidir. U holda temperatura energiya birliklarida (SI da joul hisobida) o'lchanishi kerak. Biroq amalda temperaturaning bunday birligidan foydalanish noqulay. Chunki, birinchidan, energiyaning birligi temperaturaning o'lchov birligi bo'lishi uchun juda kattalik qiladi. Masalan, muzning erish temperaturasi $3,67 \cdot 10^{-21}$ J ga teng bo'lar edi. Ikkinchidan, Joullarda ifodalangan temperaturani o'lchash ham juda qiyin bo'lar edi. Uchinchidan, temperatura kattaligidan ilgaridan, ya'ni temperaturaning asl ma'nosini tushuntirib beruvchi molekulyar-kinetik tasavvurlar rivojlangunga qadar foydalanib kelingan. Shu sabablarga ko'ra temperaturani graduslarda (garchi bu birlik shartli bo'lsa-da) o'lchanadi.

Biroq temperatura graduslarda o'lchansa, u holda energiya birligini graduslarga o'tkazuvchi tegishli koeffitsient kiritish kerak bo'ladi.

Ideal gaz uchun qo‘llaganda bu kattaliklar orasidagi bog‘lanishni ifodalashda gaz temperaturasi molekular kinetik energiyasining o‘rtacha qiymatining uchdan ikki qismiga to‘g‘ri proporsional deb hisoblash qulay, ya‘ni

$$\frac{2}{3} \frac{\overline{mv^2}}{2} = kT, \quad (12)$$

chunki bu molekulyar-kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi (9e) ning ko‘rinishini soddalashtiradi. (12) formulada k — energiya birligi bilan temperatura birligi orasidagi munosabatni ifodalovchi kattalik bo‘lib, uni *Bolsman doimiysi* deb ataladi. Uning son qiymati tajribada aniqlanadi. Bolsman doimiysi alohida ahamiyatga ega bo‘lgani tufayli uni ko‘p usullar bilan aniqlangan. Bu doimiyning hozirgi vaqtdagi eng aniq qiymati SI da

$$k = 1,380662 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

(12) formuladan foydalanib, molekular tartibsiz harakatining o‘rtacha kinetik energiyasini temperatura orqali

$$\overline{E}_k = \frac{\overline{mv^2}}{2} = \frac{3}{2} kT \quad (13)$$

ko‘rinishda yozish mumkin. (13) formuladan molekular ilgarilanma harakatining o‘rtacha kinetik energiyasi faqat temperaturaga bog‘liqligi kelib chiqadi: *molekular ilgarilanma harakati kinetik energiyasi absolyut temperaturaga to‘g‘ri proporsionaldir.*

Shunday qilib, (13) formuladan, temperaturalarning absolyut shkalasi (Kelvin shkalasi) fizik ma‘noga ega ekanligi, absolyut temperaturaning noli molekular tartibsiz harakatining o‘rtacha kinetik energiyasi nolga teng bo‘lgandagi temperatura, ya‘ni molekularlarning xaotik harakati to‘xtaydigan temperatura ekanligi kelib chiqadi.

(9e) tenglamaga molekularlarning o‘rtacha kinetik energiyasi (13) ifodasini keltirib qo‘yib, ideal gazning bosimi uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$p = \frac{2}{3} n \cdot \frac{3}{2} kT = nkT. \quad (14)$$

Demak, *ideal gazning bosimi uning absolyut temperaturasiga va hajm birligidagi molekular soniga to'g'ri proporsional ekan.*

(14) dan hajm birligidagi molekularning soni quyidagiga teng ekani kelib chiqadi:

$$n = \frac{p}{kT}. \quad (15)$$

Ma'lumki, normal sharoit deganda $p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ bosim va $T_0 = 0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$ temperatura bilan xarakterlanadigan sharoit tushuniladi. (15) tenglikdan foydalanib, normal sharoit uchun hajm birligidagi molekular sonini hisoblab topish mumkin:

$$n_0 = \frac{p_0}{kT_0} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 273 \text{ K}} = 2,69 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}.$$

Bu sonni birinchi bo'lib, avstriyalik fizik-kimyogar I. Loshmidt aniqlagani uchun uning nomi bilan *Loshmidt soni* deb ataladi.

99- §. Dalton qonuni

Berilgan V hajmli idishda issiqlik muvozanati holatida bo'lgan bir-biri bilan kimyoviy reaksiyaga kirishmaydigan va konsentratsiyalari n_1, n_2, n_3, \dots bo'lgan turli gazlar aralashmasi berilgan bo'lsin. Aralashmaning umumiy konsentratsiyasi

$$n = n_1 + n_2 + n_3 + \dots$$

bo'ladi.

Bunday aralashmaning idish devorlariga bergan bosimi quyidagicha aniqlanadi:

$$p = nkT = (n_1 + n_2 + n_3 + \dots) kT$$

yoki

$$p = n_1 kT + n_2 kT + n_3 kT + \dots \quad (16)$$

Bu ifoda molekularning har bir guruhi boshqa guruh molekularining qanday bosim berishiga bog'liq bo'lmagan bosim berishini ko'rsatadi. Quyidagi ifodalar

$$p_1 = n_1 kT, \quad p_2 = n_2 kT, \quad p_3 = n_3 kT, \dots$$

V hajmni egallagan aralashmaning har bir komponenti (tarkibiy qismlar)ning bosimidir. Bu bosimlarni aralashma komponentlarining *parsial bosimi* deyiladi. Biror gazning — gaz aralashmasi komponentining — *parsial bosimi* deb ana shu gazning yolg'iz o'zi aralashma egallagan butun hajmni egallaganda ko'rsatishi mumkin bo'lgan bosimga aytiladi.

Shunday qilib,

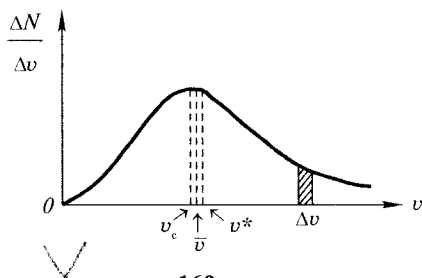
$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots \quad (16 a)$$

Bu *Dalton qonuni* deb ataladi va u quyidagicha ta'riflanadi: *gaz aralashmasining umumiy bosimi bu aralashmani tashkil etuvchi gazlarning parsial bosimlari yig'indisiga teng bo'ladi.*

100- §. Gaz molekularining tezligi. Maksvell taqsimoti

Gaz molekulari juda xilma-xil tezliklar bilan harakatlanadi. Alohida olingan bir molekulaning tezligi molekularning o'zaro to'qnashuvi tufayli ham kattaligi jihatdan, ham yo'nalishi jihatdan doimo o'zgarib turadi. Boshqacha qilib aytganda, aniq bir tezlik bilan harakatlanuvchi molekular sonini hisoblash mumkin emas, chunki har bir muayyan paytda bunday molekular umuman bo'lmasligi mumkin. Lekin tezliklari ma'lum tezlik intervali (orali-g'i)da yotuvchi, masalan, berilgan biror v_1 va v_2 tezliklar orasida bo'lgan molekular sonini topish haqida masala qo'yilishi mumkin. Tezliklarning butun diapazonini tezlikning juda kichik Δv ga teng intervallarga ajratamiz. Bunda har bir tezliklar intervaliga tezliklari shu intervalda bo'lgan biror ΔN molekular soni to'g'ri keladi.

$\frac{\Delta N}{\Delta v}$ — nisbat tezlikning har bir birlik intervaliga qancha molekula to'g'ri kelishini bildiradi. Masalan, ΔN tezliklari tezlikning $200 \frac{m}{s}$ dan $250 \frac{m}{s}$ gacha intervalida yotgan molekularning sonini bildirsin, bunda tezlik intervali $\Delta v = 50 \frac{m}{s}$ bo'ladi. $\frac{\Delta N}{\Delta v}$ nisbat esa tezliklari tezlikning shu Δv intervali ichidagi istalgan bir birlik



169- rasm.

motini bildiradi va molekular sonining tezliklar bo'yicha *Maksvell taqsimot funksiyasi* deyiladi. Maksvell taqsimot funksiyasi *Maksvell qonuni* deb ataladigan quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\frac{\Delta N}{\Delta v} = N \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{\mu}{2RT} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot e^{-\frac{\mu}{2RT} v^2}, \quad (17)$$

bu yerda N — gaz molekularining umumiy soni, μ — gazning molekulyar massasi, R — gaz universal doimiysi, e — natural logarifmlar asosi, T — gazning absolyut temperaturasi.

Maksvell taqsimot funksiyasining grafigi 169- rasmda keltirilgan. Grafikdan ko'rinadiki, taqsimot funksiyasi tezlikning v_c qiymatida o'zining maksimal qiymatiga erishadi. v_c tezlikni *eng katta ehtimolli tezlik* deb ataladi.

Eng katta ehtimolli tezlik deb shunday tezlikka aytiladiki, uning yaqinida tezlikning birlik intervaliga eng ko'p molekular soni to'g'ri keladi. Bu tezlik quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$v_c = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}. \quad (18)$$

Taqsimot funksiyasining grafigidan ko'rinadiki, $v = 0$ da $\frac{\Delta N}{\Delta v} \rightarrow 0$ va $v \rightarrow \infty$ da $\frac{\Delta N}{\Delta v} \rightarrow 0$, demak, gaz hajmida tezligi nolga teng yoki cheksiz katta bo'lgan molekular yo'q, deb aytish mumkin.

Umuman, gaz molekulari tezligi haqida so'z borganda uch xil tezlik haqida gapiriladi: o'rtacha arifmetik tezlik \bar{v} , o'rtacha kvadratik tezlik $v^* = \sqrt{v^2}$ va eng katta ehtimolli tezlik v_c .

O'rtacha kvadratik tezlik haqida tushunchaga egamiz (97- § ga q.) Uning ifodasini topish uchun gaz molekulari ilgarilanma

(masalan, $229 \frac{m}{s}$ dan $230 \frac{m}{s}$ gacha) oralig'ida yotgan molekularning sonini bildiradi. Ingliz fizigi Maksvell ehtimollar nazariyasidan foydalanib bu nisbatni aniqlagan. $\frac{\Delta N}{\Delta v}$ nisbat molekularning tezliklar bo'yicha taqsi-

motini bildiradi va molekular sonining tezliklar bo'yicha *Maksvell taqsimot funksiyasi* deyiladi. Maksvell taqsimot funksiyasi *Maksvell qonuni* deb ataladigan quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\frac{\Delta N}{\Delta v} = N \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{\mu}{2RT} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot e^{-\frac{\mu}{2RT} v^2}, \quad (17)$$

bu yerda N — gaz molekularining umumiy soni, μ — gazning molekulyar massasi, R — gaz universal doimiysi, e — natural logarifmlar asosi, T — gazning absolyut temperaturasi.

Maksvell taqsimot funksiyasining grafigi 169- rasmda keltirilgan. Grafikdan ko'rinadiki, taqsimot funksiyasi tezlikning v_c qiymatida o'zining maksimal qiymatiga erishadi. v_c tezlikni *eng katta ehtimolli tezlik* deb ataladi.

Eng katta ehtimolli tezlik deb shunday tezlikka aytiladiki, uning yaqinida tezlikning birlik intervaliga eng ko'p molekular soni to'g'ri keladi. Bu tezlik quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$v_c = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}. \quad (18)$$

Taqsimot funksiyasining grafigidan ko'rinadiki, $v = 0$ da $\frac{\Delta N}{\Delta v} \rightarrow 0$ va $v \rightarrow \infty$ da $\frac{\Delta N}{\Delta v} \rightarrow 0$, demak, gaz hajmida tezligi nolga teng yoki cheksiz katta bo'lgan molekular yo'q, deb aytish mumkin.

Umuman, gaz molekulari tezligi haqida so'z borganda uch xil tezlik haqida gapiriladi: o'rtacha arifmetik tezlik \bar{v} , o'rtacha kvadratik tezlik $v^* = \sqrt{v^2}$ va eng katta ehtimolli tezlik v_c .

O'rtacha kvadratik tezlik haqida tushunchaga egamiz (97- § ga q.) Uning ifodasini topish uchun gaz molekulari ilgarilanma

harakatining o'rtacha kinetik energiyasi ifodalari

$$\overline{E_k} = \frac{mv^2}{2} \text{ va } \overline{E_k} = \frac{3}{2} kT$$

dan foydalanamiz. Bu ifodalarning o'ng qismlarini tenglashtirsak,

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2} kT,$$

bundan, molekullarning o'rtacha kvadratik tezligi uchun

$$v^* = \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \text{ yoki } v^* = \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad (19)$$

ifodani hosil qilamiz, bu yerda $k = \frac{R}{N_A}$ — Bolsman doimiysi, $N_A \cdot m = \mu$ — gazning molekulyar massasi, N_A — Avogadro soni.

Maksvell taqsimot qonunidan molekullarning o'rtacha arifmetik tezligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$v = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}} \quad (20)$$

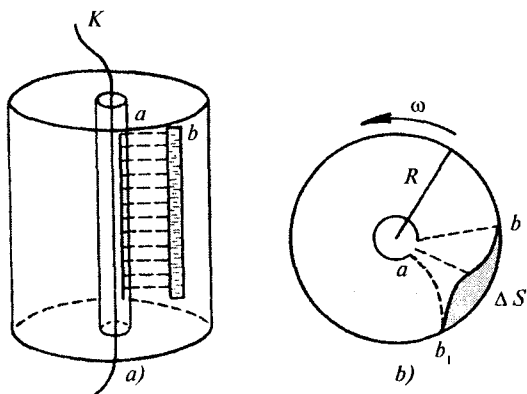
(18), (19) va (20) formulalardan

$$v_c = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} \approx 1,41 \sqrt{\frac{RT}{\mu}}, \quad \bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}} = 1,60 \sqrt{\frac{RT}{\mu}} \text{ va } v^* = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \approx 1,73 \sqrt{\frac{RT}{\mu}}$$

ekanligi kelib chiqadi, ya'ni $v_c < \bar{v} < v^*$ ekan (169- rasmga q.)

101- §. Gaz molekullarining tezligini o'lchash. Shtern tajribasi

Molekullarning tezligini birinchi marta 1920- yilda nemis fizigi Shtern tajriba yo'li bilan aniqlagan. Bu maqsadda ishlatilgan asbob ikki koaksial (o'qlari bir-biri bilan ustma-ust tushadigan) silindrdan iborat bo'lib, asbobning o'qi bo'ylab ustiga kumush yugurtirilgan K platina simi tortilgan (170- a rasm). Ichki silindrda ensiz vertikal tirqish qoldirilgan. Kumush atomlarining havo molekullari bilan to'qnashuvi sodir bo'lmasligi uchun (chunki bunday to'qnashuv zarralarning harakat yo'nalishlarini va tezliklarini o'zgartirishi mumkin) qurilma ichidan havosi so'rib olingan. Platina simni undan tok o'tkazib qizdirilganda kumush bug'lanib, ichki silindrning hajmi kumush atomlari bilan to'ladi. Simdan radial yo'nalishda uchib



170- rasm.

chiqqan atomlar a tirqishdan chiqib, tashqi silindrning devoriga kelib o'tiradi va torgina b kumush izni hosil qiladi (170- a rasimga q.). Shtern butun qurilmani K simdan o'tuvchi o'q atrofida ω burchak tezlik bilan aylantiradi. Natijada kumush atomlari tirqish qarshisida emas, balki bu joydan aylanish yo'nalishiga nisbatan orqada o'tiradi va tashqi silindrning sirtida torgina b izning o'rnida qalinligi bir xil bo'lmagan keng bb_1 yo'l hosil bo'ladi (170- b rasm). Bunga turli atomlarning tezligi turlicha ekanligi sabab bo'ladi; tezligi kattaroq atomlar yo'lining b boshlanishiga yaqinroq, tezligi kichikroq atomlar yo'lining b_1 oxiriga yaqinroq o'tiradi. Atomlar harakatining turli tezliklariga to'g'ri keladigan atomlar soni turlicha bo'lishi sababli yo'lining qalinligi ham turlicha bo'ladi (170- b rasmda yo'lining qirqimi shtrixlab tasvirlangan).

Shunday qilib, yo'l qirqimining har bir joyi ma'lum tezlikka va o'tirgan atomlarning ma'lum soniga to'g'ri keladi. Yo'l qirqimining ko'rinishi Maksvell taqsimot funksiyasi grafigining ko'rinishiga o'xshashligidan, Shtern tajribasi Maksvell qonunining to'g'riligini sifat jihatdan tasdiqlovchi dalildir, deyish mumkin.

b va b_1 nuqtalar orasidagi ΔS siljishni dastadagi kumush atomlarining o'rtacha \bar{v} tezligi bilan bog'lash mumkin. Aytaylik, tashqi silindrning radiusi R bo'lsin. Kumush atomlarining K simdan tashqi silindr devorigacha uchib borishi uchun ketgan o'rtacha vaqt

$$t = \frac{R}{\bar{v}}$$

bo'ladi. Idish devoridagi har bir nuqta shu t vaqt ichida $\Delta S = \omega R t$ yo'lni bosib o'tadi, bunda ω — qurilmaning aylanish burchak tezligi.

Oxirgi tenglikdan $t = \frac{\Delta S}{\omega R}$ bo'ladi. t vaqt uchun hosil qilingan ikkala ifodani bir-biriga tenglashtirib, quyidagi natijani olamiz:

$$\bar{v} = \frac{\omega R^2}{\Delta S}.$$

ω va R ning qiymatlari Shtern asbobining xarakteristikallari sifatida ma'lum. ΔS esa bevosita o'lchashlar orqali aniqlanadi.

Shtern tajribasining natijalari atomlar o'rtacha arifmetik tezligining Maksvell taqsimotidan kelib chiqadigan qiymatlari to'g'ri ekanligini tasdiqlaydi.

102- §. Klapeyron — Mendeleyev tenglamasi. Universal gaz doimiysi

Tabiatda gaz holatini xarakterlovchi kattaliklar (p , V , T) ning uchulasi ham bir vaqtda o'zgaradigan jarayonlar ko'p uchraydi. Shu sababli uchala kattalik orasidagi bog'lanishni ifodalaydigan formulani, ya'ni ideal gaz holat tenglamasini molekulyar-kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi

$$p = n \cdot kT$$

dan keltirib chiqaramiz. Bu tenglamaning har ikki tomonini 1 mo'l gazning hajmi V_μ ga ko'paytirsak,

$$p \cdot V_\mu = n V_\mu kT \quad (21)$$

ni hosil qilamiz. Bunda $n V_\mu = N_A$ — Avogadro sonini ifodalaydi. U vaqtda (21) ifodaga ikki universal doimiy — Avogadro soni N_A va Bolsman doimiysi k kiradi. Universal doimiylar ko'paytmasi ham universal doimiy bo'lishi ravshan. Bu kattalik *universal gaz doimiysi* deb ataladi va R harfi bilan belgilanadi:

$$R = N_A \cdot k = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mo'l}} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mo'l} \cdot \text{K}} \quad (22)$$

(21) tenglamada $N_A k$ ni R bilan almashtirib, quyidagi formulani olamiz:

$$p V_{\mu} = RT. \quad (23)$$

Ideal gazning holat tenglamasini birinchi bo‘lib 1834- yili fransuz fizigi B. Klapeyron gaz eksperimental qonunlarini umumlashtirib hosil qilgan. Lekin Klapeyron tenglamasi kamchilikdan holi emas edi. Bu kamchilikni 1874- yili rus olimi D. I. Mendeleyev bartaraf etib, Klapeyron tenglamasini (23) formula ko‘rinishiga keltiradi. Shuning uchun ideal gaz holat tenglamasining bunday ko‘rinishi *Klapeyron — Mendeleyev tenglamasi deyiladi*. Bu tenglama gaz turiga bog‘liq bo‘lmagan holda 1 mo‘l gaz uchun o‘rinlidir. (23) tenglamani ixtiyoriy m massali gaz uchun umumlashtirib yozish mumkin. 1 mo‘l berilgan gazning hajmi V_{μ} bo‘lgani uchun shu sharoitda berilgan gazning 1 kg ning hajmi

$$V_1 = \frac{V_{\mu}}{\mu},$$

m kg ning hajmi esa

$$V = \frac{V_{\mu}}{\mu} m = V_{\mu} \frac{m}{\mu}$$

ga teng bo‘ladi.

Bu ifodadan V_{μ} ning qiymatini (23) tenglamaga qo‘ysak, quyidagi ifoda hosil bo‘ladi:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT. \quad (24)$$

Bu tenglama ixtiyoriy massali gaz uchun *Klapeyron — Mendeleyevning umumlashgan tenglamasi* deyiladi.

103- §. Gaz qonunlari

✓ Klapeyron—Mendeleyev tenglamasi ideal gaz holat tenglamasidir. Tabiiy gazlarning barchasi esa real gaz hisoblanadi. Lekin real gaz siyraklashtirilgan, ya‘ni past bosim ostida bo‘lsa, shuningdek, temperaturasi normal temperaturaga yaqin (273 K) yoki undan yuqori bo‘lsa, u holda bunday real gaz o‘z xossalari jihatidan ideal gaz kabi deb qaralishi va unga ideal gaz holat tenglamasini qo‘llash mumkin. Shu nuqtai nazardan XVII—XIX asrlarda olimlar tomonidan tajribalar asosida aniqlangan gaz qonunlarini ideal gaz holat tenglamasining xususiy holi sifatida tasavvur qilish mumkin.

Ideal gaz holat tenglamasi

$$pV = \frac{m}{\mu} RT$$

da berilgan muayyan gaz uchun $m = \text{const}$, $\mu = \text{const}$ va R — universal gaz doimiysi. Binobarin, formulada p , V va T lar o'zgaruvchi parametrlar bo'lib, ular o'zaro bog'langan va birining o'zgarishi qolganlarining ham o'zgarishiga olib keladi. Yuqorida 96-§ da qayd qilib o'tilganidek, bu parametrlarning biri o'zgarmas bo'lganda kechadigan gaz jarayonlari izojarayonlar bo'ladi. Shu izojarayonlarni tavsiflovchi empirik qonunlar bilan tanishib chiqaylik.

1. **Izotermik jarayon.** Bu holda gazning temperaturasi $T = \text{const}$ bo'ladi. Klapeyron—Mendeleyev tenglamasidan izotermik jarayonni tavsiflovchi gaz holat tenglamasi

$$pV = \text{const yoki } p_0 V_0 = pV = \dots \quad (25)$$

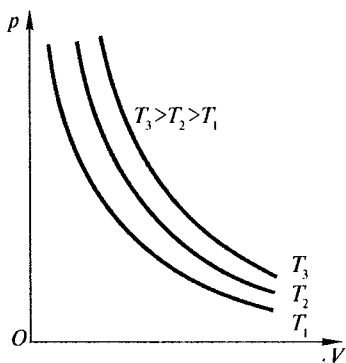
ko'rinishda ekanligi kelib chiqadi, bu yerda p_0 va p lar gaz hajmi mos ravishda V_0 va V ga teng bo'lgandagi gaz bosimini ifodalaydi.

Demak, (25) dan gaz temperaturasi o'zgarmas bo'lganda gaz hajmining bosimiga ko'paytmasi o'zgarmas bo'ladi.

Izotermik jarayonni bir-biridan bexabar 1661- yili ingliz fizik kimyogari. R. Boyle va 1676- yili fransuz fizigi E. Mariott tajriba asosida o'rganishgan. Ular izotermik jarayonda gaz bosimi p bilan hajmi V orasida (25) formulada ifodalangandek bog'lanish bor ekanligini aniqlashgan. Shuning uchun (25) formula bilan ifodalangan qonun *Boyle—Mariott* qonuni deb ataladi va u quyidagicha ta'riflanadi:

Berilgan massali gaz uchun o'zgarmas temperaturada gazning bosimi uning hajmiga teskari proporsional o'zgaradi.

Izotermik jarayonda gaz hajmining bosimga bog'liqligini grafik ravishda tasvirlash maqsadida absissa o'qiga hajm, ordinata o'qiga bosim qiymatlarini qo'yib, bu qiymatlarga mos kelgan nuqtalarni silliq tutash chiziq bilan birlashtiriladi. Hosil bo'lgan bu egri chiziq giperboladan iborat bo'lib, *izoterma chizig'i* deyiladi. Har bir o'zgarmas temperaturaga o'zining izotermasi mos keladi. Yuqori temperaturalarga mos kelgan izotermalar pV diagrammada yuqorida yotadi (171- rasm).



171- rasm.

Kichik bosim ostidagi siyrak gazlar uchun Boyle — Mariott qonuni aniq bajariladi. Yuqori bosim ostidagi zichligi katta bo'lgan gazlar Boyle — Mariott qonunidan chetlanadi, chunki yuqorida qabul qilingan shartlarga bo'ysunmay, ideal gaz holatidan chiqadi.

2. Izobarik jarayon. Bunday jarayon gaz bosimi $p = \text{const}$ da sodir bo'ladi. Klapeyron—Mendeleyev tenglamasidan izobarik jarayonni tavsiflovchi gaz holat tenglamasi

$$\frac{V}{T} = \text{const} \quad \text{yoki} \quad \frac{V_0}{T_0} = \frac{V}{T} = \dots \quad (26)$$

ko'rinishda ekanligi kelib chiqadi, bu yerda V_0 va V lar mos ravishda gazning T_0 va T temperaturalardagi hajmlari.

Demak, o'zgarmas bosimda gazning hajmi absolyut temperaturaga to'g'ri proporsional bo'ladi.

Izobarik jarayonni 1802- yili fransuz fizik-kimyogari J. Gey-Lyussak tajriba asosida o'rgangan va gaz bosimi o'zgarmas bo'lganda hajmi bilan temperaturasi orasida quyidagicha bog'lanish borligini aniqlagan:

$$V = V_0 (1 + \beta t), \quad (27)$$

bu yerda V_0 va V lar mos ravishda gazning 0°C va $t^\circ\text{C}$ temperaturalardagi hajmi, β — o'zgarmas bosimda *hajmiy kengayish termik koeffitsienti* bo'lib, (27) formulaga ko'ra, bu koeffitsient quyidagi

$$\beta = \frac{V - V_0}{V_0 t} \quad (28)$$

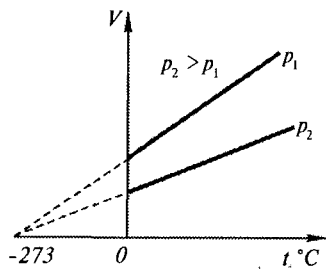
ifodadan aniqlanadi. (28) dan ko'rinadiki, *hajmiy kengayish termik koeffitsienti gazning temperaturasi bir gradusga ko'tarilganda gaz hajmining nisbiy o'zgarishini ko'rsatadi.*

(27) formula Gey-Lyussakning birinchi qonunining analitik ifodasi bo'lib, bu qonun quyidagicha ta'riflanadi:

Berilgan massali gaz uchun o'zgarmas bosimda gazning hajmi temperaturaning o'zgarishi bilan chiziqli o'zgaradi.

Hajmiy kengayish termik koeffitsient β hamma ideal gazlar uchun bir xil bo'lib,

$$\beta = \frac{1}{273} \text{ K}^{-1} \quad (29)$$



172- rasm.

ga teng, ya'ni o'zgarmas bosim ostida olingan gaz massasining temperaturasi bir kelvinga o'zgaranda uning hajmi o'zining dastlabki (273 K dagi) qiymatining $1/273$ qismiga o'zgarishini ko'rsatadi.

Abssissa o'qiga temperatura qiymatlarini, ordinata o'qiga hajm qiymatlarini qo'yib, izobarik jarayonning grafigini hosil qilamiz, bunga *izobara chizig'i* deyiladi. Turli xil bosimlarga turli xil izobaralar chizig'i to'g'ri keladi (172- rasm).

Temperaturalarning Kelvin va Selsiy shkalalari orasidagi $T = 273 + t$ bog'lanishdan va β ning son qiymatidan foydalanib, (27) formulani o'zgartiramiz:

$$V = V_0(1 + \beta t) = V_0 \left(1 + \frac{t}{273} \right) = V_0 \frac{273+t}{273} = V_0 \frac{T}{T_0},$$

bu yerda $T_0 = 273 \text{ K}$. Binobarin,

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V}{T}. \quad (26a)$$

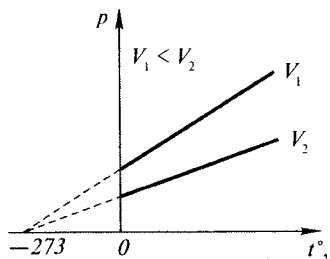
(26) va (26a) formulalarni bir-biriga taqqoslab, Gey-Lyussakning birinchi qonuni Klapeyron—Mendeleyev tenglamasining xususiy xoli ekanligiga yana bir marta ishonch hosil qilamiz.

3. Izoxorik jarayon. Bunday jarayonda $V = \text{const}$ bo'ladi. Klapeyron—Mendeleyev tenglamasidan izoxorik jarayon quyidagi

$$\frac{p}{T} = \text{const} \text{ yoki } \frac{p_0}{T_0} = \frac{p}{T} = \dots \quad (30)$$

ko'rinishdagi holat tenglamasi bilan tavsiflanadi, bu yerda p_0 va p lar mos ravishda gazning T_0 va T temperaturalardagi bosimi.

Demak, *hajm o'zgarmas bo'lgan sharoitda, gazning bosimi absolyut temperaturaga to'g'ri proporsional bo'ladi.*



173- rasm.

Izoxorik jarayonni ham Gey-Lyussak tajriba asosida o‘rganib, gazning bosimi bilan temperaturasi orasida quyidagicha bog‘lanish mavjudligini aniqladi:

$$p = p_0(1 + \gamma t), \quad (31)$$

bunda γ —bosimning termik koeffitsienti deb ataladi. (31) dan

$$\gamma = \frac{p - p_0}{p_0 t} \quad (32)$$

ekani kelib chiqadi. Demak, *bosimning termik koeffitsienti berilgan gaz massasining hajmi o‘zgaras bo‘lgan sharoitda temperaturasini bir gradusga o‘zgartirilganda bosimining nisbiy o‘zgarishini ko‘rsatar ekan*. Barcha ideal gazlar uchun γ ning son qiymati bir xil bo‘lib,

$$\gamma = \frac{1}{273} \text{ K}^{-1}$$

ga tengdir. Demak, *hajm o‘zgaras bo‘lgan sharoitdagi gaz massasining temperaturasini bir kelvinga o‘zgartirilganda uning bosimi dastlabki (273 K dagi) bosimining 1/273 qismiga o‘zgaradi*.

(31) formula Gey-Lyussak tomonidan yaratilgan qonunning analitik ko‘rinishi bo‘lib, uni *Gey-Lyussakning ikkinchi qonuni* deb ataladi va quyidagicha ta‘riflanadi: *berilgan massali gaz uchun hajm o‘zgaras bo‘lgan sharoitda gazning bosimi temperaturaning o‘zgarishi bilan chiziqi o‘zgaradi*.

Bu qonun 1787- yilda fransuz fizigi Sharl tomonidan tajribalar asosida taxminiy aytilgan edi, shuning uchun uni ba‘zan *Sharl qonuni* deb ham yuritiladi.

Abssissa o‘qiga gaz temperaturalarining qiymatini, ordinata o‘qiga shu temperaturalarga mos kelgan bosimlar qiymatini qo‘yib, hosil qilingan nuqtalar orqali tutash chiziq o‘tkazsak, *izoxora chizig‘i* hosil bo‘ladi. Hajmning turli qiymatlariga turli izoxoralar mos keladi (173- rasm).

Absolyut temperatura yordamida (31) formulani quyidagi sodda ko‘rinishga keltirish mumkin:

$$p = p_0(1 + \gamma t) = p_0 \left(1 + \frac{t}{273} \right) = p_0 \frac{273+t}{273} = p_0 \frac{T}{T_0},$$

bu yerda $T_0 = 273 \text{ K}$. Binobarin,

$$\frac{p_0}{T_0} = \frac{p}{T} \quad (30a)$$

(30) va (30a) formulalarni o'zaro taqqoslab, Gey-Lyussakning ikkinchi qonuni ham ideal gaz holat tenglamasining xususiy holi ekan, degan xulosaga kelamiz.

(27) va (31) formulalardan izobara va izoxora chiziqlari temperaturalar o'qini -273°C nuqtada kesib o'tuvchi to'g'ri chiziqlardan iborat ekanligi kelib chiqadi (172 va 173- rasmlarga q.)



Takrorlash uchun savollar

1. Temperaturaning fizik mazmunini tushuntiring.
2. Temperaturalar shkalasi qanday hosil qilingan?
3. Ideal gaz deb qanday gazga aytiladi?
4. Molekulyar-kinetik nazariyaning asosiy tenglamasini keltirib chiqaring.
5. Temperatura — molekullar o'rtacha kinetik energiyasining o'lchovi ekanini tushuntiring.
6. Dalton qonunini tushuntiring.
7. Ideal gaz uchun Mendeleyev— Klapeyron tenglamasini yozing.
8. Ideal gazning zichligi qaysi parametrlarga bog'liq? Uni molekulyar-kinetik nazariya asosida tushuntiring.
9. Universal gaz doimiysi R ning fizik mazmunini energetik nuqtayi nazardan qanday tushuntira olasiz?
10. Boyl—Mariott, Gey-Lyussak qonunlarini ta'riflang va analitik ifodasini yozing.



Masala yechish namunalari

1- masala. Massasi 20 g bo'lgan bir atomli gaz molekullarining to'la kinetik energiyasi 3,2 kJ ga teng. Shu gaz molekullarining o'rtacha kvadratik tezligini toping.

Berilgan: $m = 20 \text{ g} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$, $E = 3,2 \text{ kJ} = 3,2 \cdot 10^3 \text{ J}$.

Topish kerak: $v^* = \sqrt{v^2} - ?$

Yechilishi. Molekulyar-kinetik nazariyaga asosan, molekullarning o'rtacha kvadratik tezligi

$$v^* = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} \quad (a)$$

ga teng, bu yerda m_0 —bitta molekulaning massasi, uning qiymati noma'lum.

Agar berilgan gazdagi molekularning soni N bo'lsa, bitta molekulaning kinetik energiyasining $E_0 = \frac{3}{2}kT$ ifodasini va $N = \frac{m}{m_0}$ ekanligini nazarga olsak,

$$E = NE_0 = N \frac{3}{2} kT = \frac{m}{m_0} \frac{3}{2} kT$$

bo'ladi, bundan bitta molekulaning massasi

$$m_0 = \frac{3kT \cdot m}{2E} \quad (b)$$

ga teng bo'ladi. (b) dan m_0 ning qiymatini (a) ga keltirib qo'ysak, u holda molekulaning o'rtacha kvadratik tezligi uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

$$v^* = \sqrt{\frac{3kT \cdot 2E}{3kT \cdot m}} = \sqrt{\frac{2E}{m}}$$

Hisoblash:

$$v^* = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,2 \cdot 10^3 \text{ J}}{2 \cdot 10^{-2} \text{ kg}}} \approx 565 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2- masala. 20 m chuqurlikdagi ko'lining tubidan havo pufakchasi suv sirtiga ko'tarilganda uning hajmi necha marta ortadi? Atmosfera bosimi 10^5 Pa deb oling.

Berilgan: $h = 20$ m, $\rho = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, $g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, $p_0 = 10^5$ Pa.

Topish kerak: V_2/V_1 — ?

Yechilishi: Ko'ldagi suvning istalgan qatlamidagi temperaturani doimiy desak, u holda Boyl — Mariott qonuniga ko'ra

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

bo'ladi, bunda p_1 — suv ostidagi pufakcha ichidagi havo bosimi, p_2 — suv sirtiga ko'tarilgandagi pufakcha ichidagi havo bosimi, V_2 — suv sirtidagi pufakcha hajmi, V_1 — suv ostidagi pufakchanning hajmi. Suv sirtidagi pufakcha ichidagi havo bosimi tashqi atmosfera bosimiga teng bo'ladi, ya'ni $p_2 = p_0$, u holda yuqoridagi tenglik

$$p_1 V_1 = p_0 V_2$$

bo'ladi. Shuningdek, suv ostidagi pufakcha ichidagi havo bosimi

$$p_1 = p_0 + \rho gh,$$

bu yerda ρgh gidrostatik, ya'ni suyuqlik ustunining bosimi. Bu bosim ifodasini oldingi tenglikka qo'yib, quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$(p_0 + \rho gh) V_1 = p_0 V_2,$$

bundan

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_0 + \rho gh}{p_0} = 1 + \frac{\rho gh}{p_0}.$$

Hisoblash:

$$\frac{V_2}{V_1} = 1 + \frac{10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 20 \text{m}}{10^5 \text{ Pa}} \approx 3 \text{ marta}.$$

3- masala. Temperaturasi 448 K bo'lgan 0,01 kg massali gazning dastlabki hajmi $3 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ bo'lgan. Qanday temperaturada berilgan massali

gazning zichligi $5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{sm}^3}$ ga teng bo'ladi? Gaz bosimi o'zgarmas.

Berilgan: $T = 448 \text{ K}$; $m = 0,01 \text{ kg}$; $V_1 = 3 \cdot 10^3 \text{ m}^3$;

$$\rho_2 = 5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{sm}^3} = 5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; p = \text{const}.$$

Topish kerak: $T_2 = ?$

Yechilishi. Berilgan gazning dastlabki zichligi $\rho_1 = \frac{m}{V_1}$ ga teng bo'lib, turli temperaturalardagi zichliklarning nisbati hajmlar nisbatiga teskari proporsional bog'lanishdadir:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{V_2}{V_1}. \quad (\text{a})$$

Gey-Lyussak qonuniga ko'ra $p = \text{const}$ bo'lganda berilgan gazning turli temperaturalardagi hajmlari temperaturalarga quyidagicha to'g'ri proporsional bog'langan:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}. \quad (\text{b})$$

(a) va (b) tengliklarni taqqoslab, quyidagi tenglikni yozish mumkin:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{T_2}{T_1}, \text{ bundan } T_2 = T_1 \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{T_1 m}{\rho_2 V_1}$$

ekani kelib chiqadi.

Hisoblash:

$$T_2 = 448 \text{ K} \cdot \frac{0,01 \text{ kg}}{3 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \cdot 5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 299 \text{ K}.$$

4- masala. Bir xil massa va bir xil temperaturali karbonat angidrid (CO_2) va metan (CH_4) gazlari berilgan. Ularning zichliklari teng bo'lishi uchun bosimlari qanday nisbatda bo'lishi kerak?

Berilgan:

$$m_1 = m_2, T_1 = T_2, \mu_1 = 44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo'l}}, \rho_1 = \rho_2, \mu_2 = 16 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo'l}}.$$

Topish kerak: $\frac{p_1}{p_2} - ?$

Yechilishi: CO_2 va CH_4 gazlari uchun Klapeyron—Mendeleyev tenglamalarini quyidagi ko'rinishda yozaylik:

$$p_1 V_1 = \frac{m_1}{\mu_1} RT_1$$

va

$$p_2 V_2 = \frac{m_2}{\mu_2} RT_2.$$

Bu ifodalarni zichliklar orqali quyidagicha yozish mumkin:

$$p_1 = \frac{\rho_1}{\mu_1} RT_1, \quad p_2 = \frac{\rho_2}{\mu_2} RT_2,$$

Tengliklarning har ikki tomonini hadma-had bo'lib, quyidagi natijaga erishamiz:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{\rho_1 RT_1}{\mu_1} \cdot \frac{\mu_2}{R \rho_2 T_2}$$

yoki masalaning shartiga ko'ra

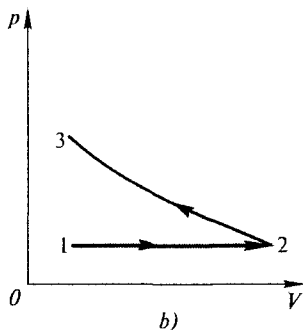
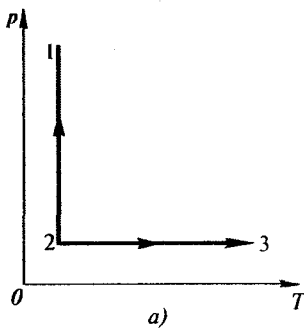
$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{\mu_2}{\mu_1}.$$

Hisoblash:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{16 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo'l}}}{44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo'l}}} = \frac{4}{11} \approx \frac{1}{3} \text{ yoki } p_1 : p_2 \approx 1 : 3.$$

5- masala. Normal atmosfera bosimida xonaning temperaturasi yoz kunlari 35°C , qish kunlari esa 0°C gacha pasayadi. Bunda havo massasining farqi $8,5 \text{ kg}$ ni tashkil etsa, xonaning hajmi qancha?

Havo uchun $\mu = 29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo'l}}$ ga teng.



174- rasm.

Berilgan: $p_0 = 10^5$ Pa; $T_1 = 308$ K; $T_2 = 273$ K, $R = 8,31 \cdot \frac{\text{J}}{\text{mo'l} \cdot \text{K}}$;

$\mu = 29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo'l}}$; $\Delta m = 8,5$ kg.

Topish kerak: $V - ?$

Yechilishi. Masalaning mazmunidan xonaning hajmi $V = \text{const}$. Shunga binoan, Klapeyron — Mendeleyev tenglamasini T_1 va T_2 temperaturalar uchun quyidagicha yozaylik:

$$p_0 V = \frac{m_1}{\mu} RT_1$$

yoki

$$p_0 V = \frac{m_2}{\mu} RT_2.$$

Bu tenglamalarning chap tomonlari teng bo'lgani uchun o'ng tomonlari ham tengdir, ya'ni:

$$\frac{m_1}{\mu} RT_1 = \frac{m_2}{\mu} RT_2 \quad \text{yoki} \quad \frac{m_1}{m_2} = \frac{T_2}{T_1};$$

bunda $m_1 < m_2$, chunki $T_1 > T_2$, ya'ni temperatura yuqori bo'lganda gaz molekulalarining harakat tezligi ortadi, tortishish kuchi kamayadi, binobarin, molekulalar orasidagi masofa ham ortadi. Xonada o'zgarmas bosim saqlanishi uchun gazning bir qismi xonadan chiqadi, gaz massasi kamayadi. Shuning uchun massalar farqi $\Delta m = m_2 - m_1$ bo'ladi. Bundan $m_2 = m_1 + \Delta m$ bo'ladi. Bu hosil bo'lgan ifodani yuqoridagi tenglamaga qo'yib, havo massasi m_1 ni topaylik:

$$\frac{m_1}{m_1 + \Delta m} = \frac{T_2}{T_1}, \quad \text{bundan} \quad m_1 = \frac{\Delta m T_2}{T_1 - T_2}.$$

m_1 ning bu qiymatini Klapeyron — Mendeleyev tenglamasiga qo'ysak,

$$p_0 V = \frac{\Delta m T_2}{\mu (T_1 - T_2)} R T_1,$$

bundan

$$V = \frac{\Delta m T_2 R T_1}{\mu (T_1 - T_2) p_0}.$$

Hisoblash:

$$V = \frac{8,5 \text{ kg} \cdot 273 \text{ K} \cdot 8,31 \text{ J} \cdot \text{mo}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 308 \text{ K}}{29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo}^{-1}} \cdot 35 \text{ K} \cdot 10^5 \text{ Pa}} \approx 5853 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 = 58,5 \text{ m}^3.$$



Mustaqil yechish uchun masalalar

116. 300 mm sim. ust. bosimda zichligi $0,3 \frac{\text{g}}{\text{l}}$ bo'lgan gaz molekularining o'rtacha arifmetik, o'rtacha kvadratik va ehtimolligi eng katta tezliklarini toping.

117. Qanday temperaturada azot molekularining o'rtacha kvadratik tezligi ularning ehtimolligi eng katta tezligidan $50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ga ortiq bo'ladi?

118. Hajmi 1 m^3 bo'lgan idishda 20 kPa bosim ostida $5 \cdot 10^{19}$ ta geliy molekulasi bor. Shu sharoitdagi molekularning o'rtacha kvadratik tezligini aniqlang.

119. Sig'imi 4 l bo'lgan ballonda $2 \cdot 10^5$ Pa bosim ostida gaz qamalgan. Ballon sig'imi 6 l bo'lgan ikkinchi bo'sh ballon bilan tutashtirilgan. Jarayon izotermik bo'lsa, sistemadagi gaz bosimi qancha?

120. Sig'imi 13 l, temperaturasi 323 K bo'lgan gazni o'zgarmas bosim ostida 303 K gacha sovutiladi. Sovutilgan gazning hajmi qanday bo'lib qolgan?

121. 174- a, b rasmlarda ideal gaz holati o'zgarishining grafiklari berilgan. Grafikning har bir qismi (1 — 2 va 3 — 2) qaysi jarayonni xarakterlaydi?

122. Normal sharoitda kislorod va azot gazlarining zichliklarini hisoblang.

123. Normal sharoitda bitta gaz molekulasi ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasini hisoblang.

124. Sig'imi 1 l bo'lgan ballonda 10^{-2} Pa bosim ostida azot gazi berilgan. Gaz molekularining umumiy sonini aniqlang. Sistemaning temperaturasi 295 K.

125. Hajmi $6 \times 4 \times 3 \text{ m}^3$, bosimi $0,9 \cdot 10^5$ Pa, temperaturasi 293 K bo'lgan xonadagi havo massasini aniqlang.

126. Normal sharoitda zichligi $1,78 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ bo'lgan 1 kmo'l gazning massasini aniqlang.

VII bob. TERMODINAMIKA ELEMENTLARI

XIX asrning birinchi yarımlarida issiqlik mashinalarining samadorligini oshirish haqidagi masala qo'yilgan edi. Bu masalani hal qilish uchun energiyaning aylanish va saqlanish qonunlarini, issiqlikning mexanik ishga aylanishini bilish lozim edi. Issiqlik texnikasining ana shu talabi munosabati bilan termodinamika yuzaga keldi.

Termodinamika turli issiqlik, mexanik, elektr va hokazo jarayonlarda molekullarning issiqlik (tartibsiz) harakati tufayli energiyaning o'zgarishi va bir turdan ikkinchi turga aylanish qonuniyatlarini o'rganadi.

Termodinamika asosida insoniyatning ko'p asrlik tajribasi natijasida tasdiqlangan ikkita fundamental qonun yotadi. Bu qonunlarni termodinamikaning *bosh* yoki *asosiy qonunlari* deb yuritiladi. Birinchi qonun energiyaning bir turdan boshqa turga aylanishlarida o'rinli bo'ladigan miqdoriy munosabatlarni, ikkinchi qonun esa energiyaning bu aylanishlari mumkin bo'ladigan sharoitlarni aniqlaydi. Jismning holatini xarakterlaydigan kattaliklarning birortasi o'zgarsa, jism holati o'zgaradi, natijada jism bir holatdan boshqa holatga o'tadi. Bunga *termodinamik jarayon* deyiladi. Termodinamik jarayon ro'y berayotgan jism yoki jismlar to'plami *termodinamik sistema* deyiladi. Quyida termodinamik sistemada bo'ladigan jarayonlarni energiyaning o'zgarishi va saqlanishi qonuni asosida ko'rib chiqamiz.

104- §. Ichki energiya

Molekulyar-kinetik nazariyadan ma'lumki, molekullar doimo harakatda bo'lganligi uchun ular kinetik energiyaga ega. Shu bilan birga modda molekullari orasida o'zaro ta'sir kuchi bo'lganligi sababli molekullar o'zaro ta'sir potensial energiyaga ham ega bo'ladi. *Moddani tashkil qilgan barcha molekullar va atomlar harakatining kinetik energiyasi hamda ularning o'zaro ta'sir potensial energiyasining yig'indisi jismning ichki energiyasi deyiladi.*

Jismning ichki energiyasini mexanik energiya bilan almash-tirmaslik kerak, chunki mexanik energiya jismning boshqa jismlarga nisbatan harakatiga va joylashuviga bog'liq bo'lsa, shu jismning ichki energiyasi jismni tashkil etuvchi zarralarning harakatiga va bir-biriga nisbatan joylashuviga bog'liqdir.

Jismning ichki energiyasi doimiy kattalik bo'lmay, temperatura o'zgarishi bilan molekular o'rtacha tezligining va hajm o'zgarishi bilan molekular orasidagi o'rtacha masofaning o'zgarishiga bog'liq bo'ladi. Binobarin, umumiy holda ichki energiya temperatura bilan hajmga bog'liq bo'lgan fizik kattalik ekan. Bundan moddaning holatiga qarab, zarralarning potensial va kinetik energiyalari o'zaro turlicha nisbatda bo'lishi mumkin, degan xulosaga kelamiz, haqiqatan ham:

1) *modda gaz holatda bo'lganda (ayniqsa, past bosimlarda) molekular orasidagi o'zaro ta'sir kuchi kichik bo'lib, molekularning o'rtacha potensial energiyasi o'rtacha kinetik energiyasidan ancha kam bo'ladi ($E_k \gg E_p$), ya'ni ichki energiyaning asosiy qismi deyarli molekularning kinetik energiyasidan iborat deb hisoblash mumkin:*

2) *modda suyuq holatda bo'lganda molekularning kinetik va potensial energiyalari taxminan teng ($E_k \approx E_p$) bo'lib, jismning ichki energiyasi ularning yig'indisidan iborat bo'ladi;*

3) *modda qattiq holatda bo'lganda molekular orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari katta bo'lgani sababli molekularning o'rtacha potensial energiyasi kinetik energiyadan juda katta ($E_k \ll E_p$) bo'ladi. Bu holda moddaning ichki energiyasining ko'proq qismini molekularning o'rtacha potensial energiyasi tashkil etadi.*

Shunday qilib, jismning ichki energiyasi uning holatiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun bu energiyani sistema holatining funksiyasi deyiladi. Demak, sistema tayinli bir holatga kelib qolgan har bir holda uning ichki energiyasi, sistemaning avvalgi holatlari qanday bo'lganidan qat'iy nazar, mazkur holat uchungina xos bo'lgan qiymat qabul qiladi. Binobarin, sistema bir holatdan boshqa holatga o'tishida uning ichki energiyasi o'zgarishi ichki energiyaning bu holatlardagi qiymatlari ayirmasiga hamisha teng bo'lib, sistemaning bir holatdan boshqa holatga o'tishidagi jarayonlarga bog'liq emas.

105- §. Erkinlik darajalari soni

Ma'lumki, ideal gaz molekulari issiqlik harakati sababli bir-biriga bevosita to'qnashgan qisqa vaqtlardan boshqa hollarda bir-biri bilan o'zaro ta'sirlashmaydi. Shuning uchun ideal gaz molekularining o'zaro ta'sir potensial energiyasi nolga teng bo'ladi. Binobarin, *ideal gazning ichki energiyasi uning molekulari tartibsiz harakatining o'rtacha kinetik energiyasidan iborat.*

Ideal gaz molekularining

$$\overline{E_k} = \frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2} kT \quad (33)$$

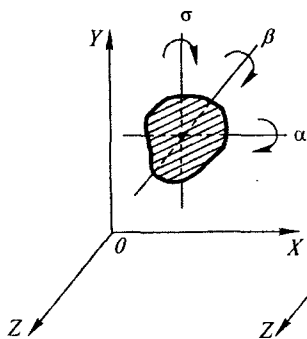
energiyasi molekulaning faqat ilgari lanma harakat energiyasini hisobga oladi. Biroq molekula ilgari lanma harakat bilan bir qatorda aylanma harakat qilishi va uning tarkibidagi atomlar tebranma harakat qilishi mumkin. Harakatning bu ikkala turiga energiyaning biror zaxirasi to'g'ri keladi. Shuning uchun gazning ichki energiyasini aniqlashda bu energiya zaxirasini ham hisobga olish zarur bo'ladi.

Molekulaning barcha turdagi harakatlariga to'g'ri keladigan energiyani hisobga olish uchun *erkinlik darajalari soni* degan tushuncha kiritiladi.

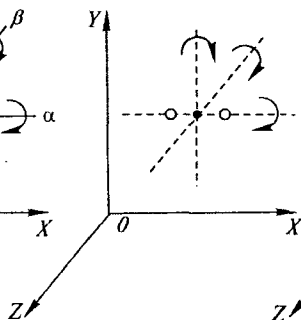
Jismning fazodagi vaziyatini aniqlovchi erkin koordinatalar soni jismning erkinlik darajalari soni deyiladi. Erkinlik darajalari soni i harfi bilan belgilanadi.

Biror jism fazoda mutlaqo ixtiyoriy harakatlanayotgan bo'lsin. Harakatlarning mustaqillik prinsipiga asosan uning harakatini hamma vaqt oltita bir vaqtdagi mustaqil harakatlardan iborat deyish mumkin. Ularning uchtasi to'g'ri burchakli koordinatalar sistema-sining uchta o'qi bo'ylab ilgari lanma harakat va qolgan uchtasi jismning massa markazi orqali o'tuvchi o'zaro perpendikulyar o'q atrofidagi aylanma harakat bo'ladi (175- rasm). Shunday qilib, mutlaqo ixtiyoriy harakatlanayotgan jismning fazodagi vaziyati oltita mustaqil koordinatalar: uchta chiziqli (x, y, z) va uchta burchak (α, β, γ) koordinatalar orqali aniqlanadi. Demak, fazoda ixtiyoriy harakatlanayotgan jismning erkinlik darajalari soni $i = 6$ ta (uchtasi ilgari lanma $i_{ii} = 3$ va uchtasi aylanma $i_{ayl} = 3$ erkinlik darajalari). Agar jismning harakati cheklangan bo'lsa, uning erkinlik darajalari soni oltitadan kam bo'ladi. Masalan, temiryo'l vagoni bitta erkinlik darajasiga ega, chunki u faqat temiryo'l (rels) bo'ylab harakatlana oladi. Bu vagon g'ildiragining erkinlik darajalari soni esa ikkita: ilgari lanma (vagon bilan birgalikda) va aylanma (g'ildirakning markazi orqali o'tuvchi gorizontol o'q atrofida).

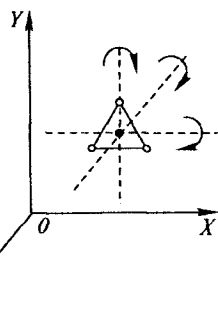
Gaz molekulari mutlaqo ixtiyoriy harakatlangani uchun ularning oltitadan erkinlik darajalari bo'lishi kerak edi. Biroq molekularning erkinlik darajalari sonini aniqlashda molekula bir atomli, ikki atomli, uch atomli yoki ko'p atomli bo'lishi mumkin-



175- rasm.



176- rasm.



177- rasm.

ligini nazarda tutish kerak bo'ladi. Buning sababi quyida oydinlashadi.

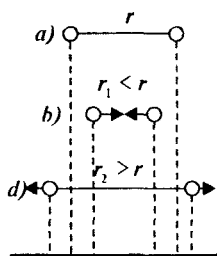
Bir atomli (molekulasi bir atomdan tarkib topgan) gazning (masalan, geliy He, argon Ar) molekulasini o'z o'qi atrofida aylanishi uning fazodagi vaziyatini o'zgartirmaydigan moddiy nuqta deb qarash mumkin. Shuning uchun bir atomli molekulaning vaziyati uchta chiziqli koordinatalar (x, y, z) bilan aniqlanadi. Demak, bir atomli molekulaning erkinlik darajalari soni $i_{il} = 3$ ta.

Ikki atomli gaz (masalan, kislorod O_2 , azot N_2 , vodorod H_2) molekulasini bir-biridan ma'lum masofada joylashgan ikki atomdan tuzilgan sistema deb qarash mumkin. Agar atomlar orasidagi masofa o'zgarmas bo'lsa (bunday molekula *qattiq molekula* deb ataladi), bunday sistema umuman olganda oltita erkinlik darajasiga ega bo'ladi: bularning uchtasi molekula massa markazining koordinatalari (bu koordinatalar molekulani butunicha ilgarilanma harakatini aniqlaydi) va uchtasi molekulaning massa markazidan o'tuvchi o'zaro perpendikulyar o'qlar atrofidagi aylanishlarini xarakterlovchi koordinatalar (176- rasm). Biroq molekulaning har ikkala atomning markazlari orqali o'tuvchi o'q atrofida aylanishi uning fazodagi vaziyatini o'zgartirmaydi. Shuning uchun ikki atomli molekulaning erkinlik darajalari soni beshta: $i_{il}=3$ va $i_{ayl} = 2$ bo'ladi.

Uch atomdan tarkib topgan molekula (masalan, suv bug'i H_2O , karbonat anhidrid (CO_2))ning erkinlik darajalari soni oltita ($i_{il}=3$ va $i_{ayl}=3$) ekanligi 177- rasmdan ravshan ko'rinib turibdi. Boshqa ko'p atomli molekulalar ham oltita erkinlik darajasiga ega ekanligiga ishonch hosil qilish qiyin emas.

Biroq molekuladagi atomlar hamma vaqt ham bir-birlari bilan

qattiq bog‘lanishda bo‘lavermaydi, ular bir-biriga nisbatan siljishi, xususan, yaqinlashishi (178-rasm, *b* hol) yoki uzoqlashishi (*d* hol), ya‘ni tebranma harakat qilishi mumkin. Bunday holda molekulaning vaziyatini to‘la aniqlash uchun yana bitta koordinata kerak bo‘ladi, bu—atomlar orasidagi r masofadir (178-rasm, *a* hol).



178- rasm.

Demak, umumiy holda ikki atomli molekula oltita erkinlik darajasiga: $i_{il} = 3$, $i_{ayl} = 2$ va $i_{icbr} = 1$ ga ega bo‘ladi.

Agar molekula qattiq bog‘lanmagan n ta atomdan tarkib topgan bo‘lsa (masalan, metan CH_4 , etil spirti C_2H_5OH), bu molekula $3n$ ta erkinlik darajasiga ega bo‘ladi (chunki har bir atomning uchtadan erkinlik darajasi bor). Bu erkinlik darajalari sonidan uchtasi ilgarilanma, uchtasi aylanma erkinlik darajalari bo‘lsa, qolgan $3n - 6$ tasi tebranma erkinlik darajalari bo‘ladi.

Ko‘p hollarda, xususan, uy temperaturasi va undan past temperaturalar sharoitida molekullarning tebranma harakatlari uyg‘onmaydi. Yetarlicha yuqori temperaturadagina molekullarning tebranma harakatlari sodir bo‘ladi. Shu sababli, biz ilgarilanma va aylanma erkinlik darajalari soni bilan cheklanamiz.

106- §. Ideal gazning ichki energiyasi

Molekulaning erkinlik darajalari nechta bo‘lmasin, ulardan uchtasi ilgarilanma erkinlik darajalari bo‘ladi. Molekulaning erkinlik darajalaridan hech biri boshqalaridan afzal bo‘lmagani uchun ularning har biriga o‘rtacha bir xil kattalikdagi energiya to‘g‘ri kelishi kerak. Uni hisoblash uchun (33) formuladan foydalanamiz. Bu energiya uchta erkinlik darajasi bo‘lgan bir atomli molekula (moddiy nuqta) uchun chiqarilgan edi. (98- § ga q.). Shuning uchun molekulaning bitta erkinlik darajasiga to‘g‘ri keladigan energiya

$$E_0 = \frac{\bar{E}_k}{3} = \frac{1}{2} kT \quad (34)$$

ga teng bo‘ladi.

Harakat turlarining hech biri boshqalaridan afzal emas. Bino-barin, ilgarilanma, aylanma erkinlik darajalaridan ixtiyoriy bittasiga o‘rta hisobda bir xil va $\frac{1}{2} kT$ ga teng kinetik energiya to‘g‘ri kelishi

kerak. Bu da'vo molekulaning erkinlik darajalari bo'yicha energiyaning tekis taqsimlanishi haqidagi *Bolsman teoremasi* yoki *teng taqsimot qonunining* mazmunidan kelib chiqadi. Bu teorema shunday ta'riflanadi: *agar molekulalar sistemasi T temperaturada issiqlik muvozanatida bo'lsa, u holda o'rtacha kinetik energiya barcha erkinlik darajalari bo'yicha tekis taqsimlanadi va molekulaning har bir erkinlik darajasi uchun bu energiya $\frac{kT}{2}$ ga teng bo'ladi.*

Shunday qilib, molekula issiqlik harakatining o'rtacha kinetik energiyasi

$$\overline{E_k} = \frac{i}{2} kT \quad (35)$$

bo'ladi, bu yerda i — molekulaning barcha turdagi harakatlari erkinlik darajalari soni: $i = i_{\text{il}} + i_{\text{ayl}} + i_{\text{tebr}}$.

Endi ideal gazning ichki energiyasini hisoblaylik.

Massasi m bo'lgan ideal gazning ichki energiyasini hisoblab topish uchun bitta atom (molekula)ning o'rtacha kinetik energiyasini shu massadagi N atomlar soniga ko'paytirish kerak.

Bu son gazning $\nu = \frac{m}{\mu}$ miqdori bilan N_A Avogadro sonining ko'paytmasiga teng:

$$N = \nu N_A = \frac{m}{\mu} N_A.$$

N ni molekulalarning issiqlik harakati energiyasi $\overline{E_k} = \frac{i}{2} kT$ ga ko'paytirib, ideal gazning ichki energiyasini topamiz:

$$U = \frac{m}{\mu} N_A \overline{E_k} = \frac{m}{\mu} N_A \cdot \frac{i}{2} kT = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT. \quad (36)$$

Bir mo'l massali gazning ichki energiyasi

$$U_0 = \frac{i}{2} RT \quad (37)$$

bo'ladi. Bu ifodalardan ko'rinadiki, *ideal gazning ichki energiyasi uning absolyut temperaturasiga to'g'ri proporsional ekan.*

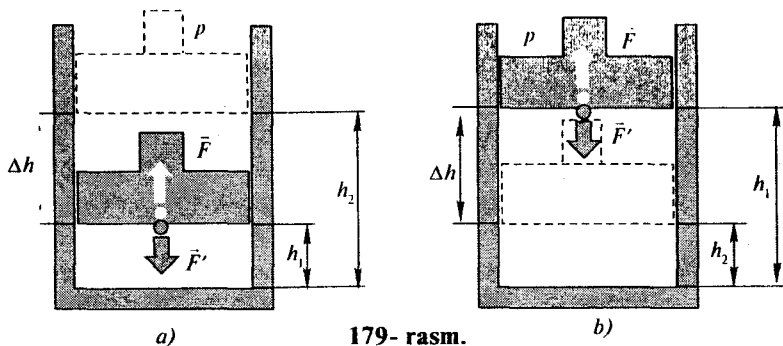
107- §. Issiqlik almashinish va ish bajarish — jism ichki energiyasi o'zgarishining ikki ko'rinishidir

Sistema holatining, ya'ni bu holatni xarakterlovchi termodinamik kattaliklarning o'zgarishiga olib keladigan ikki turli ta'sir mavjud. Bulardan biri — ish bajarishdir. Masalan, porshenli silindr ichiga biror gaz qamalgan bo'lsin. Porshenni yuqoriga yoki pastga harakatlantirish bilan silindr ichidagi gazning hajmi, bosimi va temperaturasini o'zgartirish mumkin. Shuningdek, harakatdagi porshen gazga ma'lum kuch (\vec{F}') bilan ta'sir etib ish bajaradi. Silindr ichidagi gaz ham o'z navbatida Nyutonning III qonuniga ko'ra, porshenga qarshi (\vec{F}) kuch bilan aks ta'sir etib, ish bajaradi. Gaz kengayib, porshen \vec{F} kuch yo'nalishida yuqoriga kichik $\Delta h = h_2 - h_1$ masofaga siljigan bo'lsin (179- a rasm). Gazning bajargan ishini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$A = F \Delta h = pS (h_2 - h_1) = p (Sh_2 - Sh_1). \quad (38)$$

Bunda bajarilgan A ish musbat, chunki \vec{F} va porshenning Δh ($h_2 > h_1$) siljish yo'nalishlari bir xil. Demak, gaz kengayish natijasida tashqi kuchga qarshi ish bajarib, silindr va porshenni o'rab turgan muhitga energiya uzatiladi, binobarin, *gazning ichki enershiyasi kamayadi*.

Gaz siqilganda esa tashqi kuch gaz ustida ish bajaradi. Bunda $h_2 < h_1$ bo'lganligi sababli (179- b rasm) bu ish manfiy bo'ladi, ya'ni



179- rasm.



180- rasm.

$$A' = F'(h_2 - h_1) = - F' \Delta h. \quad (39)$$

Bu holda porshen ostidagi gazga jismlardan energiya uzatiladi. Demak, bu vaqtda *gazning ichki energiyasi ortadi*. Ma'lumki, ish energiyaning o'zgarishini xarakterlaydigan kattalik bo'lib, energiya manfiy qiymatga ega bo'lishi mumkin emas. Shunday ekan, ishning musbat yoki manfiyligi faqat porshenning yuqori yoki pastga qarab harakatlanishiga bog'liq bo'ladi.

Sistemaning ichki energiyasini o'zgartirishning ikkinchi usuli unga issiqlik uzatishdir. Ish bajar-masdan turib jism ichki energiyasining o'zgarish jarayoni *issiqlik uzatish* deyiladi.

Gaz qamalgan silindr porshenini qo'zg'almas saqlab, alanga yordamida isita boshlaylik (180- rasm). Bunda gazning temperaturasi ortishi bilan gaz molekulalarining harakat tezligi ortadi, binobarin, ularning kinetik energiyasi ortadi. Shuningdek, tez harakatlanuvchi molekulalar bir-biriga ko'proq yaqinlashishi natijasida molekulalararo ta'sir kuchayadi, bu esa ularning o'zaro ta'sir potensial energiyalarining ortishiga olib keladi. Demak, gazning ichki energiyasi ortadi. Issiqlik uzatish jismlar bir-biriga bevosita tegib turganda (plita ustidagi choynakning isishi), bir-biridan ma'lum uzoqlikda bo'lganda (buyumlarning pechka yoki quyoshdan isishi) ham ro'y berib jismning ichki energiyasini o'zgartiradi.

Demak, *ish bajarish* yoki *issiqlik uzatish* yo'li bilan jismning ichki energiyasini o'zgartirish mumkin ekan. Jismning ichki energiyasi ortsa, u atrof-dan ma'lum miqdorda energiya olgan bo'ladi; aksincha, ichki energiyasi kamaysa, jism o'z energiyasining bir qismini atrof-ga bergan bo'ladi. Jismning issiqlik uzatish jarayonida bergan yoki olgan energiyasi *issiqlik miqdori* deb ataladigan alohida fizik kattalik bilan o'lchanadi. Issiqlik miqdori, odatda Q harfi bilan belgilanadi.

Issiqlik miqdorining birligi ish birligining o'zi, ya'ni jouldir.

108- §. Issiqlik almashinuv turlari

Jismlar va jism qismlari orasida issiqlikni bir-biriga uzatilish hodisasi *issiqlik almashinuv* deyiladi va u tabiatda quyidagi usullar bilan amalga oshadi: konveksiya, issiqlik o'tkazuvchanlik va nurlanish. Bu sanab o'tilgan issiqlik almashinuv turlari jismlar yoki jism qismlari orasida temperatura farqi bo'lgandagina amalga oshadi. Temperatura farqi katta bo'lganda jarayon intensiv (jadal) ketadi. Jismlar yoki jism qismlari orasida temperatura tenglashganda issiqlik almashinuv to'xtaydi va bu holat *issiqlik muvozanati* deyiladi.

Konveksiya. Suyuqlik va gazlar isitilgan vaqtda avval issiqlik manbayiga yaqin bo'lgan qatlam tez isib kengayadi, uning zichligi kamayadi, natijada yuqoriga qalqib chiqa boshlaydi. Uning o'rnini yuqori, sovuqroq (temperaturasi pastroq, binobarin, zichligi ko'proq) qatlam egallaydi. Bu jarayonda issiqlik suyuqlik yoki gaz molekulalarining yuqoriroq temperaturali qatlamlardan pastroq temperaturali qatlamlarga birdaniga siljishi bilan uzatiladi. Bu hodisa *konveksiya* deyiladi. Konveksiya bo'lmaganda plita ustiga qo'yilgan idishdagi suv juda sekinlik bilan isigan bo'lar edi. Faqat suyuqlik va gazlardagina konveksiya bo'lishi mumkin.

Issiqlik o'tkazuvchanlik. Biror metall tayoqchanning bir uchidan ushlab turib, ikkinchi uchini alangada qizdirsak, bir oz vaqt o'tgandan so'ng ushlab turilgan birinchi uchining ham isiy boshlaganini sezamiz. Suv solingan metall idishni plita ustiga qo'ysak, avval metall idish devorlari isib, undan so'ng suv isiy boshlaydi. Shunga o'xshagan ko'pgina issiqlik uzatilishi hodisalarini misol tariqasida keltirish mumkin. Bu misollar quyidagicha tushuntiriladi. Issiqlik berilayotgan jismni yoki jism qismlarini tashkil qilgan molekulalarning harakat tezligi ortib temperaturasi ko'tariladi. Bu molekulalar tartibsiz harakatlari tufayli qo'shni jism yoki jism qismlarini tashkil qiluvchi molekulalar bilan to'qnashib, ularga o'z energiyalarining bir qismini beradi, ikkinchi jism molekulalarining energiyasi ortadi. Bu holda issiqlik jismning qatlamidan qatlamiga uzatiladi. Bunday issiqlik uzatilishi *issiqlik o'tkazuvchanlik* deb ataladi. Demak, issiqlik o'tkazuvchanlik hodisasi ham molekula (atom)larning harakati tufayli sodir bo'lar ekan. Metallarning issiqlik o'tkazuvchanligi gaz va suyuqliklarning o'tkazuvchanligidan katta bo'ladi, chunki metallarda molekulalar zich joylashgandir.

Molekulalari siyrak joylashgan moddalar, masalan, gazlar, shuningdek, g'ovak moddalar issiqlik izolyatorlari bo'lib hisoblanadi.

Nur yutish va nur chiqarish. Qizigan dazmolga qo'limizni yaqin keltirsak issiqlikni sezamiz. Quyosh nuri ta'sirida Yer va Yer sirtidagi jismlarning, havoning isiganini kuzatamiz. Bu vaqtda qizigan jism yoki Quyosh o'zidan issiqlik energiyasini chiqaradi. Bu hodisa *nurlanish* deyiladi. Kelayotgan issiqlik energiyasini jismlar tomonidan qabul qilib olish hodisasi *nur yutish* deyiladi. Demak, yuqorida keltirilgan misoldagi isish hodisasi nur yutish orqali ro'y berar ekan. Nurlanish va nur yutish jarayoni elektromagnit to'lqinlarning tarqalishi va yutilishi bilan tushuntiriladi. Issiqlik bo'shliqda ham (elektromagnit to'lqinlar vakuumda tarqalgani uchun) nurlanish yo'li bilan uzatilishi mumkin. Shuning uchun Quyosh nurining energiyasi bizgacha yetib keladi.

Biz yuqorida ko'rib o'tgan issiqlik almashinish jarayonlaridan tashqari boshqa usullar bilan ham issiqlik almashinish jarayoni sodir bo'ladi, masalan, bug'lanish, kondensatsiya va boshqalar.

109- §. Termodinamikaning birinchi qonuni

Termodinamikaning birinchi bosh qonuni quyidagicha ta'riflanadi: *termodinamik sistema bir holatdan ikkinchi holatga o'tganda uning ichki energiyasining o'zgarishi sistemaga berilgan issiqlik miqdori bilan tashqi kuchlarning sistema ustida bajargan ishining yig'indisiga teng, ya'ni*

$$\Delta U = \Delta A' + \Delta Q, \quad (40)$$

bunda ΔU — sistema ichki energiyasining o'zgarishi; ΔQ — sistemaga berilgan issiqlik miqdori; $\Delta A'$ — sistema ustida tashqi kuchlarning bajargan ishi.

Agar ishni sistema tomonidan bajarilgan deb qaralsa, u holda birinchi qonun quyidagicha ta'riflanadi: *sistemaga berilgan issiqlik miqdori sistema ichki energiyasining o'zgarishiga hamda sistemaning tashqi kuchlarga qarshi bajargan ishiga sarflanadi, ya'ni:*

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A, \quad (41)$$

bunda ΔA — sistema tomonidan bajarilgan ish.

Agar sistema bir holatdan ikkinchi holatga o'tib, yana davriy

ravishda birinchi holatga o'zgarishsiz qaytsa, sistema ichki energiyasining o'zgarishi $\Delta U = U_2 - U_1 \approx 0$ bo'ladi. U holda (41) tenglik quyidagi ko'rinishga keladi:

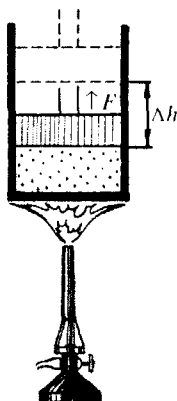
$$\Delta Q = \Delta A. \quad (42)$$

Bundan o'zi olgan energiyadan ortiq ish bajara oladigan davriy harakatlanuvchi mexanizm yaratish mumkin emasligi kelib chiqadi. Shunday qilib, termodinamikaning birinchi bosh qonunini yana quyidagicha ta'riflash mumkin: *o'zi olgan energiyadan ortiq ish bajara oladigan davriy harakatlanuvchi mexanizm (birinchi tur abadiy dvigatel) qurish mumkin emas.*

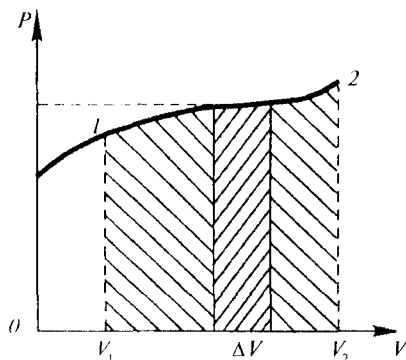
110- §. Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ish

Silindrda porshen ostida gaz qamalgan bo'lsin (181- rasm). Gazni alanga yordamida qizdiraylik, u holda gaz kengayib biror ish bajaradi. Agar gazning qizitilmasdan avvalgi hajmi V_1 (1- holat), qizdirilgandan keyingi hajmi V_2 (2- holat) bo'lsa, hajm bilan bosimning orasidagi bog'lanish umumiy ko'rinishda 182- rasmda ko'rsatilganidek bo'ladi. Kengayishning juda kichik ΔV intervalini olaylik. Hajmning bu intervalida gaz bosimini taxminan o'zgarimas va p ga teng deb olish mumkin.

Agar gaz tomonidan ko'rsatilayotgan F kuch ta'sirida porshen Δh masofaga siljigan bo'lsa, (38) formulaga binoan, gazning kengayishida bajarilgan ish uchun ushbu



181- rasm.



182- rasm.

$$\Delta A = F \Delta h \quad (43)$$

ifodani yozish mumkin: $F = pS$ va $S \Delta h = \Delta V$ ekanini nazarga olsak, u holda

$$\Delta A = pS \Delta h = p \Delta V \quad (44)$$

bo'ladi, bu yerda S — porshen sirtining yuzi.

Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ish *termodinamik ish* deb ataladi.

Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ish gaz bosimining uning hajmi o'zgarishiga ko'paytmasiga teng bo'ladi.

(44) formula faqat gazlar uchungina emas, balki boshqa moddalar uchun ham o'rinlidir.

Gazning V_1 hajmdan V_2 hajmgacha kengayishida bajarilgan to'la ishni hisoblash uchun $V_2 - V_1$ hajm o'zgarishini n ta kichik ΔV elementar hajmlarga ajratib, ularning har biri uchun hisoblangan ΔA elementar ishlarning yig'indisini topish kerak, ya'ni

$$A = \sum_{i=1}^n \Delta A_i = \sum_{i=1}^n p \Delta V_i \quad (45)$$

111- §. Termodinamikaning birinchi qonunini gaz jarayonlariga tatbiq etish

Termodinamikaning birinchi qonunini gaz jarayonlariga tatbiq etib, bu jarayonlarning xarakteri haqida muhim xulosalar chiqarish mumkin.

(44) formulaga binoan, termodinamikaning birinchi qonunini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\Delta Q = \Delta U + p \Delta V \quad (46)$$

Bu ifodani ideal gaz jarayonlariga tatbiq etaylik.

1. **Izotermik jarayon** ($T = \text{const}$). Bu jarayonda gazning ichki energiyasi o'zgar olmaydi. Haqiqatan ham, ichki energiya ifodasi [(36) formula] ga asosan

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} R \cdot \Delta T$$

deb yozish mumkin, bunda ΔT — temperaturaning o'zgarishi. $T = \text{const}$ bo'lganda $\Delta T = 0$, demak, $\Delta U = 0$ bo'ladi. Binobarin, termodinamikaning birinchi qonuni

$$\Delta Q = \Delta A \quad (47)$$

ko'rinishda ifodalanadi. Shunday qilib, izotermik jarayonda sistemaga berilgan issiqlik miqdorining hammasi ish bajarishga sarf bo'ladi.

Ma'lumki, izotermik jarayonda, Boyl — Mariott qonuniga ko'ra, gazning hajmi o'zgarsa, uning bosimi ham hajmiga teskari proporsional ravishda o'zgaradi. Hajmning juda kichik dV o'zgarishida gaz bosimini o'zgarimas, deb faraz qilish mumkin. Shuning uchun gazning juda kichik kengayishidagi bajarilgan dA elementar ishni quyidagicha hisoblay olamiz:

$$dA = p dV. \quad (48)$$

Klapeyron — Mendeleyev tenglamasidan 1 mo'l gaz uchun bosim p ni topib, (48) ish ifodasiga qo'ysak, $dA = \frac{RT}{V} dV$ munosabat hosil bo'ladi. To'liq ishni topish uchun bajarilgan elementar ish ifodasini V_1 va V_2 hajm chegarasida integrallab, quyidagi natijaga ega bo'lamiz:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} dA = RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = RT(\ln V_2 - \ln V_1)$$

yoki

$$A = RT \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

182- rasmdagi grafikdan ko'rinib turibdiki, V_1 dan V_2 gacha oraliqni kichik bo'lakchalarga bo'lib, ulardagi bajarilgan ishni hisoblab, so'ng yig'ib chiqsak, izotermik jarayonda gazning hajmi V_1 dan V_2 gacha ortganda bajarilgan ishning son qiymati shaklning shtrixlangan yuziga teng bo'lar ekan.

2. Izoxorik jarayon ($V = \text{const}$). Izoxorik jarayonda $\Delta V = 0$ bo'lgani uchun, gaz tashqi jismlar ustida (yoki tashqi kuchlar gaz ustida) hech qanday ish bajarmaydi, ya'ni $p \Delta V = \Delta A = 0$ bo'ladi. U holda (46) tenglik quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\Delta Q = \Delta U. \quad (50)$$

Demak, izoxorik jarayonlarda sistemaga tashqaridan berilgan issiqlik miqdori uning faqat ichki energiyasini oshirishga sarflanar ekan.

3. Izobarik jarayon ($p = \text{const}$). Gazning izobarik kengayishida bajarilgan ish (44) ifodadan aniqlanishi tushunarli. Binobarin, izobarik jarayon uchun termodinamikaning birinchi qonuni (46) formula ko‘rinishida ifodalanadi, ya‘ni *izobarik jarayonda sistemaga uzatilgan issiqlik miqdori sistemaning ichki energiyasining o‘zgarishiga va o‘zgarmas bosim sharoitida ish bajarishga sarf bo‘ladi*.

112- §. Adiyatik jarayon

Sistema (gaz) holatining o‘zgarishi mobaynida atrofidagi jismlar bilan sistema orasida issiqlik almashinishi ro‘y bermasa, bunday jarayon *adiyatik* jarayon deb ataladi.

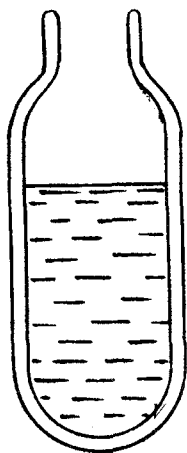
Adiyatik jarayonda $\Delta Q = 0$ bo‘ladi, shuning uchun termodinamikaning birinchi qonuni

$$\Delta A = -\Delta U \quad (51)$$

ko‘rinishda bo‘ladi, ya‘ni ichki energiya ish bajarish hisobiga o‘zgaradi. (51) munosabatdagi minus ishora adiyatik kengayishda sistemaning ichki energiyasining kamayishini ($\Delta U < 0$) ko‘rsatadi — sistema o‘zining ichki energiyasi hisobiga ish bajaradi ($\Delta A > 0$). Adiyatik siqilishda esa sistemaning ichki energiyasi tashqi kuchlar bajargan ish ($\Delta A < 0$) hisobiga ortadi. Adiyatik jarayonni

amalga oshirish uchun jarayon ro‘y berayotgan sistemani issiqlikni mutlaqo o‘tkazmaydigan g‘ilof bilan o‘rash kerak. Tabiatda issiqlikni mutlaqo o‘tkazmaydigan moddalar mavjud emasligi sababli, sistemani atrof jismlardan adiyatik izolyatsiyalab bo‘lmaydi. Biroq adiyatik izolyatsiyalangan sistemalarga kundalik turmushda ishlatiladigan dyuar idish — termos (183- rasm) misol bo‘la oladi. Idishning tuzilishi qo‘sh qavatli yupqa shisha devordan iborat bo‘lib, devorlar orasida vakuum hosil qilingan bo‘ladi, shu sababli devorlar bir-biri bilan issiqlik almashishmaydi.

Bir qator hollarda real jarayonlarni adiyatik jarayonga juda yaqin deb hisoblash mumkin. Buning uchun sistemaning holati juda tez o‘zgarishi lozim, ana shunda sistema tashqi muhit bilan issiqlik almashinishga ulgurmaydi.



183- rasm.

(51) formulaga asosan gaz siqilganda ichki energiyasi ortadi. Bu esa gazning temperaturasi ko'tarilganligini bildiradi. Tez siqilganda havoning isishidan Dizel dvigatellarida foydalaniladi. Dizel dvigate-
lining *birinchi* taktida havo silindrga so'rib olinadi, *ikkinchi* taktning oxirida esa havo adiabatik ravishda siqilishi natijasida shu darajada qizib ketadiki, *uchinchi* taktida qizigan havoga suyuq yonilg'i purka-
lishi bilan yonib ketadi.

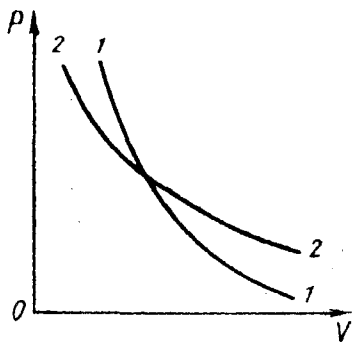
Adiabatik jarayon uchun gaz bosimi bilan hajmi orasida quyidagicha bog'lanish mavjudligi aniqlangan:

$$pV^\gamma = \text{const}, \quad (52)$$

bu yerda γ — doimiy kattalik bo'lib, u *adiabata ko'rsatkichi* deb ataladi va molekulasi turli atom birikmalaridan iborat bo'lgan gazlar uchun turlicha qiymatga ega bo'ladi, masalan, bir atomli gazlar uchun $\gamma = 1,67$, ikki atomli gazlar uchun $\gamma = 1,4$, uch va undan ortiq atomli gazlar uchun $\gamma = 1,33$ ga teng.

(52) ifoda fransuz fizigi Puasson tomonidan aniqlangani uchun uning nomi bilan *Puasson tenglamasi* deb ataladi.

Ko'rinib turibdiki, (52) tenglama izotermik jarayonni xarakterlovchi (25) tenglamadan faqat hajmning darajasi bilan farq qiladi, ya'ni izotermik jarayonda $\gamma = 1$ bo'lsa, adiabatik jarayonda $\gamma > 1$. Agar hajmga ixtiyoriy qiymatlar berib bosimning unga mos kelgan qiymatlarini hisoblab topib, izotermik va adiabatik jarayonlar uchun chizilgan grafiklarni solishtirsak (184- rasm), har ikkala jarayonda hajmning bosimga bog'lanishi bir-biriga o'xshashligini ko'ramiz. Lekin adiabata (adiabatik jarayonni ifodalovchi egri chiziq) (1- 1) izoterma (2- 2) ga qaraganda tikroq ekanligiga ishonch hosil qilamiz. Bundan shunday xulosaga kelamizki, gaz bosimi termik jarayonda ko'proq o'zgarar ekan. Haqiqatan ham, izotermik jarayonda hajm kengayishidagina bosim kamaysa, adiabatik jarayonda hajm kengayishi tufayli bosim kamayishi bilan yana temperatura kamayishi natijasida ham bosim kamayadi.



184- rasm.



Takrorlash uchun savollar

1. Termodinamika nimani o'rgatadi? Termodinamik jarayon, termodinamik sistema deganda nimani tushunasiz?
2. Moddaning ichki energiyasi deb qanday energiyaga aytiladi?
3. Qanday gazning ichki energiyasi faqat kinetik energiyadan iborat va nima uchun?
4. Bir atomli ideal gaz ichki energiyasining formulasini keltirib chiqaring.
5. Moddaning ichki energiyasini qanday usullar bilan o'zgartirish mumkin?
6. Joul tajribasi nimani aniqlagan? Tajribaning mohiyatini tushuntiring.
7. Issiqlik almashuvining qanday turlarini bilasiz?
8. Termodinamikaning birinchi qonunini ta'riflang va formulasini yozing.
9. Birinchi tur abadiy dvigatel qanday mexanizm?
10. Gaz hajmining kengayishida bajarilgan ish ifodasini keltirib chiqaring.
11. Izojarayonlar uchun termodinamikaning birinchi qonunini yozing va ta'rifini bering.
12. Adiabatik jarayon qanday jarayon? Bu jarayon uchun termodinamikaning birinchi qonunini yozing va tushuntiring.
13. Puasson tenglamasini yozing. Grafisini chizing. Adiabata va izoterma chiziqlarini taqqoslang.



Masala yechish namunalari

1- masala. Hajmi 2 dm^3 bo'lgan idishda bir atomli gaz $0,5 \text{ MPa}$ bosim ostida turibdi. Gazning ichki energiyasini toping.

Berilgan: $V = 2 \text{ dm}^3 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$, $p = 0,5 \text{ MPa} = 5 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.

Topish kerak: $U = ?$

Yechilishi. Bir atomli gazning bitta atomining issiqlik harakati energiyasi

$E = \frac{3}{2} kT$ ga teng. Berilgan gaz hajmidagi barcha atomlarning soni N bo'lsa, gazning ichki energiyasi quyidagicha bo'ladi:

$$U = NE = N \cdot \frac{3}{2} kT$$

N atomlarning soni N_A Avogadro soni bilan

$$N = \frac{m}{\mu} N_A$$

ifoda orqali aniqlanishi mumkin, bu yerda m — gazning massasi, μ — molyar massasi. U holda ichki energiya

$$U = \frac{m}{\mu} \cdot N_A \cdot \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} N_A \cdot kT = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT$$

ga teng bo'ladi, bunda $N_A \cdot k = R$ — gaz universal doimiysi. Mendeleyev-Klapeyron tenglamasiga asosan:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT.$$

Demak, ichki energiyani

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT = \frac{3}{2} pV$$

ifodadan hisoblab topish mumkin.

$$\text{Hisoblash: } U = \frac{3}{2} \cdot 5 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{m}^3 = 1500 \text{J} = 1,5 \text{kJ}.$$

2- masala. Izobarik siqilganda boshlang'ich temperaturasi 100°C bo'lgan 10 kg kislorodning hajmi 1,25 marta kamaygan. Gazning bajargan ishini toping.

$$\text{Berilgan: } p = \text{const}, T_1 = 100^\circ\text{C} = 373 \text{K}, m = 10 \text{kg},$$

$$\mu = 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}, V_1/V_2 = 1,25.$$

$$\text{Topish kerak: } A = ?$$

Yechilishi. Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ish formulasi:

$$A = p \cdot \Delta V = p (V_2 - V_1).$$

Mendeleyev — Klapeyron tenglamasi:

$$pV_1 = \frac{m}{\mu} RT_1 \quad \text{dan} \quad p = \frac{m}{\mu} \frac{RT_1}{V_1}.$$

Bosimning bu ifodasini A ish ifodasiga keltirib qo'yamiz. U holda

$$A = p(V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu} \frac{RT_1}{V_1} (V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu} RT_1 \left(\frac{V_2}{V_1} - 1 \right).$$

$$\text{Hisoblash: } A = \frac{10 \text{kg} \cdot 8,31 \text{J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 373 \text{K}}{32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} (0,8 - 1) = -0,194 \text{J}.$$

(Eslatib o'tamiz: tashqi kuchlarning gaz ustida bajarilgan ishi manfiy ish bo'ladi.)

3- masala. Sig'imi $0,8 \text{m}^3$ bo'lgan berk ballon $2,3 \text{MPa}$ bosim ostida 20°C temperaturali argon bilan to'ldirilgan. Agar gazga $4,6 \cdot 10^3 \text{kJ}$ issiqlik berilgan bo'lsa, gazning jarayon oxiridagi temperaturasi va bosimini aniqlang.

Berilgan:

$$V=0,8\text{m}^3=\text{const}, p_1=2,3\text{MPa}=2,3\cdot 10^6\frac{\text{N}}{\text{m}^2}, T_1=20^\circ\text{C}=293\text{K}, \Delta Q=4,6\cdot 10^3\text{kJ}=4,6\cdot 10^6\text{J}.$$

Topish kerak: T_2 —? p_2 —?

Yechilishi. Gaz hajmi o'zgarmas, ya'ni $V=\text{const}$. Izoxorik jarayon uchun

$$\frac{P_1}{P_2}=\frac{T_1}{T_2}, \text{ bundan } P_2=P_1\frac{T_2}{T_1}. \quad (\text{a})$$

Ikkinchi tomondan, $V=\text{const}$ da $\Delta V=0$, demak, $A=p\Delta V=0$. Shuning uchun termodinamikaning birinchi qonuniga ko'ra, $\Delta Q=\Delta U$

bo'ladi. Ichki energiya formulasi $U=\frac{3}{2}\frac{m}{\mu}RT$ dan $\Delta U=\frac{3}{2}\frac{m}{\mu}R\cdot\Delta T$

yoki $\Delta U=\frac{3}{2}\frac{m}{\mu}R(T_2-T_1)$ bo'ladi. Demak, $\frac{m}{\mu}RT_1=P_1V$ ekanligini nazarga olib, gazga berilgan issiqlik miqdori uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\Delta Q=\Delta U=\frac{3}{2}\frac{m}{\mu}R(T_2-T_1)=\frac{3}{2}\frac{m}{\mu}RT_1\left(\frac{T_2}{T_1}-1\right)=\frac{3}{2}p_1V\left(\frac{T_2}{T_1}-1\right),$$

bundan

$$T_2=\frac{2T_1\Delta Q}{3p_1V}+T_1. \quad (\text{b})$$

Hisoblash:

$$T_2=\frac{2\cdot 293\text{K}\cdot 4,6\cdot 10^6\text{J}}{3\cdot 2,3\cdot 10^6\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\cdot 0,8\text{m}^3}+293\text{K}\approx 743\text{K}.$$

$$p_2=2,3\cdot 10^6\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\cdot \frac{743\text{K}}{293\text{K}}=5,82\cdot 10^6\frac{\text{N}}{\text{m}^2}=5,82\text{MPa}.$$

4- masala. Bir atomli 1 mo'l gaz izobarik kengayganda 160 J ish bajaradi va temperaturasi 10° ga ortadi. Gazga qancha issiqlik miqdori berilgan?

Berilgan: $p=\text{const}$, $A=160\text{J}$, $\Delta T=10\text{K}$, $\frac{m}{\mu}=1\text{mo'l}$.

Topish kerak: ΔQ —?

Yechilishi. Termodinamikaning birinchi qonuniga ko'ra, gazga berilgan issiqlik miqdori quyidagicha ifodalanadi:

$$\Delta Q = \Delta U + A.$$

Bir atomli gazning ichki energiyasi formulasi $U = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{3}{2} RT$ dan $\Delta U = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{3}{2} R\Delta T$

bo'ladi. ΔU ning bu ifodasini ΔQ ning ifodasiga keltirib qo'yamiz. U holda

$$\Delta Q = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{3}{2} R\Delta T + A$$

munosabatni hosil qilamiz.

$$\text{Hisoblash: } \Delta Q = 1 \text{ mo}^3 \cdot \frac{3}{2} \cdot 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mo}^3 \cdot \text{K}} \cdot 10\text{K} + 160\text{J} \approx 284\text{J}.$$



Mustaqil yechish uchun masalalar

127. Ideal gaz avval izobarik kengayib, so'ngra izotermik siqilgan. Bu jarayonlarni p , T va V , T koordinatalarda tasvirlang.

128. 20 dm^3 sig'imli yopiq idishda zichligi $0,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ bo'lgan bir atomli gaz bor. Agar shu sharoitda gazni 80° ga isitish uchun 997 J issiqlik miqdori zarur bo'lsa, shu gazning molyar massasini toping.

129. 1 atm bosimda 30 dm^3 hajmni egallab turgan gaz 20°C dan 80°C gacha izobarik ravishda isitilgan. Gaz bajargan ishni toping.

130. Hajmi 5 dm^3 bo'lgan berk idishda 2 atm bosim ostida bir atomli gaz bor. Agar isitilgandan so'ng gazning bosimi 4 marta ortgan bo'lsa, gazga berilgan issiqlik miqdorini toping.

131. Massasi 10 g bo'lgan argonga o'zgarmas bosimda 519 J issiqlik miqdori berilganda 100° ga isigan. Gazning ichki energiyasining o'zgarishini va gaz tomonidan bajarilgan ishni toping.

132. $3 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ bosim ostida bo'lgan bir atomli gaz izobarik kengayganda uning hajmi 2 l dan 7 l gacha ortgan. Gazning bajargan ishini, ichki energiyasining o'zgarishini va unga uzatilgan issiqlik miqdorini toping.

133. Geliyning hajmini 20 dm^3 dan 10 dm^3 gacha kamaytirilganda uning bosimi 1 atm dan $2,5 \text{ atm}$ gacha ortgan. Shunda gazning ichki energiyasi qanchaga ortgan?

113- §. Moddalarning issiqlik sig'implari

Massalari bir xil bo'lgan har turli moddaning, masalan, alu-
miniy, jez, g'isht, yog'och va hokazo kabilarning temperaturasini
bir xil qiymatga ko'tarish uchun turli miqdorda issiqlik berish
lozimligini tajribada ko'rish mumkin.

*Jism temperaturasini bir kelvinga ko'paytirish uchun unga
berilishi lozim bo'lgan issiqlik miqdoriga son jihatidan teng bo'lgan
kattalik shu jismning issiqlik sig'imi (C) deb ataladi. SI da issiqlik
sig'imining birligi J/K.*

Tajribaning ko'rsatishicha, bir xil massali turli moddalarga
bir xil issiqlik berilganda ularning temperaturasi turlicha o'zgaradi.
Shuning uchun moddalarning issiqlik xossalari xarakterlaydigan
maxsus tushuncha — *solishtirma issiqlik sig'imi* kiritilgan.

*Birlik massali moddaning temperaturasini bir kelvinga
ko'tarish uchun unga berilishi lozim bo'lgan issiqlik miqdoriga
son qiymati jihatidan teng bo'lgan kattalik solishtirma issiqlik
sig'imi (c) deb ataladi. Agar m massali moddaga Q issiqlik
miqdori berilganda uning temperaturasi $T_2 - T_1 = \Delta T$ ga o'zgarsa,
u holda ta'rifga binoan,*

$$c = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)} = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (53)$$

deb yoza olamiz. Solishtirma issiqlik sig'imining SI da birligi
J/ (kg · K).

Berilgan jismning issiqlik sig'imi (C) bilan solishtirma issiqlik
sig'imi (c) o'zaro quyidagicha bog'lanishga ega:

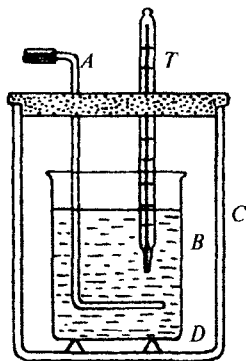
$$C = mc, \quad (54)$$

bu yerda m — berilgan jismning massasi. Solishtirma issiqlik
sig'imining ta'rifiga ko'ra m massali jismni T_1 temperaturadan T_2
temperaturagacha isitish uchun unga berilgan issiqlik miqdori
quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$Q = cm (T_2 - T_1) = cm \Delta T. \quad (55)$$

Jism soviganda uning oxirgi temperaturasi boshlang'ich tempera-
turasidan past bo'ladi va issiqlik miqdori (55) formulaga asosan,
manfiy bo'ladi, bunda jism tashqi jismlarga issiqlik beradi.

Issiqlik miqdori kalorimetr yordamida o'lanadi. Bu asbobjda atrofdagi muhit ta'siridan xoli bo'lgan jismlar o'rtasida issiqlik almashinadi (185- rasm). Kalorimetr yupqa devorli *B* metall stakan bo'lib, u tubida *D* yog'och yoki po'kak taglik bo'lgan tashqi *C* metall stakanga solingan bo'ladi. Taglik va stakanlarning orasidagi havo qatlami kalorimetr issiqligini isrof bo'lishidan saqlaydi. Shuningdek, kalorimetrda *T* termometr va *A* aralashtirgich bo'ladi.



185- rasm.

114- §. Issiqlik balansi tenglamasi

Massasi m_1 , solishtirma issiqlik sig'imi c_1 bo'lgan kalorimetrga massasi m_2 , solishtirma issiqlik sig'imi c_2 bo'lgan suv solingan bo'lib, kalorimetr bilan suvning boshlang'ich temperaturasi T_1 bo'lsin. Unga massasi m , temperaturasi T_2 , solishtirma issiqlik sig'imi c bo'lgan qizitilgan temir bo'lagini tushirsak, bir oz vaqt o'tgandan keyin suvli kalorimetr bilan temirning temperaturalarini tenglashib, issiqlik muvozanati holati qaror topadi. Bu vaqtda sistemaning temperaturasini T deb belgilaymiz. Ravshanki, $T_1 < T < T_2$ bo'ladi.

Tajribada aniqlanishicha (aniqrog'i, energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra), issiqroq jism chiqargan issiqlik miqdori sovuqroq jism olgan issiqlik miqdoriga teng bo'ladi. Kalorimetrdagi olgan issiqlik miqdori

$$Q_1 = m_1 c_1 (T - T_1),$$

suvning olgan issiqlik miqdori

$$Q_2 = m_2 c_2 (T - T_1),$$

temirning bergan issiqlik miqdori

$$Q = mc (T_2 - T)$$

bo'ladi. Demak, issiqlik muvozanati holati qaror topganda qizitilgan temir T_2 dan T gacha sovib, Q issiqlik miqdorini kalorimetr bilan suvga beradi. Natijada ular isib, temperaturalarini T_1 dan T gacha ko'tariladi. Bunda quyidagi tenglik o'rinli bo'ladi:

$$Q_1 + Q_2 = Q. \quad (56)$$

(56) tenglama *issiqlik balansi tenglamasi* deb ataladi. Bu tenglamaga Q , Q_1 va Q_2 ning qiymatlarini qo'yib, quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$m_1 c_1 (T - T_1) + m_2 c_2 (T - T_1) = mc (T_2 - T). \quad (57)$$

Biror jismning, masalan, yuqorida keltirilgan temirning solishtirma issiqlik sig'imi (c) noma'lum bo'lsa, uni (57) tenglamadan quyidagicha topish mumkin:

$$c = \frac{m_1 c_1 (T - T_1) + m_2 c_2 (T - T_1)}{m (T_2 - T)} = \frac{(m_1 c_1 + m_2 c_2)(T - T_1)}{m (T_2 - T)}. \quad (58)$$

Bu ixtiyoriy jismning solishtirma issiqlik sig'imini topish formulasi.

Ko'p jismlar o'rtasida bo'ladigan issiqlik almashinuvining umumiy holda issiqlik balansi tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0, \quad (59)$$

bu yerda Q_1 , Q_2 , Q_3 , ... sistemadagi jismlarning olgan yoki bergan issiqlik miqdorlari bo'lib, ularning algebraik yig'indisi nolga teng.

115- §. Gazlarning o'zgarmas hajmdagi va o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi. Mayer formulasi

Moddalarning solishtirma issiqlik sig'imi tushunchasi bilan bir qatorda *molyar issiqlik sig'imi* tushunchasi ham ishlatiladi.

Bir mo'l moddaning temperaturasini bir kelvinga ko'tarish uchun kerak bo'ladigan issiqlik miqdoriga son qiymati jihatidan teng bo'lgan kattalik shu moddaning molyar issiqlik sig'imi deyiladi.

Agar μ massali moddaga Q issiqlik miqdori berilganda uning temperaturasi ΔT ga o'zgarsa, u holda molyar issiqlik sig'imi, ta'rifga binoan,

$$C_\mu = \frac{Q}{\mu \Delta T} \quad (60)$$

bo'ladi. Molyar issiqlik sig'imining SI dagi birligi:

$$[C_\mu] = \frac{[Q]}{[\mu][\Delta T]} = \frac{1\text{J}}{1\text{mo'l} \cdot 1\text{K}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{mo'l} \cdot \text{K}}.$$

Solishtirma issiqlik sig'imi bilan molyar issiqlik sig'imi orasida quyidagi munosabat mavjud:

$$C_{\mu} = \mu \cdot c. \quad (61)$$

Moddalarning issiqlik sig'imi faqat ularning xossalarigagina emas, balki issiqlik qanday sharoitda uzatilayotganiga ham bog'liq. O'zgarmas bosim sharoitida isitilganda gaz kengayib, tashqi jismlar ustida musbat ish bajaradi. Binobarin, bu holda gazning temperaturasini bir kelvinga oshirish uchun uni o'zgarmas hajm sharoitida isitgandagiga qaraganda ko'proq issiqlik miqdori kerak, chunki issiqlikning bir qismi gazning ish bajarishiga sarf bo'ladi.

Shuning uchun moddaning ikki xil issiqlik sig'imi: *o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imi* va *o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi* haqida gap yuritiladi.

Ichki energiya tushunchasidan foydalanib, gazlarning o'zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig'imi C_v bilan o'zgarmas bosimdagi molyar issiqlik sig'imi C_p va ular orasidagi munosabatni aniqlaylik. Gaz massasi bir mo'l bo'lsin.

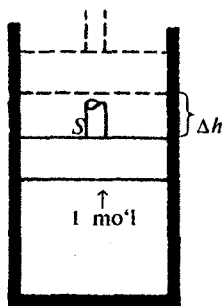
a. O'zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig'imi. Termodinamikaning birinchi bosh qonuniga ko'ra, gazga uzatilgan ΔQ issiqlik miqdori

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A \quad (62)$$

ga teng, bu yerda $\Delta A = p\Delta V$ — gaz tomonidan tashqi kuchlarga qarshi bajarilgan ish. Isitish jarayonida gazning hajmi $V = \text{const}$ bo'lgani sababli hajm o'zgarishi $\Delta V = 0$, binobarin, $\Delta A = 0$ va $\Delta Q = \Delta U$. Demak, *o'zgarmas hajmda gazga berilgan issiqlik miqdori faqat uning ichki energiyasini orttirishga sarf bo'ladi*. Bunda gazning temperaturasi ΔT ga ko'tarilgan bo'lsa, o'zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig'imi quyidagicha ifodalanadi:

$$C_v = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{\Delta U}{\Delta T}. \quad (63)$$

106- § dan ma'lumki, bir mo'l massali ideal gazning ichki energiyasi $U = \frac{i}{2} RT$ edi. U holda ichki energiyaning o'zgarishi



186- rasm.

$\Delta U = \frac{i}{2} R \Delta T$ bo'ladi. Demak, ideal gazning o'zgarish hajmdagi molyar issiqlik sig'imi

$$C_V = \frac{i}{2} R \quad (64)$$

bo'ladi, m massali gaz uchun esa:

$$C_V = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R. \quad (65)$$

b. O'zgarish bosimdag molyar issiqlik sig'imi. O'zgarish bosim sharoitida gaz isitilganda gaz kengayib tashqi kuchlarga qarshi ish bajaradi.

Shuning uchun kengayish ishi ΔA ga teng qo'shimcha issiqlik miqdori sarflanadi. U holda o'zgarish bosimdag molyar issiqlik sig'imi C_p o'zgarish hajmdagi molyar issiqlik sig'imi C_V dan ΔA ish kattaligicha ortiq bo'ladi:

$$C_p = C_V + \Delta A. \quad (66)$$

ΔA ishni aniqlash uchun 1 mo'l gazni porshenli silindrga qamaymiz (186-rasm). Porshenning yuzi S bo'lsin. $p = \text{const}$ da gazni 1 K ga qizdiramiz. Gaz kengayib, porshenni Δh balandlikka ko'taradi va ΔA ish bajaradi. Gazning hajmi V_μ dan V'_μ gacha ortadi, hajm o'zgarishi $\Delta V_\mu = V'_\mu - V_\mu$ ga teng bo'ladi. Ikkinchi tomondan, hajmning o'zgarishi $\Delta V = S \cdot \Delta h$.

$$\Delta A = p \Delta V = p (V'_\mu - V_\mu) = p V'_\mu - p V_\mu$$

bo'ladi. Mendeleyev—Klapeyron tenglamasiga muvofiq, gaz isitilmasdan oldin $pV = RT$, 1K ga isitilgandan so'ng $pV'_\mu = R(T+1)$ bo'ladi. Binobarin, $\Delta A = R(T+1) - RT = R$.

Shunday qilib,

$$\Delta A = R. \quad (67)$$

(67) ga ko'ra, gaz universal doimiysining fizik ma'nosini aniqlash mumkin: *gaz universal doimiysi son qiymati jihatdan bir mo'l ideal gazning o'zgarish bosimda bir kelvinga qizdirganda kengayish ishiga teng ekan.*

(66) va (67) formulalardan C_p va C_v orasidagi munosabat quyidagicha ko'rinishda bo'ladi:

$$C_p = C_v + R. \quad (68)$$

Bu munosabatni birinchi marta nemis olimi Mayer aniqlagan va *Mayer formulasi* deb yuritiladi.

(64) formuladan C_v ning ifodasini (68) formulaga keltirib qo'ysak, o'zgarmas bosimdagi molyar issiqlik sig'imi uchun quyidagi munosabatga ega bo'lamiz:

$$C_p = \frac{i}{2} R + R = \frac{i+2}{2} R. \quad (69)$$

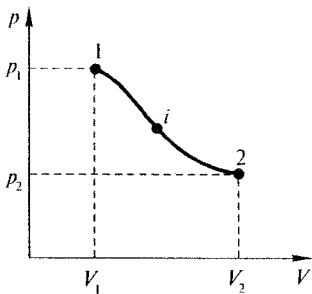
Shunday qilib, (64) va (69) ifodalar asosida quyidagi xulosaga kelamiz: *bir atomli ideal gazning o'zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig'imi C_v kabi o'zgarmas bosimdagi molyar issiqlik sig'imi C_p ham gazning temperaturasiga bog'liq emas ekan.*

Tajribalar gazlar uchun molyar issiqlik sig'irlarining eksperimental qiymatlari ularning (64) va (69) formulalar asosida nazariy hisoblangan qiymatlari bilan mos tushishini ko'rsatadi. Bu tasodifiy emas. Chunki molekulyar-kinetik nazariya va issiqlik sig'imining nazariyasi asosida ideal gaz zarralarini nuqtalar sifatida, juda bo'lmaganda kichik sharchalar sifatida tasavvur qilish yotadi. Bunday tasavvurga faqat bir atomli gazlar muvofiq keladi.

116- §. Qaytar va qaytmas jarayonlar haqida tushuncha

Har qanday termodinamik sistemaning holati xuddi gazlarning holati kabi (96-§ ga q.) uchta parametr: T temperatura, p bosim va V hajm bilan aniqlanadi. Bu parametrlar bir-biri bilan bog'langan. Termodinamik jarayon ro'y berishi sistemaning holat parametrlarining o'zgarishini bildiradi.

Agar sistemaning barcha holat parametrlari istagancha uzoq vaqt davomida o'zgarishsiz qolsa, sistema *termodinamik muvozanatda* bo'ladi. Koordinata o'qlari bo'yicha sistemani xarakterlovchi parametrlarning qiymatlarini qo'yib, sistemaning holatini grafik



187- rasm.

usulda nuqta bilan tasvirlash mumkin. Termodinamik jarayonda sistema bir holatdan ikkinchi holatga qator oraliq holatlar orqali o'tadi. Grafikda har bir oraliq holatga bitta nuqta mos keladi, binobarin, jarayon uchun nuqtalar zanjirini hosil qilamiz. Bu nuqtalar o'zaro birin-ketin tutashtirilsa, jarayonni ifodalovchi egri chiziqni hosil qilamiz va sistemaning *holat diagrammasini* olamiz. Koordinata o'qlariga sistemaning

ixtiyoriy ikki parametrining qiymatlarini qo'yib, p, V ; p, T va V, T holat diagrammalari hosil qilinadi. Shunday diagrammalardan biri, ya'ni p, V diagramma 187- rasmda tasvirlangan: sistema 1- boshlang'ich holatdan i oraliq holatlar orqali 2- oxirgi holatga o'tgan. Bu holatlarning har birida sistema termodinamik muvozanatda bo'lishi kerak, chunki egri chiziqning har bir nuqtasiga p bosim va V hajmning biror tayinli qiymatlari mos keladi.

Muvozanatli holatlarning uzluksiz ketma-ketligidan iborat bo'lgan jarayon muvozanatli jarayon deb ataladi.

Muvozanat holat va muvozanatli jarayon tushunchalari termodinamikada juda katta rol o'ynaydi. Termodinamikaning barcha miqdoriy xulosalari faqat muvozanatli jarayonlargagina aniq qo'llanilishi mumkin.

Agar bir holatdan ikkinchi holatga o'tgan sistema uchun ikkinchi holatdan birinchi holatga shunday o'tish jarayoni mavjud bo'lsaki, bunda sistema birinchi jarayonning barcha oraliq holatlari orqali teskari tartibda o'tib dastlabki holatga qaytsa va bunda sistemada ham, atrof-muhitda ham hech qanday o'zgarish asorati qolmasa, sistemaning bunday o'tish jarayoni qaytar jarayon deyiladi. Aks holda o'tish jarayoni qaytmas jarayon deyiladi.

Masalan, ishqalanishsiz bo'ladigan barcha sof mexanik jarayonlar qaytar jarayonga misol bo'lar edi. Jumladan, mayatnikning tebranishi ishqalanishsiz bo'lsa, uning tebranishi qaytar jarayonga misol bo'la olardi. Biroq ishqalanishni yo'qotib bo'lmaydi. Shu sababli mexanik energiyaning bir qismi hamma vaqt issiqlikka aylanadi va qaytmas bo'lib atrof-muhitga singib ketadi. Demak, mexanik jarayonlar qaytmas jarayonlardir.

Biz bilamizki, issiqlik issiq jismdan sovuq jismga o'z-o'zidan o'tadi, biroq teskarisi, ya'ni issiqlik sovuq jismdan uni yanada sovitib issiq jismga uni yanada isitib o'z-o'zidan o'tmaydi. Shuningdek, gaz o'z-o'zidan bo'shliqqa kengayadi, biroq teskarisi gazning o'z-o'zidan siqilib hajmning bir sohasini egallaganini hech kim kuzatmagan. To'g'ri, gazning bosim kuchiga qarshi tashqi ish bajarib, uni dastlabki hajmigacha siqish mumkin. Lekin bunda gazning ichki energiyasi bajarilgan ish miqdoricha ortadi, uning temperaturasi ko'tariladi. Tashqi muhit mexanik energiyasining bir qismi issiqlikka aylanadi va h.k.

Shunday qilib, issiqlik almashuvi va gazning bo'shliqqa kengayishi qaytmas jarayon ekan.

Umuman tabiatda qaytar jarayonlar mavjud emas. Real jarayonlarning hammasi qaytmasdir. Qaytar jarayonlar ideallashtirilgan tushunchadir. Biroq bir qator aniq masalalarda real jarayonlarni yuqori aniqlik darajasida qaytar jarayonlar deb qarash ham mumkin.

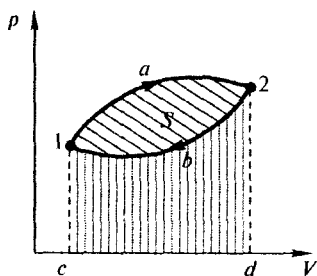
117- §. Karno sikli. Issiqlik mashinalari

Ichki energiyani mexanik energiyaga aylantirib beruvchi mashinalar *issiqlik mashinalari* yoki *issiqlik dvigatellari* deb ataladi.

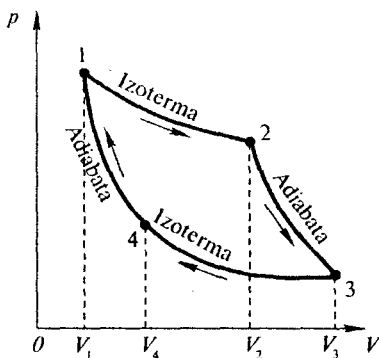
Barcha ko'rinishdagi issiqlik dvigatellarida yoqilg'ining energiyasi avval gazning (yoki bug'ning) energiyasiga aylanadi. So'ng gaz kengayib ish bajaradi va soviydi, uning ichki energiyasi harakatlanuvchi mexanizm (porshen)ning mexanik energiyasiga aylanadi. Issiqlik mashinalarida *sikl* deb ataladigan jarayonlarda ichki energiyaning mexanik energiyaga aylanishi amalga oshadi.

Sistema qator holatlarni o'tish natijasida o'zining dastlabki holatiga qaytadigan jarayon sikl deyiladi.

Sikl sifatida quyidagi jarayonni ko'rib chiqaylik. Faraz qilaylik, biror massali gaz $1 \rightarrow a \rightarrow 2$ egri chiziq bilan ifodalanuvchi qator holatlardan o'tib kengaygan bo'lsin (188- rasm). So'ng $2 \rightarrow b \rightarrow 1$ egri chiziq bilan ifodalanuvchi holatlardan o'tib siqilgan va boshlang'ich holatiga qaytgan bo'lsin. Ta'rifga asosan, sikl grafikda berk egri chiziq bilan ifodalanishini ko'ramiz. Siklda gaz bajargan A ish kengayishda bajarilgan A_1 ish (bu ish musbat, uni gaz bajaradi va son jihatdan $1a2 dc1$ shaklning yuziga teng) bilan siqilishida bajarilgan A_2 ish (bu ish manfiy, uni tashqi kuchlar bajaradi va son jihatdan $2b1 cd2$ shaklning yuziga teng) ayirmasiga teng bo'ladi:



188- rasm.



189- rasm.

$A = A_1 - A_2$ va ikkala shakllar yuzlarini farqi bilan, ya'ni berk Ia $b1$ egri chiziq bilan chegaralangan shaklning yuzi (rasmda shtrixlangan) bilan ifodalanadi.

Issiqlik mashinalarida bunday sikl davriy ravishda takrorlanib turadi va har bir siklda biror A ish bajariladi.

1824- yilda fransuz injeneri va olimi Sadi Karno issiqlik mashinasining ishlash prinsipini va samaradorligini nazariy o'rganib, har qanday issiqlik mashinasining ishlashi uchun ishchi jism, isitkich va sovutkich bo'lishi zarurligini ko'rsatdi. Karno tomonidan tavsiya etilgan ideal mashinada ishchi jism sifatida silindr porsheni ostidagi 1 kilomo'l ideal gaz olingan. Mashina davriy ravishda *Karno sikli* deb ataladigan ikkita izotermik va ikkita adiabatik jarayonlardan iborat siklni bajaradi (189- rasm). Sistema holatining o'zgarishi quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi.

1. Kengayishning birinchi izotermik ($T_1 = \text{const}$) bosqichida ($1-2$ egri chiziq) gaz isitkichdan Q_1 issiqlik miqdorini olib, hajmi V_1 dan V_2 gacha kengayib ish bajaradi va kattalıkları p_1 , V_1 , T_1 dan p_2 , V_2 , T_1 gacha o'zgaradi.

2. Kengayishning ikkinchi adiabatik bosqichida ($2-3$ egri chiziq) hajm V_2 dan V_3 gacha kengayadi. Ammo ish gazning ichki energiyasining kamayishi hisobiga bajariladi. Bunda gaz tashqaridan issiqlik olmaydi ham, bermaydi ham. Gazning kattalıkları p_2 , V_2 , T_1 dan p_3 , V_3 , T_2 gacha o'zgaradi.

3. Soʻngra gaz V_3 dan V_4 gacha izotermik ($T_2 = \text{const}$) siqiladi (3—4 egri chiziq). Bunda tashqi kuch gaz ustida ish bajaradi. Jarayon izotermik boʻlganligi sababli bu ish batamom issiqlikka aylanib, sovitkichga Q_2 issiqlik uzatiladi. Sistemaning kattaliklari p_3, V_3, T_2 dan p_4, V_4, T_2 gacha oʻzgaradi.

4. Siklning oxirgi qismida gaz adiabatik siqilib, gaz hajmi V_4 dan V_1 gacha kamayadi (4—1 egri chiziq). Bunda bajarilgan ish gaz temperaturasini boshlangʻich darajasiga koʻtarish uchun sarflanadi, sistemaning ichki energiyasi ortadi. Sistemaning kattaliklari p_4, V_4, T_2 dan p_1, V_1, T_1 gacha oʻzgaradi, yaʼni boshlangʻich holatdagi qiymatni egallaydi.

Shunday qilib, sikl davomida gazning bajargan ishi isitkichdan olingan Q_1 va sovitkichga berilgan Q_2 issiqlik miqdorlarining ayirmasiga teng, yaʼni

$$A_r = Q_1 - Q_2 \quad (70)$$

boʻladi va mashinaning bir siklda bajargan foydali ishini ifodalaydi.

Siklning foydali ish koeffitsienti (FIK) sikl davomida bajarilgan foydali ishning umumiy ishga nisbatiga yoki sikl davomida sistema olgan ($Q_1 - Q_2$) issiqlik miqdorining isitkich bergan Q_1 issiqlik miqdoriga boʻlgan nisbatiga teng. *Sistema olgan issiqlik miqdorining qancha qismini foydali ishga aylanganligini koʻrsatuvchi kattalik siklning FIK i deyiladi, yaʼni*

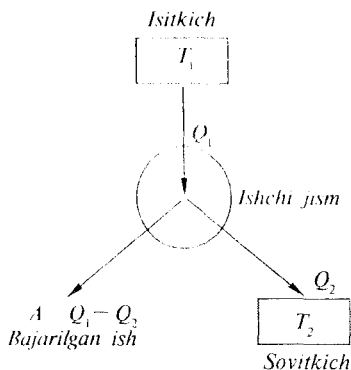
$$\eta = \frac{A_r}{A} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

yoki protsentlarda

$$\eta = \frac{A_r}{A} = 100\% \cdot \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 100\% \quad (71)$$

190- rasmda issiqlik mashinasining prinsipl sxemasi keltirilgan.

Yuqorida aytilganlardan shunday xulosaga kelish mumkin: *isitkichdan olingan issiqlik miqdorini toʻla ishga aylantira oladigan mexanizm boʻlishi mumkin emas, chunki bu issiqlik miqdorining bir qismi sovitkichga berilishi kerak.*



190- rasm.

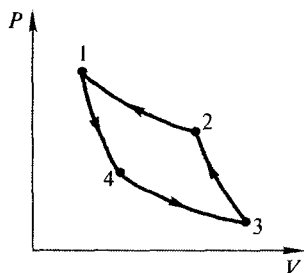
Agar isitkichning temperaturasi T_1 , sovitkichniki T_2 desak, Karno sikli bo'yicha ishlaydigan ideal issiqlik mashinasining nazariy mumkin bo'lgan eng katta FIK quyidagicha ifodalanishini Karno isbot qilgan:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (72)$$

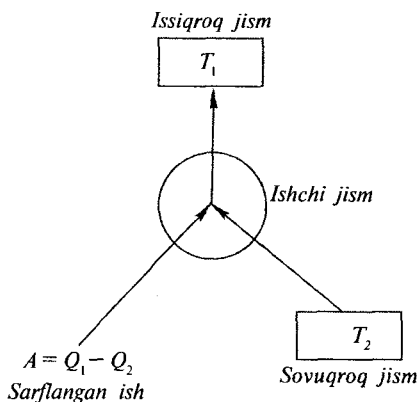
Demak, ideal issiqlik mashinasining FIK ni oshirish uchun isitkichning temperaturasi yuqori, sovitkichniki esa past bo'lishi kerak.

118- §. Sovitkich mashinalar

116- § da ko'rsatib o'tilganidek, qaytar jarayon shu bilan xarakterlanadiki, agar uni teskari yo'nalishda olib borilsa, jarayonda qatnashayotgan jism xuddi shu holatlardan, biroq teskari tartibda o'tadi. Karno sikliga qo'llaganda bu shuni bildiradiki, issiqlik isitkichdan sovitkichga emas, aksincha, sovitkichdan isitkichga beriladi. 191- rasmda ana shunday ishlaydigan qaytar Karno sikli tasvirlangan. Bunday jarayonni, odatda, *teskari Karno sikli* deyiladi. Rasmdan ko'rinadiki, ishchi jism 1 holatdan 4 holatga adiabatik kengayib o'tadi, so'ng 4 holatdan 3 holatga izotermik kengayib o'tadi, bunda ishchi jism kengayish ishini bajaradi. Siklning ikkinchi yarmida jism adiabatik siqilib 3 holatdan 2 holatga va izotermik siqilib 2 holatdan 1 dastlabki holatga o'tadi. Bunda jism ustida siqish ishini tashqi kuchlar bajaradi va bu ish ishchi jismning siklning birinchi



191- rasm.



192- rasm.

yarmida bajargan ishidan katta bo'ladi. Shuning uchun Karno teskari siklining natijasi tashqi foydali ish bo'lmay, balki issiqlikning sovitkichdan isitkichga, ya'ni kamroq qizigan jismdan ko'proq qizigan jisimga uzatilishi bo'ladi.

Karno to'g'ri sikli (190- rasmga q.) bo'yicha ishlaydigan qurilma issiqlikni mexanikaviy ishga aylantirish uchun xizmat qilsa, ya'ni issiqlik mashinasi bo'lsa, Karno teskari sikli bo'yicha ishlaydigan mashina issiqlikni kamroq qizigan jismdan ko'proq qizigan jisimga berish uchun ishlatiladi, ya'ni sovitkich mashina bo'lib xizmat qiladi.

192- rasmda ideal sovitkich mashinaning prinsipial sxemasi berilgan. Tashqi kuchlarning bajargan A ishi hisobiga ishchi jism (gaz) sovuqroq jismdan Q_2 issiqlik miqdorini oladi va issiqroq jisimga Q_1 issiqlik miqdorini beradi.

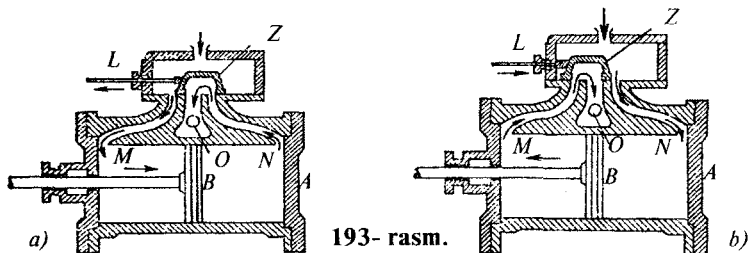
Hozirgi zamonda xo'jalikda ishlatiladigan sovitkich mashina (muzlatkich) larda tashqi A ish elektr energiyasining hisobiga bajariladi.

119- §. Issiqlik dvigatellari

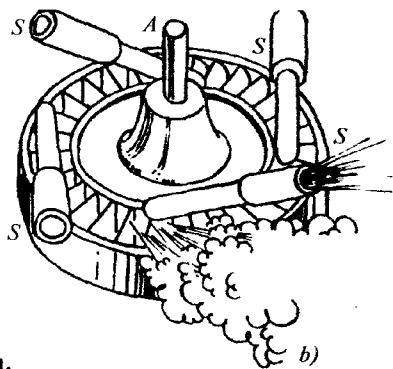
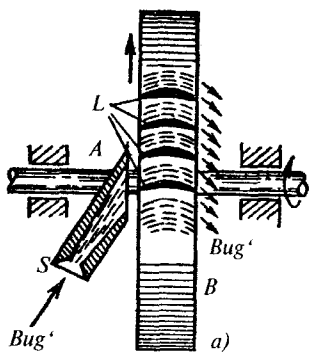
Texnikada qo'llaniladigan issiqlik mashinalaridan ayrim turlarining ishlash prinsipi bilan tanishib chiqaylik.

Issiqlik dvigatellari mexanik harakatga kelish usullariga qarab, ular porshenli (bug' mashinalari va ichki yonuv dvigatellari), rotatsion (bug' va gaz turbinalari) va reaktiv dvigatellarga bo'linadi.

Porshenli bug' mashinasi. Bug' mashinalari XVII va XVIII asrlarda ixtiro qilingan bo'lib, shu kungacha ishlatilib kelinmoqda. Uning (193- a rasm) asosiy qismi B porshen harakatlanadigan A cho'yan silindrdan iboratdir. Silindr bug' taqsimlovchi mexanizm bilan ta'minlangan bo'lib, bu mexanizm maxsus L porshen bilan birga harakatlanuvchi bug' qozoniga tutashtirilgan Z qopqoqli taqsimlagich qutichadan iboratdir. Quticha atmosfera bilan O teshikcha orqali, A silindr bilan esa M va N naylar orqali tutashtirilgan.



193- rasm.



194- rasm.

B porshen o'ngga harakatlansa (193- *a* rasm), *A* silindrga *M* nay orqali bug' kiradi. *N* nay orqali ishini bajargan bug' atmosferaga chiqadi. Porshen chapga tomon harakatlansa (193- *b* rasm), *N* nay orqali bug' silindrning o'ng qismiga kiradi va o'z ishini bajargan bug' *M* nay orqali atmosferaga chiqadi. Shunday qilib, porshenli dvigatellarda gaz yoki bug'ning bosimi ostida mashinaning ishchi silindrida porshen ilgarilanma-qaytma (tebranma) harakatda bo'lib shatun-krivoship mexanizmi yordamida mashinaning tirsakli o'qida aylanma harakat hosil qiladi. Bunday bug' mashinasining afzalligi uning oddiyligida, yoqilg'ining arzonligida, teskari yuritish mumkinligidadir. Kamchiligi esa harakat tezligi kichik, g'ildirak to'la aylanishi uchun porshen orqaga albatta ilgarilanma harakat qilishi shart. FIK (η) kichik, masalan, I. I. Polzunov ixtiro qilgan mashinaning FIK i 0,1%, J. Uatt ixtiro qilgan mashinaning FIK 1%, hozirgi mashinalarning FIK esa 10–12%.

Bug' turbinasi. Porshenli bug' mashinasining kamchiliklari, FIK ining kichik ekanligi bug' energiyasidan foydalanishning boshqa usullarini ixtiro etishga majbur qildi. Bug' mashinasida bug'ning potensial energiyasidan foydalanilgan bo'lsa, bug' turbinasida bug'ning kinetik energiyasidan foydalaniladi: forsunkadan chiqayotgan bug' yoki gaz oqimi ishchi g'ildirakning kurakchalariga yo'naltirilib, g'ildirakni aylanma harakatga keltiradi.

Bug' turbinasining ishlash sxemasi 194- *a* rasmda, bitta diskining tashqi ko'rinishi 194- *b* rasmda ko'rsatilgan. *L* kurakchalari bo'lgan *B* disk *A* valga o'rnatilgan. Kurakchalar qarshisida *S* soplolar joylashgan bo'lib, bularga qozondan katta bosim ostida bug' keladi. Soplolar

og'ziga qarab kengayib boruvchi teshik shaklida qilib ishlangan, shuning uchun uning ichida bosim pasayishi hisobiga bug' chiqish vaqtida katta (taxminan 100 m/s) tezlik oladi. Bug' soplodan chiqqach, turbina g'ildiragining L kurakchalariga kelib urilib, ularga bosim beradi va turbinaning ishchi g'ildiragi B diskni aylantiradi.

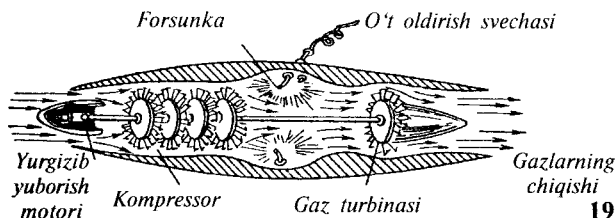
Qudratli bug' turbinalari ko'p (16–40) pog'onali qilib quriladi. Turbina g'ildiraklarida kurakchalarning umumiy soni bir necha minglarga teng bo'ladi. Ishlab bo'lgan bug'dan turmushda, jumladan, binolarni isitishda foydalaniladi. Ishlab bo'lgan bug' issiqligidan foydalanuvchi stansiyalar issiqlik elektr markazlari (IEM) deyiladi.

Reaktiv dvigatellar. Reaktiv dvigatellar quyidagi asosiy qismlardan iborat: yonilg'i baki, yonilg'i yonadigan kamera, kameraga yonilg'i yetkazib beradigan va yonishdan hosil bo'ladigan mahsulotni chiqarib tashlaydigan qurilma.

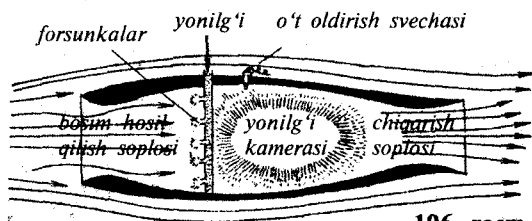
Reaktiv dvigatelning ishlashi quyidagicha: ishlovchi aralashmaning yonishi natijasida hosil bo'lgan gaz chiqish teshigi soplodan juda katta tezlik bilan otilib chiqadi. Yonilg'i yonganda bosimning keskin ravishda oshib ketishi natijasida gazlarning soplodan chiqish tezligi dvigatelga kiradigan havoning tezligidan ko'p marta katta bo'ladi. Impulsning saqlanish qonuniga muvofiq, shu tezliklar ayirmasi hisobiga reaktiv tortish kuchi hosil bo'ladi. bu kuch dvigatelni qarama-qarshi tomonga harakatga keltiradi.

Reaktiv dvigatellar ikki turga: havo-reaktiv dvigatellariga (HRD) va raketalarga bo'linadi.

Reaktiv dvigatelli uchar apparatda faqat yonilg'i bo'lib, atmosfera havosi esa oksidlovchi va chiqish vaqtida tortish kuchini hosil qiladigan ishchi modda vazifasini bajaradi. Reaktiv dvigatelning yonilg'isi ham, ishchi moddasi ham o'zida bo'ladi, shuning uchun uning ishlashi atrofdagi muhitga bog'liq bo'lmaydi.



195- rasm.



196- rasm.

Hozirgi vaqtda HRD ning ikki turi — turboreaktiv va to'g'ri oqimli turlari tarqalgan.

Turboreaktiv dvigatellar (TRD) havo so'rg'ichdan, gaz turbinasi bilan aylantiriladigan rotatsion kompressordan, yonish kamerasi va reaktiv soplodan tashkil topgan (195- rasm). Kompresor bilan siqilgan havoning bosimi 4–10 marta ortadi. Siqilgan havo yonilg'i purkaladigan yonish kamerasiga kiradi. Bu kamerada yonish mahsulotlari bir, ikki yoki uch pog'onali gaz turbinasi orqali o'tib, bitta valga joylashgan kompressor bilan rotor g'ildiragini aylantiradi. So'rilayotgan havo impulsining orttirmasiga teng bo'lgan reaktiv tortish kuchi yuzaga keladi. TRD larda turbina orqasiga „forsaj kameralar“ o'rnatilgan bo'lib, ularda yonilg'i oxirigacha yonadi. Shu yo'l bilan temperatura mumkin bo'lganicha maksimal darajaga ko'tariladi. Uchish tezligi 800 km/soat dan kam bo'lmagan hollarda TRD lardan foydalaniladi.

To'g'ri oqimli havo-reaktiv dvigatellari (TOHRD) havo to'plagich, yonish kamerasi va chiqish soplosidan (196- rasm) iborat. Havo isiganda uning solishtirma hajmi kengayadi, harakat tezligi ortadi va reaktiv tortish kuchi yuzaga keladi. Ma'lumki, TOHRD da havoni so'rish uchun moslama bo'lmaganligi sababli qo'zg'almas havoda u tortish kuchi hosil qila olmaydi. Shuning uchun TOHRD bilan ishlaydigan samolyotlar yoki „snaryad“larni majburiy, masalan, start raketalari yordamida uchirish kerak bo'ladi.

Reaktiv dvigatellarni yanada takomillashtirish ustida olimlar muvaffaqiyatli ishlar olib bormoqdalar.

Bug' turbinasining afzalligi tezligining kattaligi, ixchamligi, nisbatan quvvatining kattaligi va, demak, FIK ning yuqoriligidadir (25—30% gacha). Kamchiligi esa yurgizish va to'xtatish uchun ko'p vaqt sarflanishi, teskari yuritib bo'lmashligidadir. Bug' turbinalarining FIK ancha yuqori bo'lganligi uchun hozirgi vaqtda ular keng tarqalgan issiqlik dvigatellari qatoriga kiradi.

120- §. Issiqlik dvigatellari va atrof-muhitni himoya qilish

Issiqlik dvigatellari xalq xo'jaligida turli-tuman maqsadlarda foydalaniladi. Ular samolyot, teploxod, avtomobil, traktor, teplovozlarni, shuningdek, daryo va dengiz kemalarini harakatga keltiradi. Umuman hozirgi vaqtda hayotni dvigatellarsiz tasavvur etib bo'lmaydi.

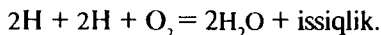
Hozirgi kunda dunyo olimlari, injener-konstruktorlari oldidagi eng asosiy vazifalar quyidagilardan iborat:

1. Issiqlik dvigatellarini takomillashtirish va FIK ni oshirish.

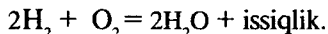
2. Yonilg'i tanqisligini nazarda tutgan holda neft va neft mahsulotlarini boshqa turdagi yonilg'i bilan almashtirish.

3. Tabiatni muhofaza qilish.

Yonilg'i tanqisligini nazarda tutib benzin o'rnida siqilgan vodoroddan foydalanish nazariyasi ishlab chiqildi. Atomar vodorod bir-biriga qo'shilib, kislorod bilan oksidlanganda juda katta, taxminan 320 MJ/kg energiya ajraladi. Bu issiqlik benzinning issiqlik berish qobiliyatidan 8 marta ortiqdir. Bunda quyidagicha reaksiya ketadi:



4000° C temperaturada ikkita vodorod atomi birikib, vodorod molekulasini hosil qiladi va kislorod bilan quyidagicha reaksiyaga kirishadi:



Bunda ajralgan issiqlik miqdori 120 MJ/kg (36000 Vt-soat/kg) bo'ladi. Ammo bunday yonilg'idan foydalanish hozircha xavflidir, chunki portlash ehtimoli bor.

Mutaxassislarning aniqlashicha: neft va neft mahsulotlari yonganda undan atmosferaga 200 xilga yaqin gaz chiqib uni ifloslaydi, bu esa inson salomatligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. O'z davrida D. I. Mendeleyev ham (1859- y) „Ishlab chiqarish xabarchisi“ nomli jurnalda bosilib chiqqan „Tutunning kelib chiqishi va unga qarshi kurash“ maqolasida tutunning zararli ta'sirlari haqida yozgan edi. Shuningdek, tutunning hosil bo'lish sababi yonilg'iga oksidlovchining yetishmagani va natijada yonilg'ining ko'p qismi isrof bo'lib havoga tutab chiqishi aytilgan edi. Ana shu zararli tomonini oldini olish imkoniyati quyidagilardan iborat:

a) haydovchi mashinani yurgizishdan avval uning karbyuratorini tozalashi lozim, bunda atmosferaga chiqadigan zararli gazlar 50% ga kamayadi;

b) ma'lumki, mashinalar keskin tormoz berib to'xtaganda ko'p gaz chiqaradi, uni kamaytirish maqsadida tezlikni asta-sekin kamaytirib to'xtash lozim;

d) neft va neft mahsulotlarini boshqa yonilg'i (vodorod va Quyosh energiyasi) bilan almashtirish lozim; vodorod yonganda atmosferaga zararli gazlar chiqmaydi.

Aniqlanishicha, O'zbekiston sharoitida yilning taxminan 300 kuni bulutsiz — quyoshli bo'lar ekan. Demak, Quyosh energiyasidan to'liq foydalanish mumkin.

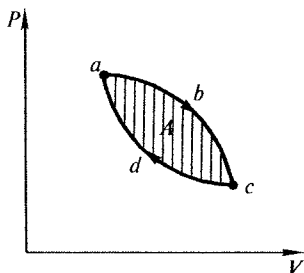
Hozirgi kunda mutaxassislar oldida turgan asosiy muammolardan biri vodorod va Quyosh energiyasidan keng foydalanishni ishlab chiqishdir.

121- §. Termodinamikaning ikkinchi qonuni

Issqlik mashinasi isitkichdan Q_1 issiqlik miqdorini olib, issiqlik miqdorining Q_2 qismini sovitkichga bermasdan ish bajara oladimi, degan savol tug'ilishi mumkin. Boshqacha qilib aytganda Q_1 issiqlikni butunlay ishga aylantirish mumkinmi? Bu savolga javob topish uchun ideal gazning ixtiyoriy $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$ siklini ko'z oldimizga keltiraylik (197- rasm). Siklda bajarilgan ish $a b c d a$ egri chiziq bilan chegaralangan yuza kattaligi bilan aniqlanadi. Sovitkich bo'lmaganda $a \rightarrow b \rightarrow c$ jarayonni berkitish (ya'ni siklni amalga oshirish) uchun $c \rightarrow b \rightarrow a$ teskari jarayon bo'lishi kerak edi. Lekin bunday siklning bajargan ishi nolga teng bo'ladi (bu holda $abcd a$ egri chiziq chegaralab turgan yuza bo'lmaydi). Demak, isitkichdan olingan Q_1 issiqlikning Q_2 qismini sovitkichga berish A ish bajarilishining zaruriy sharti bo'ladi. Binobarin, $A = Q_1 - Q_2$ ga asosan $A < Q_1$ bo'ladi, ya'ni issiqlik mashinasi barcha olingan issiqlik miqdorini butunlay ishga aylantira olmaydi. Tajriba va termodinamikadan chiqarilgan barcha xulosalar shuni ko'rsatadiki, faqat ayni shu issiqlik mashinasigina emas, balki umuman har qanday mashina bunday qila olmas ekan.

Isitkichdan olinadigan hamma issiqlik miqdorini to'la ishga aylantiradigan mexanizm bo'lishi mumkin emas; bu issiqlik miqdorining bir qismi sovitkichga berilishi kerak.

Bu xulosa termodinamika ikkinchi qonunining asosiy ta'riflaridan biri hisoblanadi.



197- rasm.

Barcha issiqlik miqdorini ishga aylantira oladigan faraziy (xayoliy) mexanizm *ikkinchi tur abadiy dvigatel* deb ataladi. Bundan foydalanib, termodinamikaning ikkinchi qonunini yana shunday ta'riflash mumkin: *ikkinchi tur abadiy dvigatelni qurish mumkin emas*.



Takrorlash uchun savollar

1. Moddaning issiqlik sig'imi va solishtirma issiqlik sig'imi deb nimaga aytiladi? U qanday birliklarda o'lchanadi?
2. Issiqlikning balans tenglamasini yozing va tushuntiring. Uni energiyaning saqlanish qonuniga qanday munosabati bor?
3. C_p va C_v lar qanday fizik kattaliklar? Ular o'zaro qanday bog'langan?
4. Gaz universal doimiysi R ning fizik mohiyati nimadan iborat?
5. Qaytar jarayon deb qanday jarayonga aytiladi? Qaytmas jarayon deb-chi? Real jarayonlar qaytar jarayonmi yoki qaytmasmi?
6. Karno siklini tushuntiring. Uning foydali ish koeffitsienti nimaga teng?
7. Karno sikli bo'yicha ishlaydigan issiqlik mashinasining ishlash prinsipini tushuntiring.
8. Sovitkich mashinaning ishlash prinsipini tushuntiring. Sovitkich mashina bilan issiqlik mashinasi orasida qanday farq bor?
9. Issiqlik dvigatellari qanday asboblardir? Ularning qanday turlarini bilasiz?
10. Atrof-muhitni himoya qilish deganda Siz nimani tushunasiz?
11. Termodinamikaning ikkinchi qonunini ta'riflang.
12. Ikkinchi tur abadiy dvigateli qanday mexanizm?



Masala yechish namunalari

1- masala. Balandlikdan tushayotgan suvning temperaturasi 1,5 K ga ko'tarilishi uchun og'irlik kuchi bajargan ishning 60% i sarflangan bo'lsa, suv qanday balandlikdan tushgan?

Berilgan: $\Delta T = 1,5 \text{ K}$, $A_1 = A \cdot 60\% = 0,6A$; $c = 4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$,
 $g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Topish kerak: h —?

Yechilishi. Biror balandlikdan tushayotgan suvning isishida olgan issiqlik miqdori (55) tenglamaga asosan quyidagiga teng bo'ladi:

$$Q = mc \Delta T,$$

bunda c — suvning solishtirma issiqlik sig'imi, m — suvning massasi. Masalaning shartiga ko'ra og'irlik kuchi bajargan ish

$$A = Ph = mgh$$

ning 60% i m massali suvning isishi uchun sarflanadi, ya'ni mexanik energiya issiqlik energiyasiga aylanadi, shuning uchun energiyaning saqlanish va aylanish qonuniga binoan quyidagi tenglikni yozish mumkin:

$$cm \Delta T = 0,6 mgh,$$

bundan

$$h = \frac{c\Delta T}{0,6g}$$

ekani kelib chiqadi.

$$\text{Hisoblash: } h = \frac{4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 1,5 \text{ K}}{0,6 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 1069 \text{ m.}$$

2- masala. Massasi 0,2 kg, temperaturasi 291 K bo'lgan jezdandan yasalgan stakanga 0,5 l qaynoq suv solingan. Suv solingandan keyin sistemaning temperaturasi 365 K bo'lgan. Qanday temperaturali suv solingan?

Berilgan: $m_1 = 0,2 \text{ kg}$; $T_1 = 291 \text{ K}$; $T = 365 \text{ K}$; $V_2 = 0,5 \text{ l} = 0,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$; $c_1 = 386 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$; $c_2 = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$; $\rho_2 = 1 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Topish kerak: $T_2 = ?$

Yechilishi: Ma'lumki, jez stakanga qaynoq suv solinganda stakan isiydi, suv esa soviydi, ya'ni suv ma'lum issiqlik miqdorini stakanga berishi natijasida issiqlik muvozanati tiklanadi. Bu sistema uchun issiqlikning balans tenglamasi (56) ga asosan quyidagicha yoziladi:

$$|Q_1| = |Q_2| \text{ yoki } m_1 c_1 (T - T_1) = m_2 c_2 (T_2 - T),$$

bu yerda Q_1 — jez stakaning olgan issiqlik miqdori, Q_2 — suvning bergan issiqlik miqdori, T_2 — qaynoq suvning temperaturasi. Stakanga solingan suvning hajmi V_2 berilgan bo'lgani uchun suvning m_2 massasini zichlik formulasidan foydalanib topish mumkin:

$$m_2 = \rho_2 V_2.$$

Bu ifodani hisobga olganimizda yuqoridagi tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$m_1 c_1 (T - T_1) = c_2 \rho_2 V_2 (T_2 - T).$$

Bu tenglikdan suvning dastlabki temperaturasi T_2 ni quyidagicha topamiz:

yoki

$$c_1 m_1 (T - T_1) = c_2 \rho_2 V_2 T_2 - c_2 \rho_2 V_2 T$$

bundan

$$c_2 \rho_2 V_2 T_2 = c_1 m_1 (T - T_1) + c_2 \rho_2 V_2 T,$$

$$T_2 = \frac{c_1 m_1 (T - T_1) + c_2 \rho_2 V_2 T}{c_2 \rho_2 V_2}.$$

Hisoblash:

$$T_2 = \frac{386 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0,2 \text{kg} (365 - 291) \text{K} + 4190 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \text{m}^3 \cdot 365 \text{K}}{4190 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \text{m}^3} = 367,7 \text{K}.$$

3- masala. a) Quvvati 44,16 kW ga teng bo'lgan motorning 1 soatda bajargan ishi qancha issiqlikka ekvivalent bo'ladi?

b) Quvvati 1 kW bo'lgan dvigatelning 1 soatda bajargan ishi-chi?

Berilgan: a) $N = 44,16 \text{ kW} = 44,16 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{s}}; \tau = 3600 \text{ s};$

Topish kerak: $Q - ?$

b) $N = 1 \text{ kW} = 1 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{s}}, \tau = 3600 \text{ s}.$

Topish kerak: $Q - ?$

Yechilishi. Quvvati N ga teng bo'lgan motorning τ vaqtda bajargan ishi $A = N\tau$ ga teng bo'ladi, demak, issiqlik miqdori ham

$$Q = N\tau.$$

Hisoblash:

a) $Q = 44,16 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 3600 \text{ s} \approx 16 \cdot 10^7 \text{ J} = 160 \text{ MJ},$

b) $Q = 10^3 \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 3600 \text{ s} \approx 36 \cdot 10^5 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}.$

4- masala. Gazni o'zgarmas bosimda 25° ga isitish uchun 500 J issiqlik sarflanib, shu gazni o'zgarmas hajmda 75° ga sovitilganda 1,07 kJ issiqlik ajralgan bo'lsa, gazning molyar issiqlik sig'implari nisbatini aniqlang.

Berilgan: $p = \text{const}$ da $\Delta T_1 = 25^\circ$, $\Delta Q_1 = 500 \text{ J}$, $V = \text{const}$ da $\Delta T_2 = 75^\circ$, $\Delta Q_2 = 1,07 \text{ kJ} = 1,07 \cdot 10^3 \text{ J}.$

Topish kerak: $C_p / C_v - ?$

Yechilishi. Oʻzgarmas bosimda gazga berilgan issiqlik miqdori

$$\Delta Q_1 = c_p m \Delta T_1 = \frac{m}{\mu} C_p \Delta T_1, \quad (a)$$

bu yerda c_p — gazning oʻzgarmas bosimdagi solishtirma issiqlik sigʻimi, $C_p = \mu c_p$ — oʻzgarmas bosimdagi molyar issiqlik sigʻimi. Xuddi shuningdek, gaz oʻzgarmas hajmda sovitilganda ajralib chiqqan issiqlik miqdori:

$$\Delta Q_2 = c_v \cdot m \cdot \Delta T_2 = \frac{m}{\mu} C_v \cdot \Delta T_2, \quad (b)$$

bu yerda c_v va C_v lar mos ravishda gazning oʻzgarmas hajmdagi solishtirma va molyar issiqlik sigʻimlari. $\frac{C_p}{C_v}$ nisbatni topish uchun (a) ning (b) ga nisbatini olamiz:

$$\frac{\Delta Q_1}{\Delta Q_2} = \frac{\frac{m}{\mu} \cdot C_p \cdot \Delta T_1}{\frac{m}{\mu} \cdot C_v \cdot \Delta T_2} = \frac{C_p \Delta T_1}{C_v \Delta T_2}, \quad \text{bundan} \quad \frac{C_p}{C_v} = \frac{\Delta Q_1 \cdot \Delta T_2}{\Delta Q_2 \cdot \Delta T_1}.$$

Hisoblash:

$$\frac{C_p}{C_v} = \frac{500 \text{ J} \cdot 75 \text{ K}}{1,07 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot 25 \text{ K}} \approx 1,4.$$

5- masala. Karno sikli boʻyicha ishlaydigan ideal issiqlik mashinasining foydali ish koeffitsienti 20 %, isitkichning temperaturasi 373 K, sovitkichga berilgan issiqlik miqdori 200 kJ ga teng. Mashinaning aylanma jarayon davomida bajargan ishi, isitgichdan olgan issiqlik miqdori, sovitgichning temperaturasini toping.

Berilgan: $\eta = 20\% = 0,2$, $T_1 = 373 \text{ K}$, $Q_2 = 200 \text{ kJ} = 2 \cdot 10^5 \text{ J}$.

Topish kerak: $A = ?$ $T_2 = ?$ $Q_1 = ?$

Yechilishi: Maʼlumki, hatto ideal issiqlik mashinasi ham isitkichdan olgan issiqlik miqdorining hammasining hisobiga ish bajarmaydi, maʼlum qismini sovitgichga beradi. FIK formulasi

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{A}{Q_1}$$

dan isitgichdan olingan issiqlik miqdori Q_1 quyidagiga teng:

$$\eta Q_1 = Q_1 - Q_2,$$

bundan

$$Q_1 = \frac{Q_2}{1 - \eta}.$$

Bajarilgan ish esa

$$A = \eta Q_1$$

boʻladi.

Sovitgichning temperaturasi T_2 ni quyidagi formuladan topamiz:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \text{ bundan } T_2 = T_1 (1 - \eta) \text{ bo'ladi.}$$

Hisoblash:

$$Q_1 = \frac{2 \cdot 10^5 \text{ J}}{1 - 0,2} = \frac{2 \cdot 10^5}{0,8} \text{ J} \approx 2,5 \cdot 10^5 \text{ J},$$

$$A = 2,5 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot 0,2 \approx 5 \cdot 10^4 \text{ J},$$

$$T_2 = 373 \text{ K} (1 - 0,2) = 373 \cdot 0,8 \text{ K} \approx 298,4 \text{ K}.$$



Mustaqil yechish uchun masalalar

134. O'zgarmas bosimda 3 kg kislorodning temperaturasini 15 K ga oshirish uchun unga qancha issiqlik miqdori berilgan?

135. 0,8 kg massali havoni 400 K ga izobarik qizdirishda havoning kengayishi uchun $0,9 \cdot 10^5 \text{ J}$ ga teng ish bajarilgan. Bunda gazni qizdirishga sarflangan issiqlik miqdori va ichki energiyasining o'zgarishi aniqlansin.

136. Temperaturasi 288 K bo'lgan 20 l suvni 350 K temperaturali 42 l suv bilan aralashtirilgan. Agar aralashtirish vaqtidagi issiqlik isrofi 400 J ni tashkil etsa, aralashmaning natijaviy temperaturasi topilsin.

137. Massasi 100 g bo'lgan jezdan yasalgan kalorimetrga temperaturasi 290 K bo'lgan 300 g suv solingan. Suvga 373 K gacha qizdirilgan, massasi 200 g bo'lgan aluminiy bo'lagi tushirilgan. Sistemaning natijaviy temperaturasi aniqlansin.

138. Yuqoriga vertikal otilgan qo'rg'oshin o'q yerga qaytib tushib urilish vaqtida temperaturasi 45 K ga ortgan. Agar yerga urilish vaqtidagi energiyasining 60% i o'qning isishiga sarflangan bo'lsa, u qanday balandlikka ko'tarilgan?

139. 7 °C temperaturada 1 atm bosim ostida bo'lgan bir atomli gaz 40 ° ga izobarik isitilganda 8 dm³ hajmini egallagan. Gazga berilgan issiqlik miqdorini aniqlang.

140. Kalorimetrga temperaturasi 22 °C bo'lgan 900 g suv quyilgan. Shu suvga 100 °C gacha isitilgan 400 g temir qi pig'i solinganda suvning temperaturasi 26 °C bo'lgan. Temir qi pig'ining solishtirma issiqlik sig'imini toping.

141. Massasi 4,5 kg bo'lgan temir qozonga 2 kg suv quyilgan. Shu qozonda suvni 25 °C dan 100 °C gacha isitish uchun qancha issiqlik kerak?

142. Vagonchani 490 N kuch bilan 400 m yo'lda sudragan otning bajargan ishi qancha issiqlikka ekvivalent?

143. Isitgichdan olingan har bir kJ issiqlik hisobiga ideal dvigatel 340 J ish bajaradi. Sovitgichning temperaturasi 323 K bo'lsa, dvigatelning FIK va isitkich temperaturasi topilsin.

144. Silindrga 293 K temperatura va $5 \cdot 10^5$ Pa bosim ostida 2 kg geliy gazi qamalgan. Gaz kengayishida temperaturasi 393 K isigan bo'lsa, bajarilgan ish aniqlansin.

145. Karno sikli bo'yicha ishlaydigan ideal issiqlik mashinasining isitgichdan olgan issiqlik miqdori $3 \cdot 10^5$ J ga teng. Isitgichning temperaturasi 373 K, sovitgichning temperaturasi esa 273 K. Mashinaning bir siklda bajargan ishi va sovitkichga bergan issiqlik miqdori aniqlansin.

VIII bob. MODDA AGREGAT HOLATINING O'ZGARISHI

Modda tuzilishining molekulyar-kinetik nazariyasi faqat moddalarning gaz, suyuq va qattiq holatlarda bo'la olishini tushuntiribgina qolmasdan, balki ularning bir agregat holatdan boshqa agregat holatga o'tishini ham izohlab beradi. Quyida biz moddalarning bir holatdan boshqa holatga o'tishi bilan bog'liq bo'lgan hodisalarni ko'rib chiqamiz.

122- §. Moddaning suyuq holati

Moddalar uch agregat (gaz, suyuq, qattiq) holatda bo'lib, ularning fizik xususiyatlari holat parametrlari o'zgarishi bilan bir-biriga o'xshash bo'lishi ham yoki tubdan farq qilishi ham mumkin.

Suyuqliklarning boshqa agregat holatlardan farq qiluvchi eng muhim xususiyatlari quyidagilardir:

1. Normal sharoitda gaz molekulari orasidagi masofa ularning o'lchamlariga nisbatan juda katta bo'lib, zichligi kichik va siqiluvchan bo'ladi, ya'ni gaz molekulari orasidagi o'zaro tortishish kuchi juda kichik bo'lganligidan u o'zi solingan idish hajmini to'la egallaydi va idish shaklini oladi.

Suyuqlik molekulari esa bir-biriga juda yaqin joylashgan bo'lib, ular orasidagi o'zaro ta'sir kuchi gaz molekulari orasidagi o'zaro ta'sir kuchidan bir necha yuz marta katta bo'ladi. Suyuqliklarning zichligi gazlar zichligidan ancha katta, binobarin, ular juda kam siqiluvchandir. Shuning uchun suyuqlik gaz kabi o'zi quyilgan idish shaklini olsa-da, lekin qattiq jism kabi o'z hajmiga ega bo'ladi.

Gazlarda molekular betartib harakatda bo'ladi, ular tartibsiz joylashgan. Qattiq jismda molekular o'z muvozanat holati atrofida faqat tebranma harakat qiladi, qattiq jism molekularining joylashishida aniq tartib mavjuddir.

Suyuqlik molekullari qattiq jism molekullari kabi zich joylashgan bo'lsa-da, ularning ixtiyoriy idish shaklini egallashi, ya'ni oquvchanligi suyuqlik molekullarining (gaz molekullaridek bo'lsa-da) ozmi-ko'pmi bir-biriga nisbatan erkin harakat qilishini ko'rsatadi. Shunday qilib, gaz holat (molekullari tartibsiz harakatda bo'ladi) bilan qattiq holat (molekullar muvozanat holati atrofida tebranadi) oralig'idagi modda holati suyuq holatdir.

2. Tajribalar ko'rsatadiki, suyuqliklarning hajmiy kengayish koeffitsienti gazlarnikiga nisbatan juda kichik bo'lib, xarakterli tomoni shundaki, bosim ortishi bilan hamma suyuqliklar uchun bu koeffitsient deyarli bir xil bo'ladi.

3. Suyuqliklarning yopishqoqligi gazlarnikiga nisbatan juda katta bo'lib, temperatura ortishi bilan kamayadi. Har xil suyuqliklar uchun yopishqoqlik koeffitsienti bir-biridan katta farq qiladi. Masalan, uy temperaturasida suvning yopishqoqligi glitserinning yopishqoqligidan 250 marta kamdir.

4. Suyuqliklarning o'zi solingan idish devori bilan chegaralanmagan erkin sirtga ega bo'lishi muhim xususiyatlardan biridir.

123- §. Bug'lanish va kondensatsiya

Modda molekullari xaotik harakatda bo'lganligi tufayli yuqori bo'lmagan temperaturalarda ham tezligi, binobarin, kinetik energiyasi katta bo'lgan molekullarni uchratish mumkin. Bunday molekullar, masalan, suyuqliklarda boshqa molekullarning tortishish kuchlarini yengishi va suyuqlikning sirtqi pardasini „yorib o'tishi“ va tashqariga uchib chiqishi, ya'ni gaz holatiga o'tishi mumkin.

Moddaning gaz holatiga o'tish hodisasi *bug' hosil bo'lishi* deyiladi. Bu jarayon suyuqlikning *bug'lanishi* yoki *qaynashi* yo'li bilan bo'ladi. *Suyuqlikning erkin* (idish devoriga tegib turmaydigan) *sirtidan har qanday temperaturada bug' hosil bo'lishi bug'lanish deyiladi*. Suyuqlikning ichida va sirtida bir vaqtda bug' hosil bo'lishi *qaynash* deb ataladi. Faqat suyuqliklargina emas, balki qattiq jismlar ham bug'lanadi. Qattiq jismlarning bug'lanishi *haydash* yoki *sublimatsiya* deyiladi.

Bug'lanishda nisbatan katta kinetik energiyali molekullarning suyuqlikni tark etishi suyuqlik ichki energiyasining kamayishiga

olib keladi. Shuning uchun suyuqlik bug‘langanda hamma vaqt soviydi. Bug‘lanishda temperatura o‘zgarmasligi uchun suyuqlikka tashqaridan issiqlik berish kerak. *Muayyan temperaturada suyuqlikning birlik massasini bug‘ga aylantirish uchun zarur bo‘lgan issiqlik miqdori shu temperaturadagi solishtirma bug‘lanish issiqligi deyiladi. Ta’rifga asosan,*

$$r = \frac{Q}{m} \quad (73)$$

bo‘ladi, bu yerda r — solishtirma bug‘lanish issiqligi bo‘lib, suyuqlikning tabiatiga va temperaturaga bog‘liq. (73) ifodadan ko‘rinadiki, solishtirma bug‘lanish issiqligi SI da $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$ hisobida o‘lchanadi.

Suyuqlik har qanday temperaturada ham bug‘lanadi. Biroq temperatura ortishi bilan bug‘lanish intensivligi ortishi ravshan, chunki bunda molekulalarning kinetik energiyasi ortadi va ularning suyuqlik sirti pardasini „yorib o‘tishi“ yengillashadi. Shu sababli temperatura ortishi bilan solishtirma bug‘lanish issiqligi kamayadi. Masalan, suv uchun solishtirma bug‘lanish issiqligi 273 K da $24,9 \cdot 10^6$ J/kg bo‘lsa, 373 K da $2,26 \cdot 10^6$ J/kg ga teng. Bug‘lanish bilan bir qatorda unga teskari jarayon ham yuz beradi: bug‘ning xaotik harakatlanayotgan molekulalari suyuqlik sirtiga yaqin uchib kelayotib, suyuqlik molekulalarining tortishish kuchlari ta’siri sferasiga tushib qolishi va suyuqlikka aylanishi mumkin. Bu *kondensatsiya* deyiladi. Bug‘lanish va kondensatsiya bir vaqtda boradi. Agar molekulalarning suyuqlikdan uchib chiqish jarayoni ustunroq bo‘lsa, suyuqlik bug‘lanyapti deyiladi, agar molekulalarning suyuqlikka qaytish jarayoni ustunroq bo‘lsa, bug‘ kondensatsiyalanyapti deyiladi.

Suyuqlikning erkin sirti qanchalik katta bo‘lsa va suyuqlik ustida hosil bo‘lgan bug‘lar qanchalik tez uzoqlashsa, bug‘lanish shunchalik intensiv bo‘ladi. Bug‘ kondensatsiyalanganda suyuqlik molekulalari xaotik harakatining o‘rtacha tezligi ortadi va suyuqlik isiydi. Suyuqlikning bug‘lanishi uchun sarflangan issiqlik miqdori bug‘ning uning kondensatsiyalanishida bergan issiqlik miqdoriga teng bo‘ladi.

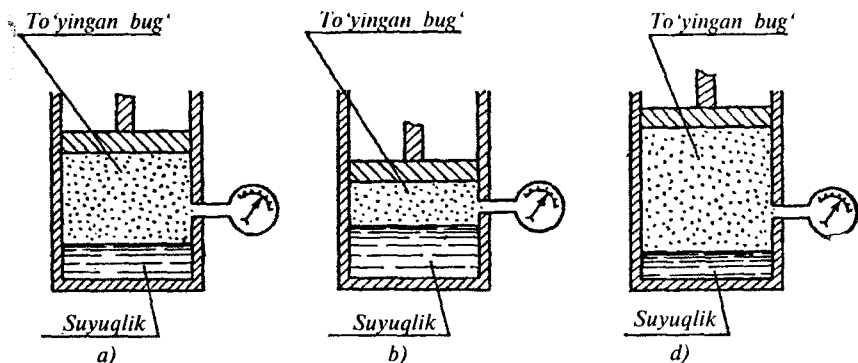
124- §. To'yingan va to'yinmagan bug', ularning xossalari

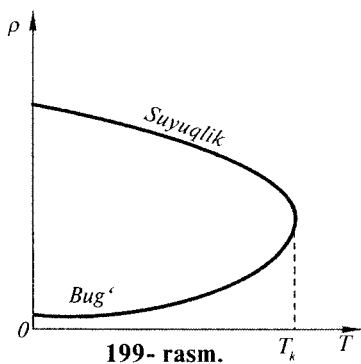
Ochiq idishda turgan suyuqlik miqdori vaqt o'tishi bilan tobora kamayib boradi. Bunda suyuqlikdan uchib chiqayotgan molekullar soni unga qaytayotgan molekullar sonidan ko'p bo'ladi. Agar suyuqlik berk idishda bo'lsa va dastlab uning ustida bug' bo'lmagan bo'lsa, u holda bug'lanayotgan molekullarning soni kondensatsiyalanayotgan molekullarning sonidan ko'p bo'ladi, ya'ni bug' miqdori ko'payib boradi. Bu holda suyuqlik ustidagi bug'ni *to'yinmagan bug'* deyiladi. Biror vaqt o'tgandan so'ng suyuqlik ustidagi fazoda molekullar soni shunchalik ko'p bo'ladiki, suyuqlikning sirtidan vaqt birligi ichida uchib chiqayotgan molekullar soni shu vaqt ichida unga qaytib tushayotgan molekullar soniga teng bo'lib qoladi. Bunday sharoitda suyuqlik bilan bug' *dinamik muvozanatda* bo'ladi; suyuqlik va bug' miqdori o'zgarmaydi.

O'zining suyuqligi bilan dinamik muvozanatda bo'lgan bug' *to'yingan bug'* deyiladi. Shunday yo'l bilan qaror topgan bug'ning zichligi aniq bir bosimga mos keladi. Bu bosimni *to'yingan bug'ning bosimi* yoki *elastikligi* deyiladi va bosim birliklarida o'lchanadi.

Bug' qozonlaridagi suv bug'lari to'yingan bug'dir; yomg'irli va tumanli havoda atmosferadagi suv bug'lari ham to'yingan bug'ga misol bo'la oladi.

Agar o'zgarmas temperaturada to'yingan bug' egallab turgan hajm kamaytirilsa, masalan, silindrda porshen ostida suyuqligi bilan





muvozanatda turgan (198- *a* rasm) bugʻni siqsak, muvozanat buziladi, bugʻ molekularining bir qismi suyuqlikka oʻtadi, suvning miqdori ortadi (198- *b* rasm). Aksincha, toʻyingan bugʻning hajmi kengaytirilsa, u holda suyuqlikning bir qismi bugʻlanadi, suvning miqdori kamayadi (198- *d* rasm). Har ikkala holda ham M manometrning koʻrsatishi birday ekani kuzatiladi. Bino-

barin, *toʻyingan bugʻning elastikligi oʻzgarmas temperaturada bugʻ egallab turgan hajmga bogʻliq emas*, degan xulosa kelib chiqadi. Bu hol toʻyingan bugʻning Boyl—Mariott qonuniga boʻysunmasligini bildiradi.

Toʻyingan bugʻning elastikligi temperaturaga bogʻliq; *temperatura qancha yuqori boʻlsa, bugʻning elastikligi shuncha katta boʻladi*.

Toʻyingan bugʻning elastikligi temperatura ortishi bilan ortib borishini koʻrish qiyin emas. Haqiqatan ham, berk idishdagi ustida toʻyingan bugʻi boʻlgan suyuqlikning temperaturasi koʻtarilganda suyuqlikdan uchib chiqish uchun yetarli energiyaga ega boʻlgan molekular soni ham ortadi. Bunda bugʻ bilan suyuqlik orasidagi muvozanat buziladi, suyuqlikning bugʻlanishi tezlashadi va suyuqlik ustidagi bugʻning miqdori ortadi. Bu esa toʻyingan bugʻ zichligining, binobarin, bosimining (elastikligining) ortishiga sabab boʻladi; oʻzining bugʻi bilan muvozanatda boʻlgan suyuqlikning zichligi esa kamayadi, chunki isitilganda suyuqlik kengayadi. Agar suyuqlikning va uning toʻyingan bugʻi zichligining temperaturaga bogʻlanish egri chiziqlarini ayni bir grafikda tasvirlasak (199- rasm), suyuqlikka tegishli chiziq pastga, bugʻga tegishli chiziq yuqoriga qarab ketadi va egri chiziq biror tayinli T_k temperaturada tutashadi, yaʼni suyuqlikning zichligi bugʻning zichligiga teng boʻlib qoladi.

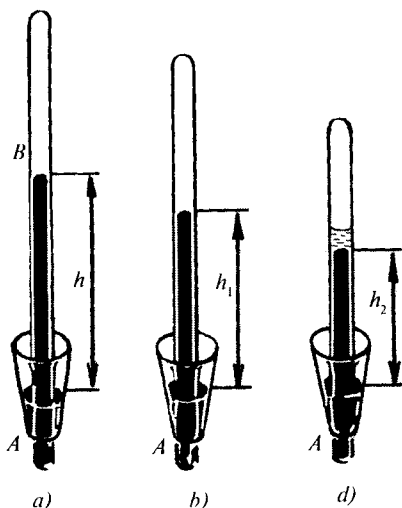
Suyuqlikning zichligi bilan uning toʻyingan bugʻining zichligi tenglashadigan temperatura kritik temperatura deyiladi. *Kritik temperaturada suyuqlik bilan uning toʻyingan bugʻining fizik xossalari farqi yoʻqoladi*.

Har bir moddaning o'zining kritik temperaturasi bo'ladi. Masalan, suv uchun $T_k=647$ K, suyuq karbonat angidrid uchun $T_k=304$ K, suyuq vodorod uchun $T_k=33$ K va hokazo.

Temperatura ortishi bilan to'yingan bug' elastikligining ortib borishi shuni ko'rsatadiki, to'yingan bug' Gey-Lyussak qonuniga bo'ysunar ekan. Bir xil temperaturada turli suyuqlikning to'yingan bug'larining elastikligi turlicha bo'ladi.

To'yinmagan bug'ning hajmini kamaytirib, bosimini orttirish bilan to'yingan bug'ga aylantirish mumkin.

Misol uchun quyidagi tajribani qilib ko'raylik. Chuqur A idishga simob quyib (200- a rasm), unga simob to'ldirilgan uzun B nayni to'ntarib tushiraylik (Torrichelli tajribasini eslang). Naydagi simob ustunining yuqori qismida hosil bo'lgan fazoga shuncha miqdorda efir kiritaylikki, u bug'lanib, efirning to'yinmagan bug'ini hosil qilsin. Bu bug'ning bosimi $H-h$ bo'ladi, bu yerda H — atmosfera bosimi. Agar nayni pastga tushira boshlasak, undagi simob ham pastga tushadi, $h_1 < h$ bo'lib qoladi (200- b rasm), bu esa bug' bosimining ortganini ko'rsatadi, ya'ni $(H-h_1) > (H-h)$ bo'ladi. Bug' to'yintiradigan bo'lguncha bosimi ortib boraveradi. Bug' to'yintiradigan bo'lib qolgan paytdan boshlab uning bosimi o'zgarmaydi va $H-h_2$ ga teng bo'ladi. Bu bosim berilgan temperaturada bug'ning eng katta bosimi bo'ladi. Nayni yana tushira boshlasak, bunda simob ustida suyuqlik paydo bo'ladi (200- d rasm).

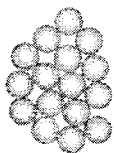


200- rasm.

125- §. Real gazlar. Van-der-Vaals tenglamasi.

Real gaz izotermasi. Kritik holat

Bizga tanish bo'lgan Mendeleyev—Klapeyron tenglamasi molekulari bir-biri bilan ta'sirlashmaydigan moddiy nuqtalar deb qaraladigan ideal gazning tabiatini ifodalaydi. Tabiatda mavjud



201- rasm.

gazlarning barchasi real gazlar hisoblanadi. Real gaz molekullari juda kichik bo'lsa ham biror o'lchamga ega (91- § ga q.) va o'zaro tutinish kuchlari bilan bog'langan. Past temperaturalar va yuqori bosimlarda gaz molekullari zichroq bo'ladi, ular bir-biriga yaqin turadi. Bunday sharoitda molekullarning o'lchamlari va o'zaro tutinish kuchlarini nazarga olmaslik mumkin emas. Bu hollarda ideal gaz holat tenglamasini qo'llab bo'lmaydi.

1873- yilda golland fizigi Van-der-Vaals Mendeleyev—Klapeyron tenglamasiga molekullarning o'lchamini va ular orasidagi tutinish kuchlarini hisobga oluvchi tegishli tuzatmalar kiritish yo'li bilan real gazning holat tenglamasini hosil qildi. Bu tenglama 1 mo'l gaz uchun

$$\left(p + \frac{a}{V_{\mu}^2}\right)(V_{\mu} - b) = RT \quad (74)$$

va ixtiyoriy m massali gaz uchun

$$\left(p + \frac{m^2 a}{\mu^2 V^2}\right)\left(V - \frac{m}{\mu} b\right) = \frac{m}{\mu} RT \quad (75)$$

ko'rinishga ega, bu yerda μ — gazning molyar massasi, V_{μ} — gazning molyar hajmi, V — gazning m massasining hajmi, a va b lar *Van-der-Vaals doimiylari* bo'lib, har xil gazlar uchun har xil qiymatga ega va bu qiymatlar tajriba yo'li bilan topiladi. (74) va (75) formulalar *Van-der-Vaals tenglamasi* deb ataladi.

b doimiy molekullar o'lchami chekli bo'lgani tufayli gaz hajmining molekullar harakat qila olmaydigan qismini aniqlaydi. Shu sababli real gaz molekullari harakatlanishi uchun amaldagi erkin (bo'sh) hajm gazning V_{μ} hajmidan kichik va $(V_{\mu} - b)$ ga teng bo'ladi. Hisoblashlar molekullar egallagan b hajm molekullarning xususiy hajmidan to'rt marta katta ekanligini ko'rsatadi. Bunga asosiy sabab, molekullar har qancha zich taxlanganda ham ular orasida „foydasiz“ bo'shliqlar qolishi mumkinki, bu bo'shliqlarda molekullar harakatlana olmaydi (201- rasm).

(74) formula p bosim gazga idish devorlari tomonidan berilayotgan tashqi bosimni ifodalaydi. Real gaz molekullari orasidagi tortishish kuchlari ta'siri gazni qo'shimcha siqadi va bu bilan suyuqlikning ichki bosimiga o'xshash qo'shimcha ichki bosim

hosil qiladi. Shuning uchun real gazning amaldagi bosimi p tashqi bosimdan shu qo‘shimcha bosim kattaligicha ko‘p bo‘ladi va gaz

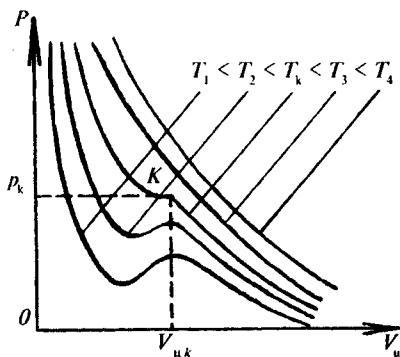
bosimi $p + \frac{a}{V_{\mu}^2}$ ga teng bo‘ladi.

Kichik bosim va yuqori temperaturalarda V_{μ} hajm katta bo‘lib ketadi. Bunday sharoitda

$b \ll V_{\mu}$ va $\frac{a}{V_{\mu}^2} \ll p$ deb olish

mumkin bo‘ladi, ya’ni Van-der-Vaals tenglamasiga kiritilgan tuzatmalar hisobga olmasa ham bo‘ladigan darajada kichik bo‘ladi va Van-der-Vaals tenglamasi Mendeleyev—Klapeyron tenglamasiga aylanadi.

Endi temperaturaning bir qator o‘zgarish qiymatlari uchun Van-der-Vaals tenglamasi asosida yasalgan bosimning gaz hajmiga bog‘lanish grafigini ko‘raylik (202- rasm). Grafikda tasvirlangan egri chiziqlar *Van-der-Vaals izotermalari* yoki *real gaz izotermalari* deb ataladi. Izotermalar o‘ziga xos xarakterga ega bo‘lib, unda T_k temperaturadan past temperatura (masalan, T_1 va T_2) larda to‘lqinsimon sohalar mavjud, T_k dan yuqori temperatura (masalan, T_3 va T_4) larda esa Van-der-Vaals izotermalari ideal gaz izotermalariga o‘xshaydi. (171- rasimga q.) T_k temperaturada izoterma K bukilish nuqtasiga ega bo‘ladi. Bu nuqtani *kritik nuqta*, izotermanni *kritik izoterma*, T_k temperaturani *kritik temperatura*, K nuqtaga mos kelgan p_k bosimni *kritik bosim* va, nihoyat, $V_{\mu k}$ hajmni *kritik hajm* deb ataladi. p_k , $V_{\mu k}$ va T_k lar real gazning *kritik parametrlari*, shu parametrlar bilan aniqlanadigan holatni *kritik holat* deyiladi.

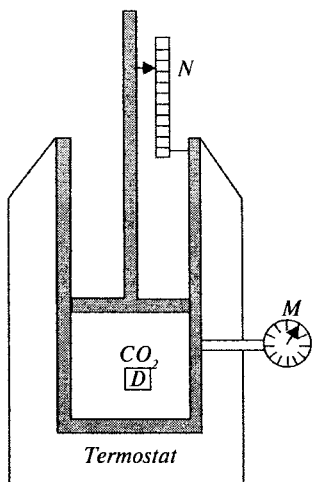


202- rasm.

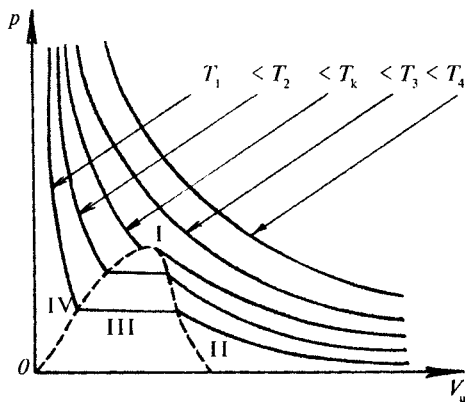
126- §. Real gazlarning eksperimental izotermalari

Endryus tajribasi. Gazlarni suyultirish

1869- yili ingliz kimyogari Endryus karbonat angidrid (CO_2) gazi bilan tajribalar o‘tkazib, real gazning izotermasini oldi. Tajriba sxemasi 203- rasmda tasvirlangan. Silindr porsheni ostida 1 mo‘l CO_2 gazi qamalgan bo‘lib, uning hajmini va bosimini porshenning



203- rasm.



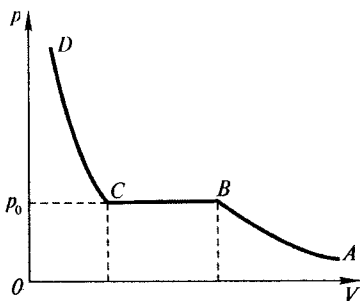
204- rasm.

har qanday holatida ham N hajmlar shkalasi va M manometr vositalarida o'lchash mumkin. Oyna bilan germetik bekitilgan D darcha orqali gaz egallagan fazoni kuzatish mumkin. Butun silindr gazning tayinli temperaturasini belgilab va tutib turishga imkon beruvchi termostatga joylashtirilgan. Shunday qurilma yordamida Endryus CO_2 gazi bilan turli temperaturalarda tajribalar o'tkazdi va 204- rasmda tasvirlangan izotermalarni oldi. Bu izotermalarni *real gaz eksperimental izotermalari* deb ataladi. Endryus tajribasida D darcha orqali qarab quyidagilar kuzatildi. Gaz T_k dan yuqori temperaturalarda har qancha siqilganda ham u gaz holatida qolgan, gaz hajmida hech qanday o'zgarish ro'y bermagan. T_k dan past temperaturalarda siqilganda gaz hajmida suyuqlik tomchilari paydo bo'la boshlagan va nihoyat, siqishni davom ettirilganda karbonat anhidrid gazi to'la suyuq holatga o'tgan.

Eksperimental va nazariy (Van-der-Vaals) izotermalarni solishtirsak (202- va 204- rasmlarga q.), ularning bir xil ko'rinishda ekanligini, biroq Van-der-Vaals izotermasining to'liqinsimon sohasiga real gaz izotermasining gorizontaal sohasi mos kelishi bilan farqlanishini ko'ramiz.

Eksperimental izotermalarning gorizontaal sohaslarining chekka nuqtalarini o'zaro tutashtirilsa, qo'ng'iroqsimon egri chiziq hosil bo'ladi. (204- rasmda q.) Endryus tajribasidan va boshqa real gazlar

bilan o'tkazilgan shunga o'xshash tajribalardan shu narsa aniqlandiki, qo'ng'iroqsimon egri chiziq bilan kritik izoterma p, V diagrammani to'rt sohaga ajratar ekan: I—gazsimon holatga tegishli soha bo'lib, bu sohada temperatura va hajmning shu sohaga tegishli barcha qiymatlarida modda faqat gaz holatda bo'ladi; II—bug'simon holatga tegishli soha bo'lib, bu sohada gaz bug', aniqrog'i to'yinmagan bug' deb ataladi; III—suyuq va gazsimon holatga tegishli soha bo'lib, bu sohada suyuqlik va uning to'yingan bug'i birgalikda mavjud bo'ladi; IV—suyuq holatga tegishli soha bo'lib, modda bu sohada faqat suyuqlik ko'rinishida bo'ladi. Va yana shu narsa aniqlandiki, gazni ayni shu gaz uchun berilgan T_k temperaturadan past temperaturalardagina suyuqlikka aylantirish mumkin.



205- rasm.

To'yinmagan bug'ni o'zgarmas temperaturada hajmini kamaytirish yo'li bilan suyuqlikka aylantirish grafik usulda $ABCD$ egri chiziq shaklida ifodalanadi (205- rasm). Bu egri chiziqning AB qismi to'yinmagan bug'ning hajmi kamayishi bilan bosimi ortib borishini ifodalaydi. Bosim to'yingan bug' bosimi (p_0)ga yetganda hajmni yana kamaytirilsa, to'yingan bug' kondensatsiyalana boshlaydi. Butun bug' suyuqlikka aylanib ketguncha bosim o'zgarmaydi (BC qism). Bundan keyin hajmning ozgina kamayishi bilan bosim keskin ortib ketadi (CD qism), chunki suyuqliklar kam siqiladi.

Demak, *kritik temperatura deb shunday temperaturaga atiladiki, bundan yuqori temperaturalarda gazni hech qanday bosim bilan ham suyuqlikka aylantirib bo'lmaydi, bundan past temperaturalarda esa gazni temperatura qancha past bo'lsa, o'shancha past bosimda suyuqlikka aylantirish mumkin.*

Kritik temperatura tushunchasi past temperaturalar fizikasi va gazlarni suyultirish texnikasida katta rol o'ynaydi. Kritik temperatura mavjudligi tufayli har qanday gaz (havo, azot, kislorod va h.k.) ni dastlab kritik temperaturadan past temperaturagacha sovitib, siqish yo'li bilan suyuqlikka aylantirish mumkin. Shu usuldan foydalanib, texnikada gazlarni maxsus mashinalar (masalan, Linde mashinasi) yordamida suyultiriladi.

Suyultirilgan gazlar, jumladan, suyuq havo, suyuq azot, suyuq kislorod kabilar turli maqsadlarda ishlatiladi. Suyuq havo amalda keng ishlatiladi. Texnikada undan sof kislorod olinadi (sof kislorod tibbiyotda keng qoʻllaniladi). Suyuq havo nisbatan kichik hajmga ega boʻlgani uchun baland va kosmik uchishlarda foydalaniladigan nafas olish apparaturalari suyuq havo bilan toʻldiriladi. Ilmiy-tadqiqot ishlarida past temperaturalar manbai sifatida, vakuum apparatlari ishlab chiqarishda, reaktiv dvigatellarda yonilgʻi aralashmasi sifatida suyuq havo ishlatiladi.

127- §. Qaynash

Agar toʻyingan bugʻning elastikligi tashqi (atmosfera) bosimga teng boʻlsa, bugʻlanish xarakteri oʻzgaradi: bunda suyuqlikning faqat sirtidagina emas, balki butun hajmida bugʻlanish boʻladi. Suyuqlik ichida uning sirtiga qalqib chiqadigan va yoriladigan bugʻ pufakchalari hosil boʻla boshlaydi. Bunday *intensiv bugʻlanish jarayoni qaynash deyiladi*. Suyuqlikning pufakchalar hosil qilib qaynashini quyidagicha tushuntirish mumkin.

Aniqlanishicha, gazlar suyuqlikda eriydi. Jumladan, suvning ichida hamma vaqt havo boʻladi. Suyuqlikning temperaturasi ortganda gazning eruvchanligi kamayadi.

Shuningdek, qattiq jism sirt qatlamidagi molekularlar atrofidagi gaz (havo) molekularini oʻziga tortadi (tutinish kuchlari tufayli) va ularni qattiq jism sirtida mustahkam ushlab turadi. Qattiq jism sirt qatlamidagi molekularlarga gaz molekularining tortilib ushlanib turishi *adsorbsiya* deyiladi, qattiq jism sirti bilan bogʻliq boʻlgan gaz esa *adsorbsiyalangan gaz* deyiladi. Demak, suyuqlik solingan idish devorlarida har doim adsorbsiyalangan havo bor, deyish tabiiydir.

Ana shunday idishga suv solib isitaylik, bunda suvdagi erigan havo adsorbsiyalangan havoga qoʻshilib, idishning yon devorlarida, tubida mayda pufakchalar hosil qila boshlaydi. Bu pufakchalar suv bilan oʻralganligi tufayli, ular ichida havodan tashqari suv bugʻlari ham boʻladi. Suvning temperaturasi ortgan sari mayda pufakchalarning oʻzaro qoʻshilishi hamda pufakchada bugʻlanadigan suv molekularining soni ortib borishi sababli ularning hajmi kattalashib boradi. Pufakchalarning hajmi shu darajagacha kattalashadiki, bunda suv tomonidan ularga koʻrsatiladigan

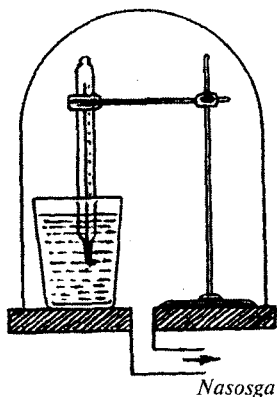
Arximed kuchi devor bilan pufakchalar orasidagi tutinish kuchidan katta bo'lib qoladi, natijada pufakchalar devordan uzilib, asta-sekin shig'illab („kuy“ chiqarib), yuqoriga, suv sirtiga chiqa boshlaydi, suyuqlik qaynay boshlaydi.

Suyuqlik to'yingan bug'ining elastikligi suyuqlik sirtiga bo'layotgan tashqi bosimga teng bo'lgandagi temperatura *qaynash temperaturasi* deyiladi, chunki shu temperaturada suyuqlik qaynaydi. Suyuqlikning qaynash temperaturasi tashqi bosimga bog'liq bo'ladi. Normal bosimda suyuqlikning qaynash temperaturasi *qaynash nuqtasi* deyiladi. Turli suyuqliklarning qaynash nuqtasi turli qiymatga ega bo'ladi. Masalan, suvning qaynash nuqtasi 373 K ga, skipidarniki 430 K ga, simobniki 630,5 K ga teng va hokazo. Bundan tashqari, qaynash temperaturasi suyuqlikning tarkibidagi aralashmalarga ham bog'liq. Odatda, aralashmalar konsentratsiyasi ortganda qaynash temperaturasi ko'tariladi.

Suyuqlikdagi pufakchalar bug' hosil bo'lish markazlari rolini o'ynaydi, bu markazlar bo'lmasa, qaynash jarayoni boshlanmaydi. Shuning uchun bunday markazlar bo'lmaganda suyuqlikning qaynay boshlaydigan temperaturasi qaynash temperaturasidan baland bo'ladi. Bunday suyuqlik *o'ta qizigan suyuqlik* deb ataladi.

128- §. Qaynash temperaturasining bosimga bog'liqligi

Avvalgi paragrafda ko'rib o'tganimizdek, suyuqliklarning qaynashi shu suyuqlik to'yingan bug'ining bosimi tashqi bosimga teng bo'lganda sodir bo'ladi. Demak, bundan suyuqlik qaynash temperaturasining suyuqlik sirtiga bo'lgan tashqi bosimga bog'liqligi kelib chiqadi: *tashqi bosim qancha kichik bo'lsa, suyuqlik shuncha past temperaturada qaynay boshlashi kerak*. Buni quyidagi tajriba asosida kuzatish mumkin. Stakanda suv olib, unga termometr tushiraylik. So'ngra stakanni siyraklashtiruvchi nasosga ulangan taglikka qo'yib, ustiga shisha qalpoqcha to'nkaraylik (206- rasm). Nasos orqali qalpoq ostidagi havoni so'rish boshlanganda, stakandagi suv sirtidagi bosim kamayib, suv uy temperaturasida ham qaynashini kuzatamiz. Shu sharoitda suvni uzoq vaqt qaynatganimizda stakandagi suv asta-sekin sovib muzlashi ham mumkin, chunki suvning ichki energiyasi bug'lanish issiqligiga sarflanib, temperaturasi pasayadi.



206- rasm.

Dengiz sathidan ko‘tarila borgan sari atmosfera bosimi kamayib borishini bilamiz. Shuning uchun suv tog‘lik joylarda $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan past temperaturada qaynaydi. Dengiz sathidan 5 km balandlikda suv $82\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperaturada qaynaydi.

Suyuqlik sirtiga bo‘layotgan bosimni orttrish orqali suyuqlikni qaynash temperaturasini oshirish mumkin. Masalan, $10 \cdot 10^5\text{ Pa}$ bosimda suvning qaynash temperaturasi 453 K , $33 \cdot 10^5\text{ Pa}$ bosimda esa 513 K ga teng. Shu xossa tufayli yuqori bosimli qudratli bug‘ dvigatellaridan foydalanish imkoniyati tug‘ildi. 200000 kW quvvatli bug‘ turbinalari $190 \cdot 10^5\text{ Pa}$

bosim va 873 K temperaturada ishlaydi, bu yonilg‘ini ancha tejash va qurilmaning FIK ini oshirishga imkon beradi.

129- §. Havoning namligi

Havoda mavjud bo‘lgan suv bug‘larining miqdori namlikni hosil qiladi. Namlik bir qancha kattaliklar bilan xarakterlanadi.

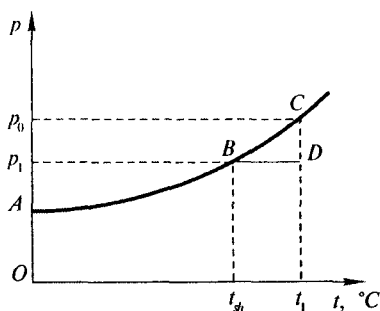
Atmosfera havosi turli xil gazlar bilan suv bug‘ining aralashmasidir. Boshqa gazlarning hammasi bo‘lmagan holda suv bug‘i berish mumkin bo‘lgan bosim suv bug‘ining *parsial bosimi* deb ataladi. Suv bug‘ining parsial bosimi havo namligining xarakteristikalaridan biridir.

Havoda bo‘lgan suv bug‘ining zichligi bilan o‘lchanadigan kattalik havoning absolyut namligi deyiladi va zichlik birligida o‘lchanadi. Ko‘rinib turibdiki, havoning absolyut namligi haqida havodagi suv bug‘ining parsial bosimi kattaligiga qarab xulosa chiqarish mumkin. Demak, suv bug‘ining parsial bosimi havoning absolyut namligini xarakterlaydigan kattalikdir.

Muayyan bir temperaturada havodagi suv bug‘i parsial bosimining shu temperaturadagi to‘yingan bug‘ning elastikligiga nisbatining protsentlarda ifodalangan qiymati havoning nisbiy namligi deyiladi, ya‘ni:

$$\tau = \frac{p}{p_0} 100\%, \quad (76)$$

bu yerda p — to‘yingan bug‘ning, p_0 —to‘yingan bug‘ning bosimi, τ — nisbiy namlik. Demak, nisbiy namlik havoning suv bug‘iga qanchalik to‘yinganligini bildiradi. To‘yingan suv bug‘ining p_0 elastikligining qiymatlari jadvallardan olingani uchun nisbiy namlikni topish absolyut namlikni aniqlashdan iboratdir.



207- rasm.

Havoning absolyut namligini shudring nuqtasidan aniqlash mumkin. To‘yingan bug‘ elastikligining temperaturaga bog‘liqligi 207- rasmda tasvirlangan ABC egri chiziq orqali ifodalanadi. To‘yinmagan bug‘ o‘zgarmas bosim sharoitida sovitilsa, temperaturaning ma‘lum qiymatida u to‘yingan bug‘ga aylanadi. Faraz qilaylik, t_1 temperaturada suv bug‘ining parsial bosimi p_1 bo‘lsin. Bug‘ning bu holatiga diagrammada D nuqta mos keladi. Shu bug‘ p_1 o‘zgarmas bosimda t_1 dan t_{sh} gacha sovitilsa, u to‘yingan bug‘ga aylanadi.

Uning bu holatiga B nuqta mos keladi.

Suv bug‘i to‘yinadigan holdagi t_{sh} temperatura shudring nuqtasi deb ataladi. Soviyotgan jismlarda shudringning paydo bo‘lishi havoning suv bug‘lari bilan to‘yinganidan darak beradi.

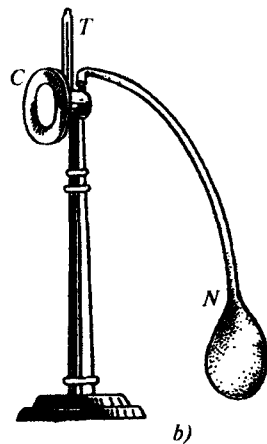
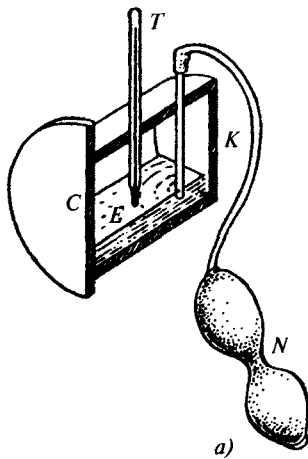
Havo shudring nuqtasigacha sovisa, bug‘ kondensatsiyalana boshlaydi: tuman hosil bo‘ladi, shudring tushadi.

130- §. Namlikni o‘lchash

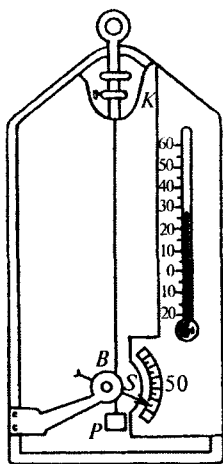
Havoning namligi shudring nuqtasini topish usuli bilan yoki psixrometrik usul bilan aniqlanadi. Havoning namligini topishning ikkala usulida ham jadval ma‘lumotlaridan foydalaniladi.

Havoning namligi *gigrometr* va *psixrometr* deb ataluvchi asboblardan yordamida o‘lchanadi. Quyida kondensatsion va soch gigrometrlari hamda Avgust psixrometrining tuzilishini va ulardan qanday foydalanish kerakligini ko‘rib chiqaylik.

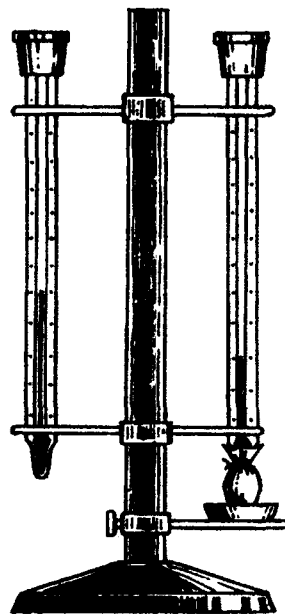
Kondensatsion gigrometr shudring nuqtasini bevosita aniqlashga imkon beradi. K quticha ichiga oson bug‘lanadigan suyuqlik, masalan, efir quyiladi va T termometr kiritiladi (208-



208- rasm.



209- rasm.



210- rasm.

a, b rasm). *N* rezina nok yordamida quticha orqali havo o'tkazib, efir tez bug'lantirilganda quticha tez soviydi. Bundan foydalanib, *C* devorning silliq yuzida shudring tomchilari paydo bo'la boshlagandagi temperaturasi aniqlanadi. Havoning temperaturasi va shudring nuqtasini bilgan holda to'yingan bug' elastikligining temperaturaga bog'lanish jadvali yordamida suv bug'ining absolyut va nisbiy namligi topiladi. 208- *b* rasmda Lambrext kondensatsion gigrometrining tashqi ko'rinishi tasvirlangan.

Soch gigrometrining ishlashi nisbiy namlik oshganda odam sochining yog'dan tozalangan tolasining uzayishi xossasiga asoslanadi. Soch gigrometri garchi aniqligi kam bo'lsa-da, tuzilishi jihatidan eng sodda gigrometrdir (209- rasm). Sochning bir uchi *K* ramkaga, ikkinchi uchi esa strelkali yengil *B* blokka o'raladi va kichkina *P* yukcha bilan tortib qo'yiladi. Soch uzayganda blokka o'rnatilgan *S* strelka bir tomonga, qisqarganda esa boshqa tomonga buriladi. Asbob oldindan darajalangan bo'ladi. Bunda to'la quruq havoga shkalaning protsentlarda ifodalangan „0“ nuqtasi, suv bug'lari bilan to'yingan havoga shkalaning „100“ nuqtasi mos keladi. Shuning uchun gigrometrning strelkasi bir yo'la protsentlarda ifodalangan nisbiy namlikni ko'rsatadi.

Psixrometrlarning bir necha turlari mavjud bo'lib, ulardan biri Avgust psixrometridir. Avgust psixrometri biri quruq, ikkinchisi ho'l termometrdan iborat (210- rasm) bo'lib, quruq termometr havo temperaturasini o'lchaydi. Ikkinchi termometrning uchiga bir tomoni suvga botirib qo'yilgan batis o'ralgan. Suv bug'lanishi natijasida termometr soviydi. Nisbiy namlik qancha kam bo'lsa, bug'lanish shuncha tezroq bo'ladi va ho'l termometrning temperaturasi shuncha past bo'ladi. Ikkala termometr temperaturalarining ayirmasi (psixrometrik ayirma)ga qarab maxsus (psixrometrik) jadval yordamida havoning namligini aniqlash mumkin. Avgust psixrometri yordamida havoning namligi juda aniq o'lchanadi.

Havoning namligi 40—50% bo'lganda havo quruq, 80—90% bo'lganda nam hisoblanadi. Havoning namligi katta bo'lganda yog'och buyumlar shishib shakli o'zgaradi, metall buyumlar zanglaydi, bu esa ularning tezda yemirilishiga sabab bo'ladi. Shuningdek, namlikning ortishi inson salomatligiga ham salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Havoning namligi kam bo'lganda yog'och buyumlar o'z namligini yo'qotib, qiyshayib, yorilib ketadi. O'simliklar tanasidagi suvini tezda bug'latib, so'lib qoladi. Inson va hayvonlar ham kuchli terlab tanalaridan suv bug'lanadi, natijada kuchli chanqoqlik seziladi. Shuning uchun havoning namligini bilish zarurdir. Shuningdek, meteorologiyada atmosferada bo'layotgan hodisalarni o'rganish va ob-havoni oldindan aytish uchun havoning namligini bilish muhim ahamiyatga ega.



Takrorlash uchun savollar

1. Bug'lanish va kondensatsiya nima?
2. Suyuqlikning bug'lanishini molekulyar-kinetik nazariya asosida qanday tushuntirish mumkin?
3. Solishtirma bug'lanish issiqligi nima va u qanday birliklarda o'lchanadi?
4. To'yingan va to'yinmagan bug'lar orasidagi farqni tushuntiring.
5. Real gazlar uchun Ban-der-Vaals tenglamasini yozing. a va b tuzatmalarning ma'nosini tushuntiring.
6. Real gaz izotermasini chizing. U ideal gaz izotermasidan qanday farq qiladi?
7. Endryus tajribasini tushuntiring.
8. Real gazning eksperimental izotermalari qanday ko'rinishga ega?
9. Kritik holat, kritik izoterma, kritik temperatura tushunchalari nimani anglatadi?
10. Gazlarni qanday sharoitda suyultirish mumkin? Grafik asosda tushuntiring.
11. Qaynash nima, qaynash nuqtasi va uning tashqi bosimga bog'liq bo'lishini qanday tushuntirasiz?
12. Namlik va uni xarakterlovchi parametrlar haqida tushuncha bering.
13. Namlikni qanday asbob bilan o'lchash mumkin?



Masala yechish namunalari

1- masala. Biror ochiq idishga solingan suv sathidan vaqt birligi ichida $3 \cdot 10^{19}$ dona molekula uchib chiqayotgan bo'lsa, 5 sutkada qancha miqdor suv bug'lanadi?

Berilgan:

$$n=3 \cdot 10^{19} \frac{\text{dona}}{\text{s}}, \quad \tau=5\text{sutka}=432000\text{s}, \quad \mu=18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo'l}}.$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$$

Topish kerak: M —?

Yechilishi. Bir dona suv molekulasining massasi (5a) tenglamaga asosan quyidagicha ifodalanadi:

$$m_0 = \frac{\mu}{N_A},$$

bunda μ — 1 kmo'l suvning massasi, N_A — Avogadro soni. Vaqt birligida bug'lanayotgan suv massasi $m = m_0 n$ ga teng bo'ladi. Shunga ko'ra τ vaqt ichida uchib chiqqan molekularning massasi, ya'ni bug'langan suv massasi:

$$M = m \tau$$

ga teng bo'ladi. Bu tenglikka m va m_0 larning yuqoridagi ifodalarini qo'yib, quyidagi natijaga ega bo'lamiz:

$$M = \frac{\mu}{N_A} \cdot n \tau.$$

Hisoblash: $M = \frac{18 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}} \cdot 3 \cdot 10^{19} \frac{1}{\text{s}} \cdot 432000 \text{ s} \approx 0,4 \text{ kg}.$

2- masala. Temperaturasi 283 K bo'lgan 0,1 kg suvni qaynashgacha yetkazish va uning 0,01 kg ini bug'ga aylantirish uchun qancha issiqlik miqdori kerak?

Berilgan: $T_1 = 283 \text{ K}$, $m_1 = 0,1 \text{ kg}$, $T_2 = 373 \text{ K}$, $m_2 = 0,01 \text{ kg}$,
 $c = 4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$, $r = 22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$.

Topish kerak: $Q = ?$

Yechilishi. m_1 massali suvni T_1 temperaturadan T_2 qaynash temperaturasigacha isitish uchun sarflangan issiqlik miqdori, (55) tenglamaga asosan, quyidagicha ifodalanadi (normal atmosfera bosimida $T_2 = 373 \text{ K}$ ga teng):

$$Q_1 = m_1 c (T_2 - T_1).$$

Qaynash temperaturasida m_2 massali suvni bug'ga aylantirish uchun sarflangan issiqlik miqdori, (73) tenglamaga asosan, quyidagiga teng:

$$Q_2 = m_2 r.$$

Umumiy sarflangan issiqlik miqdori

$$Q = Q_1 + Q_2$$

ga teng bo'ladi. Issiqlik miqdorlarining yuqoridagi ifodalarini oxirgi formulaga keltirib qo'yib, quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$Q = m_1 c (T_2 - T_1) + r m_2.$$

Hisoblash:

$$Q = 4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,1 \text{ kg} \cdot 90 \text{ K} + 22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 0,01 \text{ kg} = 60,3 \cdot 10^3 \text{ J} = 60,3 \text{ kJ}.$$

3- masala. Temperaturasini 288 K bo'lgan 3 kg suv 0,5 kg massali aluminiy choynakka quyilgan. Choynak quvvati 3,5 kW, FIK 42% bo'lgan gaz gorelkasiga qo'yilgan, 15 minutdan keyin suv qaynab, qanchasi bug'lanib ketadi?

Berilgan: $T_1 = 288 \text{ K}$, $m_1 = 3 \text{ kg}$, $m_2 = 0,5 \text{ kg}$, $T_2 = 373 \text{ K}$,
 $N = 3,5 \text{ kW} = 3,5 \cdot 10^3 \text{ W}$, $\eta = 42\% = 0,42$, $\tau = 15 \text{ min} = 900 \text{ s}$,
 $r = 22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$, $c_1 = 4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$, $c_2 = 896 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.

Topish kerak: Δm —?

Yechilishi. m_1 massali suvni qaynatish, m_2 massali choynakni isitish va Δm massali suvni bug'ga aylantirish uchun sarflangan issiqlik miqdorlarining yig'indisi

$$Q_r = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

foydali issiqlik miqdori hisoblanadi, bu yerda Q_1 — suvning olgan issiqlik miqdori, Q_2 — choynakning olgan issiqlik miqdori, Q_3 — Δm massali suvni bug'ga aylantirishdagi sarflangan issiqlik miqdori. Bu issiqlik miqdori gaz gorelkasining bergan Q umumiy issiqlik miqdori bilan $Q_r = \eta Q$ munosabat orqali bog'langan. Q kattalik jihatidan gorelkaning τ vaqt ichida bergan umumiy issiqlik miqdoriga teng, ya'ni $Q = N\tau$ bo'lgani uchun $Q_r = \eta N\tau$ deb yoza olamiz, bu yerda N — gaz gorelkasining quvvati, τ — suvning qaynashi va bug'lanishi uchun sarflangan vaqt.

Choynakdagi suv hamda choynakning olgan issiqlik miqdorlari quyidagicha ifodalanadi:

$$Q_1 = m_1 c_1 (T_2 - T_1), \quad Q_2 = m_2 c_2 (T_2 - T_1).$$

Δm massali suvni bug'latish uchun sarflangan issiqlik miqdori

$$Q_3 = r \cdot \Delta m$$

bo'ladi. Q , Q_1 , Q_2 va Q_3 lar uchun hosil qilingan ifodalarni issiqlik balansi tenglamasiga qo'yib, quyidagi natijaga ega bo'lamiz:

$$\eta \cdot N\tau = (c_1 m_1 + c_2 m_2) (T_2 - T_1) + r \Delta m,$$

bu munosabatdan Δm ni topsak, u holda

$$\Delta m = \frac{\eta N\tau - (c_1 m_1 + c_2 m_2) (T_2 - T_1)}{r}$$

hosil bo'ladi.

Hisoblash:

$$\Delta m = \frac{0,42 \cdot 3,5 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 900 \text{ s} - (4190 \cdot 3 + 896 \cdot 0,5) \frac{\text{J} \cdot \text{kg}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 85 \text{ K}}{22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} \approx 0,094 \text{ kg}.$$

5- masala. 1 m³ yopiq hajmdagi havoning 20 °C temperaturada nisbiy namligi 60%. Bu hajmdagi bug'ning to'yinishi uchun yana qancha suv bug'lanishi kerak? 20 °C da to'yingan bug'ning elastikligi 17,5 mm sim. ust. ga teng.

Berilgan: $V = 1 \text{ m}^3, t = 20^\circ \text{C}, T = 293 \text{ K}, \tau = 60\% = 0,6, \mu = 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo'l}},$

$p_1 = 17,5 \text{ mm Hg} = 17,5 \cdot 133 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$

Topish kerak: Δm ?

Yechilishi. Agar V hajmdagi to'yingan bug'ning massasi m_T va to'yinmagan bug'ning massasi m bo'lsa, bu hajmdagi to'yinmagan bug'ni to'yintirish uchun $\Delta m = m_T - m$ massali suvni bug'lantirish lozim. Ma'lumki, to'yinmagan va to'yingan bug' ideal gaz qonunlariga bo'ysunadi. Shuning uchun, Mendeleyev—Klapeyron tenglamasidan foydalanib, m_T va m massalarni topamiz:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT, \text{ bundan } m = \frac{pV\mu}{RT}, \quad (\text{a})$$

bu yerda μ — suvning molyar massasi;

$$p_T V = \frac{m_T}{\mu} RT, \text{ bundan } m_T = \frac{p_T V \mu}{RT}, \quad (\text{b})$$

$$\text{Shuningdek, } \tau = p/p_T, \text{ bundan } p = p_T \tau. \quad (\text{d})$$

(a), (b) va (d) larni Δm ning ifodasiga keltirib qo'yamiz:

$$\Delta m = \frac{p_T V \mu}{RT} - \frac{p V \mu}{RT} = \frac{V \mu}{RT} (p_T - p_T \tau) = \frac{p_T V \mu}{RT} (1 - \tau).$$

Hisoblash: $\Delta m = \frac{17,5 \cdot 133 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 1 \text{ m}^3 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo'l}}}{8,31 \frac{\text{J}}{\text{mo'l} \cdot \text{K}} \cdot 293 \text{ K}} (1 - 0,6) = 6,9 \cdot 10^{-3} \text{ kg}.$



Mustaqil yechish uchun masalalar

146. Nima uchun hovuzdagi suv sirtidan muzlaydi?

147. Nima uchun ochiq havzalardagi suv temperaturasi yoz kunlari atrof temperaturasidan past bo'ladi?

148. Botqoqlik yerlarda kunning isib ketishi quruq yerlarga nisbatan kishi organizmiga yomon ta'sir ko'rsatadi. Sababini tushuntiring.

149. 10 kg suvni 373 K gacha isitish va bug'ga aylantirish uchun $26 \cdot 10^6$ J issiqlik miqdori sarflangan. Suvning boshlang'ich temperaturasi qancha bo'lgan?

150. Temperaturasi 100 °C bo'lgan 500 g suv bug'i suvga aylanib, shundan hosil bo'lgan suv 20 °C gacha soviganda qancha issiqlik chiqaradi?

151. 0 °C temperaturali 30 kg suv quyilgan idishga temperaturasi 100 °C bo'lgan 1,84 kg suv bug'i yuborildi, natijada suvning temperaturasi 37 °C ga chiqdi. Suvning solishtirma bug'lanish issiqligini toping.

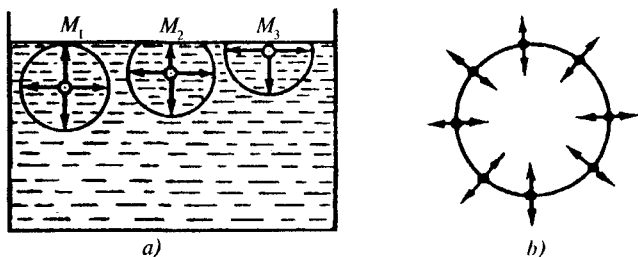
152. 50 °C temperaturada to'yingan suv bug'ining zichligini toping. Shu temperaturada to'yingan bug'ning elastikligi 92,5 mm sim. ust. ga teng deb oling.

153. Yoz kunida nisbiy namligi 75 % va temperaturasi 30 °C bo'lgan 1 m³ havodagi suv bug'ining og'irligi qancha? 30 °C temperaturada to'yingan bug'ning elastikligi 31,8 mm sim. ust. ga teng deb oling.

131- §. Suyuqlikning sirt tarangligi. Sirt qatlam energiyasi

Suyuqlik ichidagi har bir molekula o'zini o'rab olgan boshqa molekulalar bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi. Suyuqlik molekulalari bir-biriga shunchalik yaqin joylashganki, ular orasidagi masofa ortib borishi bilan ta'sir kuchlari kamayib boradi va ma'lum masofadan keyin nolga teng bo'lib qoladi. Suyuqlik ichida biror molekulani tanlab, uning atrofida markazi shu molekulada yotgan shunday R radiusli sfera o'tkazaylik. Biz tanlagan molekula shu sfera ichida yotgan hamma molekulalar bilan ta'sirlashadi. Agar molekulaning ana shu sferadan tashqarida yotgan molekulalar bilan ta'sirini hisobga olmasa ham bo'lsa, bu sferani *molekulyar ta'sir sferasi*, R ni esa *molekulyar ta'sir radiusi* deb ataladi. Molekulyar ta'sir radiusi taxminan 10^{-9} m ga yaqin bo'ladi.

Suyuqlikning ichki qismida turgan M_1 va M_2 , suyuqlik sirtida turgan M_3 molekulalar atrofida molekulyar ta'sir sferasini chizaylik



211- rasm.

(211- a rasm). Suyuqlik ichki qatlamida turgan M_1 molekulaga barcha qo'shni molekulalar tomonidan sfera radiusi bo'yicha yo'nalgan kuchlar ta'sir qilib, bu kuchlarning teng ta'sir etuvchisi nolga teng bo'ladi. Suyuqlik sirtqi qatlamida yoki unga yaqin qatlamda yotgan molekulaga ham ta'sir sferasi radiusi bo'yicha boshqa molekulalar ta'sir qiladi. Lekin bu kuchlarning teng ta'sir etuvchisi nolga teng bo'lmaydi. Chunki ta'sir sferasining suyuqlik sirtidan chiqib turgan qismi suyuqlik bug'ida bo'lib, bug'dagi molekulalar soni suyuqlikdagi molekulalar sonidan kam bo'ladi. Ravshanki, M_2 va M_3 molekulalarga ta'sir qilayotgan kuchlarning teng ta'sir etuvchisi suyuqlik ichiga tomon yo'nalgan bo'ladi. Shunday qilib, qalinligi R bo'lgan sirtga yaqin qatlamdagi har bir molekulaga suyuqlikning ichiga qarab yo'nalgan kuch ta'sir qiladi. Suyuqlikning sirtqi qatlami butun suyuqlikka bosim beradi. Bu bosim qatlamning yuz birligida yotgan barcha molekulalarga ta'sir qiluvchi kuchlarning yig'indisiga teng. Bu bosim *ichki* yoki *molekulyar bosim* deb ataladi. Molekula suyuqlikning ichkarisidan sirt qatlamiga o'tganida sirt qatlamida ta'sir qiladigan kuchlarga qarshi ish bajarishi kerak. Bu ishni molekula o'zining kinetik energiyasi hisobiga bajaradi va bu ish molekulaning potensial energiyasini oshirishga sarf bo'ladi. Molekula sirt qatlamidan suyuqlikning ishkarisiga o'tganda uning sirt qatlamida ega bo'lgan potensial energiyasi molekulaning kinetik energiyasiga aylanadi. Shunday qilib, suyuqlikning sirt qatlami qo'shimcha potensial energiyaga ega bo'ladi, deyish mumkin.

Har qanday moddani o'z holiga (erkin) qo'yib berilsa, u eng kichik potensial energiyaga mos keladigan vaziyatni egallaydi. Bu uning muvozanat vaziyati bo'ladi. Binobarin, o'z holiga qo'yib

berilgan suyuqlik muvozanat holatini egallash uchun sirt qatlamini qisqartirishga harakat qiladi. Shuning uchun suyuqlik sirtini qisqarishga intiluvchi tarang tortilgan elastik pardaga o'xshatish mumkin. Suyuqlik sirtini bunday tarang holatini *sirt tarangligi* deb ataladi. Suyuqlikning sirt qatlamida fikran l uzunlikdagi doiraviy konturni ajrataylik (211- *b* rasm). Kontur bilan chegaralangan suyuqlik sirtining qisqarishga intilishi shunga olib keladiki, shu konturni hosil qiluvchi suyuqlik molekularini kontur ichidagi molekular tortadi. (Nyutonning uchinchi qonuniga ko'ra konturning tashqarisida yotgan molekular ham konturni hosil qiluvchi molekularni kattaligi xuddi shunday, lekin qarama-qarshi yo'nalgan kuchlar bilan tortadi). Tortish kuchlari suyuqlik sirtiga urinma va konturga tik bo'ladi. Suyuqlik sirtini chegaralovchi konturga ta'sir qiluvchi tortishish kuchlarining yig'indisi *F sirt taranglik kuchi* deyiladi. Bu kuch kontur bo'ylab joylashgan molekularning soniga, molekular soni esa o'z navbatida konturning l uzunligiga proporsional bo'ladi:

$$F = \sigma l, \quad (77)$$

bu yerda σ — *suyuqlikning sirt taranglik koeffitsienti*.

Konturning uzunlik birligiga ta'sir etuvchi sirt taranglik kuchi sirt taranglik koeffitsienti deyiladi, ya'ni

$$\sigma = \frac{F}{l}. \quad (78)$$

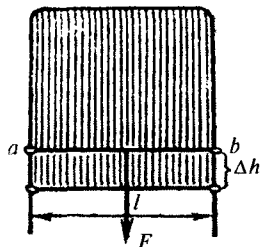
Sirt taranglik koeffitsienti suyuqlikning tabiatiga va temperaturaga bog'liq bo'ladi. Temperatura ortishi bilan suyuqlikning molekulari orasidagi o'rtacha masofa ortgani uchun sirt taranglik koeffitsienti kamayadi.

Sirt taranglik koeffitsientiga boshqacha ta'rif berish ham mumkin. Buning uchun quyidagi tajribani ko'z o'ngimizga keltiraylik (212-rasm). Π -simon bukilgan simga siljishi mumkin bo'lgan l uzunlikdagi *ab* simni kiydiraylik. Shu hosil bo'lgan ramkani sovunli suvga tushirsak, ramka bilan chegaralangan sirt sovunli suv pardasi bilan qoplanadi. Pardani kattalashtirish uchun *ab* simga sirt taranglik kuchiga qarshi F kuch bilan ta'sir qilish kerak. Ramkaning *ab* tomoni Δh masofaga siljigan bo'lsin. Pardani kattalashtirish uchun bajarilgan ish quyidagiga teng bo'ladi:

$\Delta A = F \cdot \Delta h = 2\sigma l \Delta h = \sigma \Delta S$, bunda $\Delta S = 2 l \cdot \Delta h$ — pardaning ikkala sirtining o'zgarishi. Bu tenglikdan:

$$\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S}. \quad (79)$$

Shunday qilib, *sirt taranglik koeffitsienti miqdor jihatidan suyuqlik sirtini bir birlikka o'zgartirish uchun zarur bo'lgan ishga teng ekan.*



212- rasm.

Parda sirtini kattalashtirishda ΔA bajarilgan ish hisobiga suyuqlik sirtining potensial energiyasi ortadi. Shuni qayd qilish kerakki, parda cho'zilganida sirtga chiqayotgan molekullarning potensial energiyasi ortadi, ularning issiqlik harakati kinetik energiyasi esa shunga mos ravishda kamayadi. Natijada parda cho'zilganda biroz soviydi. Parda qisqarganda esa aksincha isiydi. Suyuqlik sirtining qisqarishida sirt potensial energiyasining kamayishi hisobiga ish bajariladi. Shunday qilib, parda sirtining o'zgarishi parda temperaturasining o'zgarishiga olib keladi. Bu esa, o'z navbatida, sirt taranglik koeffitsientining o'zgarishiga sabab bo'ladi. σ ni o'zgarimas saqlash uchun parda sirtini izotermik cho'zish yoki qisqartirish kerak bo'ladi. Buning uchun pardani shunday sekinlik bilan cho'zish yoki qisqartirish kerakki, uning temperaturasining o'zgarishi atrof-muhit bilan bo'ladigan issiqlik almashinishi natijasida kompensatsiyalanadi.

Suyuqlik sirti potensial energiyasining suyuqlik sirti izotermik qisqarish ishiga aylana oladigan qismi suyuqlik sirtining ΔE erkin energiyasi deyiladi. U quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta E = \Delta A = \sigma \Delta S. \quad (80)$$

Shunday qilib, sirt taranglik koeffitsienti suyuqlik sirtini bir birlikka izotermik o'zgartirishga to'g'ri keladigan erkin energiyaga miqdor jihatdan teng ekan:

$$\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta S}. \quad (81)$$

(78) va (81) ifodalardan ko'rinadiki, SI da sirt taranglik koeffitsienti

$\frac{N}{m}$ va $\frac{J}{m^2}$ hisobida o'lchanadi.

Sirt taranglik faqat suyuqlik va bug‘ chegarasidagina mavjud bo‘lmay, ikkita aralashmaydigan suyuqlik yoki qattiq jism chegarasida ham hosil bo‘ladi.

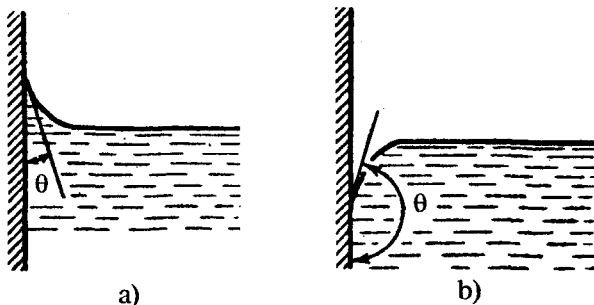
132- §. Ho‘lovchi va ho‘llamaydigan suyuqliklar. Kapillyarlik hodisasi

Ayrim suyuqliklar qattiq jismni ho‘llasa, boshqalari ho‘llamaydi. Buning sababini tushunish uchun 213- rasmga e‘tibor beraylik. Idishga quyilgan suyuqlik molekulalari o‘zaro ta’sirlashishdan tashqari, suyuqlik sirtidagi bug‘ molekulalari bilan hamda idish (qattiq jism) molekulalari bilan ta’sirlashadi.

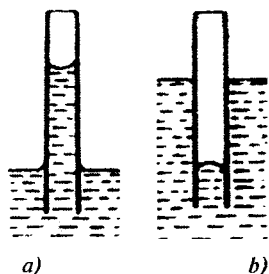
Suyuqlik bilan uning sirtidagi bug‘ molekulalarining o‘zaro ta’sirini e‘tiborga olmasak ham bo‘ladi. Biroq suyuqlik bilan u solingan qattiq jism molekulalari orasidagi tutinish kuchlari hisobga olinarli darajada katta bo‘ladi.

Agar qattiq jism molekulalari bilan suyuqlik molekulalarining tutinish kuchlari suyuqlik molekulalarining o‘zaro tutinish kuchlaridan katta bo‘lsa, suyuqlik qattiq jism bilan tegishish chegarasini orttirishga harakat qiladi. Bunday suyuqliklar qattiq jismni *ho‘lovchi suyuqliklar* deyiladi. Qattiq jism sirti bilan suyuqlik sirtiga o‘tkazilgan urinma orasidagi θ burchak *chegaraviy (chekka) burchak* deyiladi. Ho‘lovchi suyuqliklarda bu burchak $\frac{\pi}{2}$ dan kichik bo‘ladi (213- a rasm). Idish devorlari yaqinida suyuqlik sirti egrilanadi — botiq egri sirtidan iborat bo‘ladi.

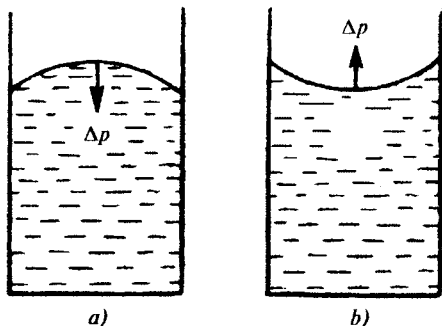
Agar suyuqlik molekulalarining o‘zaro tortishish kuchlari qattiq jism molekulalari bilan suyuqlik molekulalari orasidagi tortishish kuchlaridan katta bo‘lsa, u holda suyuqlik o‘zining qattiq



213- rasm.



214- rasm.



215- rasm.

jism bilan tegishish chegarasini kamaytirishga harakat qiladi va iloji boricha qattiq jismdan chetlashadi. Bunday suyuqliklar qattiq jismini *ho'llamovchi suyuqliklar* deyiladi. Ho'llamovchi suyuqliklarda

chegaraviy burchak $\theta > \frac{\pi}{2}$ bo'ladi (213- b rasm). Idish devorlari yaqinida suyuqlik sirti qavariq egri sirtidan iborat bo'ladi. Ho'llovchi va ho'llamovchi suyuqliklar tushunchalari nisbiydir. Masalan, simob ko'pchilik moddalar uchun ho'llamovchi, mis va platina uchun ho'llovchidir yoki suv parafinni ho'llamaydi, lekin toza shishani ho'llaydi. Agarda $\theta = 0$ bo'lsa, *mutlaq ho'llovchi suyuqlik*, $\theta = 180^\circ$ bo'lsa, *mutlaq ho'llamovchi suyuqlik* deyiladi. Ammo tabiatda bunday suyuqliklar deyarli yo'qdir.

Shunday qilib, suyuqlik ho'llovchimi yoki ho'llamovchimi, bundan qat'i nazar, suyuqlik sirti egri (qavariq yoki botiq) bo'lar ekan. Idish tor bo'lganda suyuqlik sirti chekkalarining egrilanishi suyuqlikning butun sirtini egallaydi va uni butunlay egrilangan holatga keltiradi. Radiusi juda kichik bo'lgan shisha nay — kapillyarni suyuqlik ichiga tushiraylik. Suyuqlik ho'llovchi bo'lsa, kapillyarda uning sirti ko'tariladi (214- a rasm) va aksincha, ho'llamovchi bo'lsa, kapillyarda suyuqlik sirti idishdagi suyuqlik sirtidan pastda bo'ladi (214- b rasm). Bunday egrilangan sirt *menisk* deyiladi. Kapillyarda suyuqlik sathi balandligining o'zgarishi *kapillyarlik* deb ataladi. Agar suyuqlik sirti yassi bo'lmasa, u qisqarib, yassi sirtga intiladi va, ravshanki, ichki bosimdan tashqari Δp qo'shimcha bosim hosil bo'ladi. Sirt qavariq bo'lganda qo'shimcha bosim Δp ichki bosim yo'nalishida (215- a rasm), sirt botiq bo'lganda — ichki bosimga qarama-qarshi yo'nalishda ta'sir etadi (215- b rasm).

Qo'shimcha bosimning kattaligi α sirt taranglik koeffitsientiga va sirtning R egrilik radiusiga bog'liq bo'ladi. Suyuqlikning sirti sferik bo'lgan holda qo'shimcha bosimning kattaligi quyidagiga tengligini ko'rsatish mumkin:

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R}. \quad (82)$$

Bu ifodani 1805- yilda fransuz fizigi va matematigi Laplas nazariy ravishda chiqargan va u *Laplas formulasi* deb ataladi. Demak, kapillyar radiusi qancha kichik bo'lsa, qo'shimcha bosim shuncha katta bo'ladi, binobarin, suyuqlik sathi idishdagi suyuqlik sathiga nisbatan shuncha yuqori ko'tariladi (ho'llovchi suyuqlik uchun) yoki shuncha past tushadi (ho'llamovchi suyuqlik uchun).

Kapillyardagi suyuqlik balandligini hisoblaylik. Agar kapillyarning radiusi sirt egriligi radiusiga teng bo'lsa, naydagi suyuqlikning sirt egriligi natijasida hosil bo'lgan bosim kuchi

$F = \Delta p S = \frac{2\sigma}{R} \pi R^2 = 2\sigma \pi R$ ta'sirida undagi suyuqlik sathi shunday h balandlikka ko'tariladiki, suyuqlikning bu ustunchasining og'irligi qo'shimcha bosim kuchi bilan tenglashadi:

$$2 \pi \sigma R = \pi R^2 h \rho g,$$

bu yerda ρ — suyuqlikning zichligi, R — suyuqlik sirtining egrilik radiusi. Bunday kapillyarda suyuqlik sathining balandligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g R}. \quad (83)$$

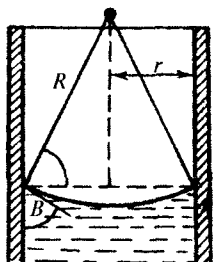
Shunday qilib, *kapillyarda suyuqlikning ko'tarilish (yoki pasayish) balandligi sirt taranglik koeffitsientiga to'g'ri, kapillyar radiusiga teskari proporsional bo'lar ekan.*

Ho'llovchi (yoki ho'llamovchi) suyuqliklarning kapillyardagi sirti R radiusli sferaning bir qismini tashkil qilsa, u holda r kapillyar radiusi bilan R sferik sirt radiusi orasida $r = R \cos \theta$ bog'lanish borligi 216- rasmdan ko'rinib turibdi. Buni e'tiborga olsak, (83) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \cos \theta, \quad (84)$$

(84) munosabatni *Jyuren formulasi* deyiladi.

Kapillyarlik hodisasi tabiatda keng tarqalgan bo'lib, ko'pgina jarayonlarda hal qiluvchi rol o'ynaydi. Masalan, kapillyarlik asosida yerdagi suyuqlik — ozuqa moddalar o'simlikning shox va barglariga ko'tariladi: daraxt ildizida kapillyar naychalar bo'lib, bular orqali suyuqlik ko'tariladi va o'simlik tanasi bo'yicha tarqaladi. Tuproq kapillyarlari bo'ylab suv tuproqning chuqur qatlamlaridan yuza qatlamlariga ko'tariladi, bug'lanish sodir bo'ladi. Tez bug'lanishning oldini olish uchun yer haydalib, boronalanadi, kapillyar naychalar buziladi, shu bilan tuproqda namni saqlab qolishga erishiladi.



216- rasm.

133- §. Qattiq jismlar. Kristall va amorf jismlar

Qattiq jismlar ma'lum shaklga va hajmga ega bo'lishlari bilan xarakterlanadi. Qattiq jismlar bir-biridan ichki tuzilishi jihatidan batamom farq qiluvchi *kristall* va *amorf* jismlar ko'rinishida uchraydi. Lekin hozirgi zamon fizikasida qattiq jism deganda kristall jismlar nazarda tutiladi, amorf jismlar o'ta qovushoq suyuqlik sifatida qaraladi.

Kristall jismlarda atom yoki molekulalar bir-biriga nisbatan ma'lum bir tartibli vaziyat egallab joylashadi. Buning oqibatida kristallning tashqi ko'rinishi ma'lum geometrik shaklga ega bo'ladi.

Agar kristall tarkib topgan zarralarni bir-biriga to'g'ri chiziq bilan tutashtirsak, *fazoviy* yoki *kristall panjara* deb ataladigan panjara hosil bo'ladi. Kristallning ayrim zarralari panjarani hosil qilgan chiziqlarning kesishgan nuqtalarida — *panjara tugunlarida* joylashgan bo'ladi. Bu zarralar musbat va manfiy ionlar, neytral atom va molekulalar bo'lishi mumkin. Masalan, osh tuzi kristall panjaralarining tugunlarida musbat natriy (Na) va manfiy xlor (Cl) ionlari, metall kristallar (Cu, Fe, Al va hokazo) ning panjara tugunlarida metall atomlarining musbat ionlari, olmos, germaniy, kremniy kabi kristallarning panjara tugunlarida neytral atomlar, muz, quruq muz (qattiq karbonat anhidrid), N_2 , O_2 kabi kristallarning panjara tugunlarida neytral molekulalar joylashgan bo'ladi.

Kristall panjaralarning shakllari turli-tuman bo'lishi mumkin, lekin ixtiyoriy bo'lmaydi. 1890- yilda rus olimi E. S. Fyodorov tabiatda faqat 230 xil kristall panjaralar bo'lishi mumkinligini

nazariy hisoblab chiqdi. Kristallar ustida olib borilgan ilmiy-tadqiqot ishlarining natijalari Fyodorov nazariy hisoblariga to'la mos keladi.

Kristallning eng asosiy xossalaridan biri shundan iboratki, uning fizik xossalari unda tanlab olingan yo'nalishga bog'liq, ya'ni kristallning xossalarini xarakterlovchi mexanik mustahkamlik, elektr o'tkazuvchanlik, nur sindirish ko'rsatkichlari kabi kattaliklar kristall ichida olingan turli yo'nalishlarda turlicha qiymatga ega bo'ladi.

Moddalarning fizik xossalarining (mexanik, optik, elektrik va h.k.) turli yo'nalishlarda turlicha bo'lishi *anizotropiya* deb ataladi. Anizotropiya panjara zarralarining turlicha yo'nalishlarda turlicha zichlikda joylashganligi bilan tushuntiriladi. Kristall jismlarning hammasi anizotrop jismlardir. Ular aniq erish temperaturasiga ega bo'ladi.

Juda mayda kristallardan tashkil topgan modda *polikristall* modda deyiladi. Bu jismlardagi kristallar ko'pchilik hollarda bir-biriga nisbatan tartibsiz joylashganligi uchun polikristall jismlar barcha yo'nalishlarda bir xil fizik xossaga ega bo'ladi, ya'ni ular *izotrop* modda hisoblanadi. Barcha zarralari bir umumiy fazoviy panjaraga joylashadigan jism *monokristall jismlar* deyiladi. Masalan, moddaning bitta kristalldan iborat bo'lagi monokristall bo'ladi. Monokristall anizotropdir. Ko'pchilik minerallar monokristall hisoblanadi. Metallar polikristall jismga misol bo'la oladi. Biroq erigan metallni sekin sovitish yo'li bilan metall monokristalini hosil qilish mumkin.

Amorf jismlar kristall strukturaga ega bo'lmaydi, ular o'zlarining ichki tuzilishlari bo'yicha suyuqlikka yaqin bo'lib, suyuqlikdan faqat molekulalar o'rtacha oraliq'ining kichikligi bilan va shu tufayli molekulalar tortishish kuchlarining katta bo'lishi bilan farq qiladi. Amorf jismlar ularning aniq erish temperaturasiga ega bo'lmasligi, isitilganda qovushoqlikning kamayishi natijasida suyuq holatga asta-sekin yumshash orqali o'tishi bilan ham kristall jismdan farq qiladi. Shularga asosan, amorf jismni *o'ta sovitilgan suyuqlik* deb hisoblash ham mumkin. Amorf jismlarga: shisha, beton, plastmassa, mum, smola, polimerlar va boshqalar kiradi.

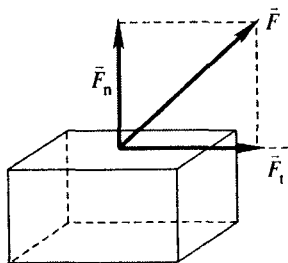
Amorf jismlar har doim izotrop xossaga ega bo'ladi: ularning fizik xossalari hamma yo'nalishlar bo'yicha bir xil bo'ladi. Past temperaturalarda amorf jismlarning xossalari qattiq jismlarnikiga o'xshab ketadi. Bu holda ular deyarli oqmaydi. Lekin temperatura ortgan sari amorf jismlar asta-sekin yumshab, ularning xossalari suyuqliklarning xossalariga yaqinlasha boradi.

134- §. Qattiq jismlarda deformatsiya. Deformatsiya turlari

Kuch ta'sirida jismlarning deformatsiyalanishi, elastik va plastik deformatsiyalar, elastik deformatsiyalar uchun Guk qonuni o'rinni ekanligi haqida 39- § da to'xtalib o'tgan edik. Endi qattiq jismning tuzilishi haqidagi tasavvurlarga asoslanib, bu hodisani biroz kengroq ko'rib chiqamiz.

Qattiq jismning tashqi kuch ta'siridagi deformatsiyasi ikki asosiy ko'rinishda bo'ladi: *siqilish* yoki *cho'zilish* deformatsiyasi va *siljish* deformatsiyasi. Bu ikki ko'rinishdagi deformatsiyani jism sirtiga ta'sir etuvchi kuchni uning tashkil etuvchilariga ajratib, ularning har birining ta'siri natijasi bilan quyidagicha tushuntirish mumkin.

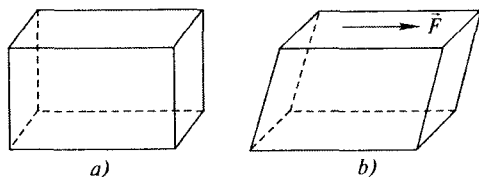
Faraz qilaylik, parallelepiped ko'rinishdagi jismning sirtiga shu sirt bilan biror burchak hosil qilib \vec{F} kuch ta'sir etayotgan bo'lsin (217- rasm). Bu kuchni ikkita tashkil etuvchilarga ajratamiz. Tashkil etuvchilardan biri \vec{F}_n jism sirtiga tik yo'nalgan bo'lib, jismni siqadi (yoki cho'zadi). Natijada siqilish (yoki cho'zilish) deformatsiyasi ro'y beradi; ikkinchi tashkil etuvchi \vec{F}_t esa jism sirtiga urinma (parallel) ravishda yo'nalgan bo'lib, jismning ustki qatlamini pastki qatlamiga nisbatan siljitishga intiladi — siljish deformatsiyasi yuzaga keladi. Cho'zilish deformatsiyasi jismning hajmini o'zgartiradi, lekin shakli o'zgarmaydi. Masalan, silindr shaklidagi sterjenni bir uchidan osib, ikkinchi uchidan \vec{F} kuch bilan tortsak, u holda cho'zilgan sterjenning shakli o'zgarmaydi, silindrsimon shakldaligicha qoladi (218- rasm).



217- rasm.



218- rasm.



219- rasm.

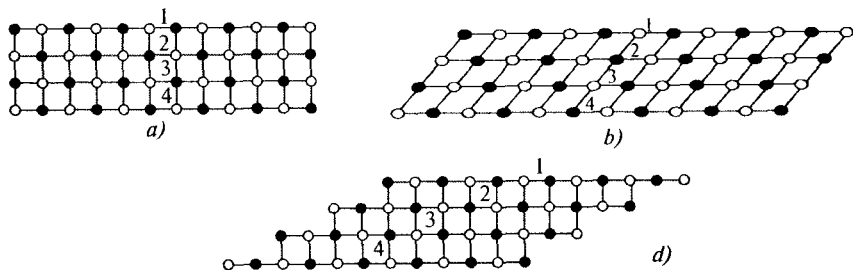
Siljish deformatsiyasida, aksincha, jismning shakli o'zgaradi, biroq hajmi o'zgarmaydi. To'g'ri burchakli parallelepi ped shaklidagi jismga (219- *a* rasm) uning sirtiga urinma ravishda kuch bilan ta'sir etsak, siljish deformatsiyasi yuzaga kelib, natijada jismning shakli qiyshiq burchakli parallelepi ped ko'rinishni oladi (219- *b* rasm).

Agar tashqi kuchning \vec{F}_t tangensial tashkil etuvchisi nolga teng bo'lsa, u holda *sof siqilish* (yoki *sof cho'zilish*) deformatsiyasi bo'ladi; agar tashqi kuchning F_n normal tashkil etuvchisi nolga teng bo'lsa, u holda *sof siljish* deformatsiyasi bo'ladi.

Siqilish va siljish deformatsiyalardan tashqari buralish va bukilish (yoki egilish) deformatsiyalari ham ko'p uchraydi. Biroq buralishni siljish deformatsiyasiga, bukilishni cho'zilish deformatsiyasiga keltirish mumkin ekan.

Qattiq jismlarning kristall tuzilishi nuqtayi nazaridan deformatsiya hodisasini quyidagicha tushuntirish mumkin.

Qattiq jismlar, masalan, kristallarda zarralar (atomlar, molekular yoki ionlar) o'zaro ta'sir tufayli bir-birini kristall panjara tugunlarida ushlab turadi. Zarralar orasidagi masofa shundayki, bunda ular orasidagi o'zaro tortishish kuchlari o'zaro itarishish kuchlari bilan muvozanatlashgan bo'ladi. 220- *a* rasmda qattiq jismning kesimi tasvirlangan. Nuqtalar bilan manfiy ionlar, doirachalar bilan musbat ionlar ifodalangan. Ionlar o'zaro muvozanatlashgan holatda joylashgan, zarralarni tutashtiruvchi chiziqlar ular orasidagi bog'lanishni ifodalaydi. 1, 2, 3 va 4 raqamlari bilan muvozanat holatda turgan zarralarni belgilab olamiz va ularni kuzatamiz. Jismga qo'yilgan kuch uning zarralarini o'z joylaridan siljitadi (220- *b* rasm). 1, 2, 3 va 4 zarralarning vaziyati o'zgaradi. Zarralararo o'zaro ta'sir kuchlari bunga qarshilik ko'rsatadi. Jismning ixtiyoriy ichki kesimida natijaviy kuchning qiymati noldan farqli bo'lib qoladi va bu kuch zarralarning siljishi yo'nalishiga teskari yo'nalgan bo'ladi. Agar zarralarning siljishi kichik bo'lsa,



220- rasm.

u holda har bir zarra deformatsiyadan avval qaysi qo'shni zarralar bilan ta'sirlashgan bo'lsa, deformatsiya vaqtida ham shu zarralar bilan o'zaro ta'sirlashadi (220- b rasimga q.). Shuning uchun tashqi ta'sir to'xtatilgandan so'ng zarralar dastlabki holatlariga qaytadi (deformatsiya to'la yo'qoladi). Agar siljish natijasida har bir zarrani o'rab olgan zarralar o'rniga qo'shni zarralar o'tsa (220- d rasm), u vaqtda tashqi ta'sir to'xtatilgandan so'ng zarralar dastlabki holatlariga qaytmaydilar (deformatsiya to'la yo'qolmaydi). Birinchi holda deformatsiya elastik deformatsiya ko'rinishida, ikkinchi holda esa plastik deformatsiya ko'rinishida bo'ladi.

Har bir qattiq jism uchun kuchlanishning elastiklik va mustahkamlik chegaralari mavjudligini biz bilamiz (40- § ga q.). Ba'zi moddalarda bu chegaralar bir-biriga juda yaqin bo'ladi. Bunday jismlarda plastik deformatsiyalar amalda bo'lmaydi, elastik deformatsiya bevosita yemirilish bilan tugaydi. Bunday jismlarni *mo'rt jismlar* deyiladi. Masalan, cho'yan, toblangan po'lat mo'rt jisimga kiradi. Elastiklik chegarasi bilan mustahkamlik chegarasi bir-biridan uzoq bo'lsa, katta plastik deformatsiya olish mumkin. Katta plastik deformatsiya bera oladigan qattiq jismlar *plastik jismlar* deyiladi. Masalan, qo'rg'oshin, rux simlar ancha katta plastik deformatsiyalana oladigan jismlarga kiradi.

Real qattiq jismlarda deformatsiya kattaligi bilan kuchlanish orasidagi munosabat materialning qanday ishlanganiga, shuningdek, kuchlarning ta'sir qilish muddatiga bog'liq bo'ladi. Bir jismning o'zi qisqa vaqtli kuchlar ta'sir qilganda mo'rt bo'lishi mumkin, kichik bo'lsa ham kuchlar uzoq vaqt davomida ta'sir qilsa, jism yetarlicha katta plastik deformatsiya hosil qilishi mumkin.

135- §. Amorf metallar va amorf yarimo‘tkazgichlar haqida tushuncha

Amorf moddani suyuqlik (eritma)ni sovitish yo‘li bilan olinadi. Agar eritma tez sovitilsa, suyuqlik kristallana boshlamasdan oq qotadi. Atomlar panjaraga tartib bilan joylashishga ulgura olmaydi va suyuqlikka xos bo‘lgan tartibsiz joylashishini saqlab qoladi. Biroq bu suyuq modda bo‘lmay, qattiq modda bo‘ladi. Uning yopishqoqligi suyuqliknikidan ancha katta va kristallning yopishqoqligiga yaqin bo‘ladi.

Amorf moddani hosil qilish uchun zarur bo‘lgan sovitish tezligi moddaning tabiatiga, asosan, uning yopishqoqligiga juda kuchli bog‘liq bo‘ladi: yopishqoq eritmalar ko‘pincha shisha ko‘rinishida qotadi. Masalan, eritmani havoda sovitib, odatdagi shishani hosil qilish mumkin. Sof metallarni amorf holatda hosil qilish amaliy jihatdan mumkin emas, lekin ba‘zi metall qotishmalarini amorf holda hosil qilish mumkin. Agar eritmaning temperaturasini juda tez pasaytirilsa (sovitish tezligi sekundiga million gradusdan ortiq bo‘lganda), metall shishalar *amorf metall qotishmalarini* hosil qilishi mumkin ekan.

Amorf metall qotishmalar yuqori magnit xossalari ega va deyarli magnit xossalarini yo‘qotishlariga ega emas. Shuning uchun ular transformatorlarning o‘zaklarini, ovoz va video yozuvlar uchun magnit kallaklari kabilarni tayyorlash uchun zarur material hisoblanadi.

Hozirgi vaqtda *amorf yarimo‘tkazgichlarni* olish va ishlatish texnologiyasi yaxshi yo‘lga qo‘yilgan.

Ma‘lumki, sof yarimo‘tkazgichlar kristall strukturaga ega. Lekin yarimo‘tkazgichni ma‘lum texnologik sharoitda nokristall jism (masalan, shisha, zanglamaydigan po‘lat) dan yasalgan taglik sirtida kerakli qalinlikda yupqa parda ko‘rinishida yotqizilsa, pardaning xossalari amorf jism xossalari kabi bo‘ladi: atomlarning tartibli joylashuvi bo‘lmaydi. Bunday pardalar fizik xossalari va arzonligi bilan ahamiyatga ega. Amorf yarimo‘tkazgich pardalar juda yuqori fotoo‘tkazuvchanlikka va yorug‘likni kuchli yutish qobiliyatiga ega.

Amorf yarimo‘tkazgich pardalarni olishda material sifatida tarkibiga turli elementlarning, jumladan, vodorod, fluor atomlari kiritilgan kremniydan foydalaniladi. Amorf yarimo‘tkazgich pardalarni *purkash* va *changlatish usullari* bilan olish mumkin.

Purkash usulida kremniy juda yuqori temperaturagacha qizdiriladi va bug'lantiriladi. Bug'lanuvchi sirt qarshisiga nokristall jismlardan yasalgan taglik o'rnatiladi. Taglik sirtiga bug' fazasidan atomlar kelib o'tiradi va yupqa amorf yarimo'tkazgich pardasi hosil bo'ladi.

Changlatish usulida biqsima razryad yoki ion nuridan foydalaniladi. Buning uchun razryad kamerasida taglik qarshisida olinadigan amorf parda materiali (kremniy)ning ma'lum miqdori joylashtiriladi va razryad boshlanadi. Razryad tarkibidagi ionlar kremniyni changlatadi va uchib chiqqan atomlar taglikning sirtiga o'tira boshlaydi. Ma'lum vaqtdan so'ng taglik sirtida yetarli qalinlikdagi amorf kremniy pardasi hosil bo'ladi.

Olingan parda strukturasisiz bo'lgani uchun ularni juda arzon usullar yordamida katta sirtlarda hosil qilish mumkin. Buning ustiga xomashyo sifatida kremniyning monokristalini olishda ajralib chiqadigan chiqindilardan foydalanish mumkin.

Amorf yarimo'tkazgichlar elektronika, optoelektronika sohasida, shuningdek, geliotexnikada keng qo'llaniladi.

Keyingi yillarda juda ko'p sohalarda qo'llash mumkin bo'lgan fotoelektrik asboblari ishlab chiqildi. Elektron asboblarda quyosh elementlari, ayniqsa, juda keng qo'llanila boshlandi. Masalan, qo'l soatlari, cho'ntak kalkulatorlari va boshqalarda quyosh elementlari tok manbasi sifatida xizmat qilmoqda. Quyosh energetikasida ham amorf yarimo'tkazgichlarning roli katta. Hozirgi vaqtda bunday fotoelektrik tizimlardan kosmik apparatlarning, uzoq va cho'l zonalardagi elektr uskunalarning tok manbasi sifatida foydalanilmoqda. Xulosa qilib aytganda, amorf moddalar asosida yaratilgan asboblari insoniyat uchun xizmat qilmoqda.

136- §. Polimerlar va ularning qo'llanishi

Keyingi vaqtlarda insoniyatning amaliy faoliyatida *polimerlar* deb ataladigan organik amorf moddalar keng ishlatilmoqda.

Polimerlar *makromolekulalar* deb nom olgan juda katta chiziqli va fazoviy tarmoqlangan molekulalardan tashkil topgan. Odatdagi qattiq amorf jismlardan farqli o'laroq, qattiq polimerlar *monomerlar* deb ataladigan suyuqlik molekulalarining kimyoviy bog'lanishi natijasida hosil bo'ladi. Molekulalarning bunday bog'lanishlarini quyidagicha tasavvur etish mumkin.

Ba'zi organik birikma molekularida uglerod atomlari kimyoviy qo'sh bog'lanishlar bilan o'zaro bog'langan. Bunday qo'sh bog'lanishlar ma'lum sharoitlarda uzilishi mumkin va bu uzilgan bog'lanishlar sababli qo'shni molekular bir-biri bilan birikib, polimerning makromolekulasini hosil qiladi.

Dastlabki molekula-monomer molekulalardan makromolekulalarning hosil bo'lish jarayoni *polimerlanish* deb ataladi. Makromolekulalar tarkibiga kiradigan monomer molekular soni *polimerlanish darajasi* deb ataladi. Masalan, polietilening polimerlanish darajasi 5000 ga teng. Polietilenda monomer vazifasini etilen bajaradi. Etilen rangsiz gaz. Uning molekulari maxsus sharoitda bir-biri bilan bog'lanib, qattiq modda — polietilenni hosil qiladi.

Polimerlar chiziqli va fazoviy bo'ladi. Chiziqli polimer makromolekulasida har bir monomer molekula ikki qo'shni monomer molekula bilan birikkan bo'ladi. Uch o'lchovli, ya'ni fazoviy polimer makromolekulada monomer molekular uch o'lchovli fazoviy panjara hosil qiluvchi monomer molekular bilan o'zaro bog'langan bo'ladi. Molekular erkin issiqlik harakati tufayli egrilashadi, buraladi, qo'shni va uzoqdagi molekular bilan o'ralashib, sferik shaklni oladi. Shunday shakldagi makromolekulalar *globulalar* deb ataladi va polimerning dastlabki strukturaviy elementi hisoblanadi.

Polimerning boshqa oddiy struktura elementi bo'lib *pachkalar* hisoblanadi. Har bir pachkada o'z individualligini yo'qotgan o'nlab va yuzlab ayrim makromolekulalar qator zanjirlar hosil qiladi, zanjirda makromolekulalar bir-biriga nisbatan ketma-ket joylashadi, ammo ularning oxirlari pachkaning turli yerida bo'ladi.

Globulalar va pachkalarining qo'shilishidan polimerlarning yanada murakkabroq strukturalari hosil bo'ladi. Polimerlanish jarayoni nisbatan oson boshqariladi, bu hol kimyogarlarga turli-tuman xususiyatli polimerlarni yaratish imkonini beradi.

Polimerlar ingichka tola va yupqa parda hosil qilish xususiyatiga, ya'ni yuqori darajali anizotropiya xossalarini namoyish etish xususiyatiga ega. Polimerlarning mexanik xossalarida qattiq jism va suyuqlik xossalari birlashib ketgan. Ular mustahkam va shu bilan birga, yetarlicha elastik mexanik deformatsiyalanishga ega. Polimerlarni ularning dastlabki uzunligidan 6—10 marta katta uzunlikkacha elastik

choʻzish mumkin. Bunday deformatsiya *yuqori elastik deformatsiya* deyiladi. Shu bilan birga polimerlarning yuqori elastikligi temperaturaning biror diapazonida boʻladi, bu diapazondan past temperaturalarda polimer qattiq va moʻrt boʻlib, yuqori temperaturalarda plastik boʻlib qoladi. Yuqori elastikligi namoyon boʻladigan polimerlar *rezinalar* deb ataladi.

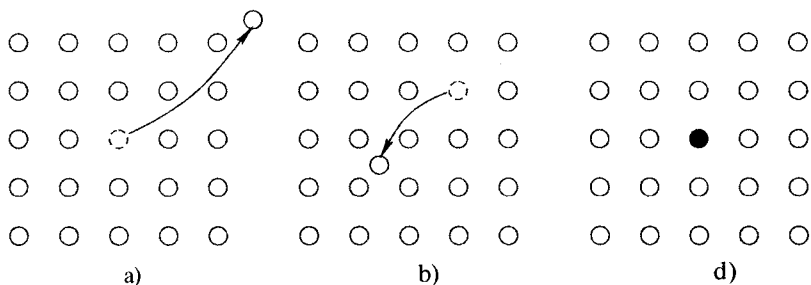
Polimerlar oʻzlarining fizik va kimyoviy xususiyatlariga koʻra odatdagi materiallardan ustun turadi. Shuning uchun sanoatda, texnikada ularning qoʻllanishi borgan sari kengayib bormoqda. Ulardan koʻp qurilish materiallari oʻrnida, mashinasozlikda, toʻqimachilik sanoatida, avtomobilsozlik, elektrotexnikada va boshqa koʻpgina sohalarda foydalaniladi. Ulardan kiyim, poyabzal hamda uy-roʻzgʻor buyumlari tayyorlanadi.

Fizika va kimyo fanlari yordamida polimerlarning tuzilishini va xossalarni oʻrganib, oldindan istalgan xossalarga ega boʻlgan materiallarni olish mumkin.

137- §. Kristallarda nuqsonlar. Dislokatsiya

Atomlarning joylashishidagi qatʼiy davriylik va buzilmaydigan tartibni faqat ideal kristallarda kuzatish mumkin. Tajribalarning koʻrsatishicha, real kristallarda odatda atomlarning joylashishidagi muntazamlik maʼlum darajada buzilar ekan, shuni aytish kerakki, garchi atomlar kristall panjaralarda ularning muvozanatiga mos joylarda tursa-da, biroq ularning bunday joylashishi mutlaqo tinch turganidan darak bermaydi. Qattiq jismda atomlar, suyuqlikdagi va gazdagi singari, uzluksiz issiqlik harakatida boʻladi, ularning bu issiqlik harakatlari jismning temperaturasi belgilaydi. Atomlarning issiqlik harakati muvozanat vaziyati yaqinidagi tebranma harakat boʻlib, muvozanat vaziyat esa panjara tuguni boʻladi. Hatto kristall ideal muntazam ravishda joylashgan boʻlganda ham, atomlarning issiqlik harakati oʻz-oʻzidan bunday aniq davriylikni buzib yuboradi. Temperatura oʻzgarishi bilan panjara davriyligining buzilishi ham oʻzgaradi. Kristallardagi bunday strukturaviy oʻzgarishlar kristallarning *nuqsonlari* deb ataladi. Kristallarda nuqsonlar hamma vaqt mavjud boʻladi va ularning xossalriga sezilarli taʼsir koʻrsatadi.

Nuqsonlarni 1) *nuqtaviy*; 2) *chiziqli*; 3) *sirtqi* va 4) *hajmiy* nuqsonlarga ajratish mumkin.



221- rasm.

1) nuqtaviy nuqsonlardan birining mohiyati shundan iboratki, panjaraning atomlar joylashishi kerak bo'lgan qandaydir tugunlari atomlar tomonidan band qilinmay qoladi (221- a rasm). Bunday bo'sh o'rinlar (vakansiyalar) qo'shni atomlarning ularning normal vaziyatiga nisbatan siljishiga sabab bo'ladi va bu vakansiya atrofida panjara tuzilishining muntazamligi buziladi.

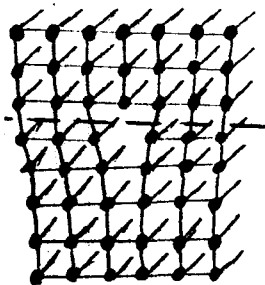
Nuqtaviy nuqsonlardan yana biri biror zarra panjara tugunidagi o'z joyini qoldirib, „tugunlararo“ biror joyda, ya'ni panjarada „qonuniy“ ravishda o'z o'rinlarini egallab turgan atomlar orasida joylashishidan iborat (221- b, rasm). Bunda go'yo ikki nuqson paydo bo'lib, bo'sh tugun va tugunlar orasidagi atom panjaraning muntazamligini teng ravishda buzadi.

Agar kristall moddaning tarkibida oz miqdorda bo'lsa ham aralashma bo'lsa, u holda panjaradagi ba'zi tugunlar aralashmani tashkil etuvchi begona atomlar tomonidan band qilinishi mumkin (221- d rasm). Bunday tur nuqsonlar ba'zida kristallarning xossalriga juda kuchli ta'sir ko'rsatadi. Bu, ayniqsa, yarim o'tkazgichlarda kuzatiladi. Ularning xossalari ko'p jihatdan xuddi shunday aralashma nuqsonlariga bog'liq bo'ladi.

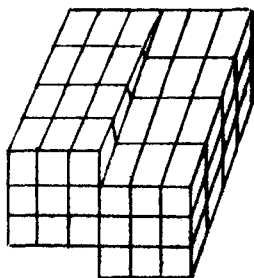
2) kristallardagi nuqsonlarning eng muhimi *dislokatsiyalar* deb ataladigan chiziqli nuqsonlardir. Bu nuqson shundan iboratki (222- rasm), kristallning bir qismida (rasmdagi gorizontall punktir chiziqning yuqori qismida) boshqa qismidagidan bitta atom tekisligi ko'p paydo bo'ladi. „Ortiqcha“ atom tekisligi panjaraning buzilishiga sabab bo'ladi.

Vintli dislokatsiya deb ataluvchi nuqson ham mavjud bo'lib, bundan panjaraning bir qismi ikkinchi qismiga nisbatan dislokatsiya chizig'iga parallel ravishda siljib qoladi (223- rasm).

222- rasm.



223- rasm.



Kristallarda dislokatsiyalar muhim rol o'ynaydi. Masalan, kristallarning deformatsiyasi bilan bog'liq hodisalarda ularning bo'lishi kristallarning mustahkamligini susaytiradi, kristallarning o'sishiga ta'sir qiladi. Umuman olganda, dislokatsiyalar kristallarning o'sishini osonlashtiradi.

3) kristallardagi sirtqi nuqsonlarga (ikki o'lchamli) kristall sirtning o'zi, kristallning birmuncha boshqacharoq oriyentatsiyalangan alohida qismlari orasidagi chegaralar, polikristalldagi kristallitlar — kristall donalar orasidagi chegaralar kiradi.

4) kristallarda uchraydigan g'ovaklar, yoriqlar hajmiy (uch o'lchamli) nuqsonlarga kiradi.

Kristallarning ko'p xossalari va birinchi navbatda, mexanik va elektr xarakteristikalari kristall panjaradagi mavjud nuqsonlarga, shuningdek, juda oz miqdorda bo'lsa ham begona modda atomlarining ishtirok etishiga juda sezgir bo'ladi.

Kristall panjara nazariyasi kristallarning mustahkamligini hisoblash imkonini beradi. Biroq, monokristallar uchun nazariy hisoblangan mustahkamlik chegarasining qiymatlari kuzatishlarda o'lchanadigan qiymatlaridan juda ham (bir necha yuz marta) katta bo'ladi. Bunday katta tafovut kristall panjara nazariyasining noto'g'riligi bilan emas, balki hisoblashlar butunlay muntazam bir jinsli panjaradan iborat ideal kristallga tegishli ekanligi bilan tushuntiriladi. Real kristallarda esa hamma vaqt nuqsonlar mavjud.

Hozirgi vaqtda eritmalardan dislokatsiyalardan deyarli xoli bo'lgan monokristallni o'stirishga muvaffaq bo'lingan. Bunday monokristallning mustahkamlik chegarasi nazariy hisoblangan mustahkamlik chegarasiga yaqinligi aniqlandi. Bu hol kristallarning mexanik xossalari nuqsonlarning, ayniqsa, dislokatsiyalarning ta'siri kuchli ekanligini bevosita isbotlaydi.

138- §. Erish. Solishtirma erish issiqligi

Biz moddalarning suyuq holatdan gazsimon holatga o'tishi— bug'lanishni va gazsimon holatdan suyuq holatga o'tishi — kondensatsiyani ko'rdik (123- § ga q.). Moddalarning bir holatdan boshqa holatga o'tishini *fazaviy o'tish* deyiladi. Demak, bug'lanish va kondensatsiya hodisalari fazaviy o'tish bo'ladi.

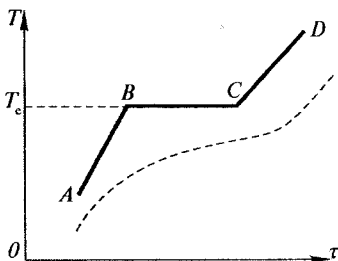
Moddaning qattiq holatdan suyuq holatga o'tishi erish deyiladi. Kristall va amorf jismlarning erishi bir-biridan farq qiladi.

Kristall jismlar tashqi bosim o'zgarmaganda tayinli bir temperaturada eriydi. *Mazkur kristall erigan temperatura shu kristallning erish temperaturasi* deyiladi. Kristall jism batamom erib tugamaguncha temperatura o'zgarmaydi. *Kristall jism qanday temperaturada erisa, shunday temperaturada qotadi — kristallanadi.* Ravshanki, erish ham, kristallanish ham fazaviy o'tishdan iborat.

Biror kristall jisimga vaqt birligi ichida bir xil issiqlik miqdori berilib borganda uning suyuq holatga o'tish jarayoni grafik ravishda *ABCD* siniq chiziqi tarzida ifodalanadi. (224- rasm).

Jisimga issiqlik miqdori bera boshlasak, erish temperaturasiga yetguncha uning temperaturasi oshib boradi (*AB* kesma), issiqlik berishni davom ettirsak, batamom erib tugamaguncha uning temperaturasi o'zgarmaydi (*BC* kesma), navbatdagi berilgan issiqlik miqdori suyuq holatdagi jismning temperaturasini ko'tarishga sarflanadi (*CD* kesma). Masalan, biror suvli idishga muz solib issiq xonaga olib kirib qo'ysak, suv ichidagi muz batamom erib tugamaguncha sistemaning temperaturasi o'zgarmaydi. Bunda tashqaridan berilgan issiqlik miqdori muzni eritish uchun sarflanadi.

Agar biror amorf jism, masalan, mumni asta-sekin isitib, temperaturaning vaqt bo'yicha o'zgarishini tekshirsak, 224- rasmda shtrixlab tasvirlangan egri chiziqni hosil qilamiz. Bu grafikdan ko'rinadiki, amorf jismning suyuq holatga o'tishida aniq erish temperaturasi yo'q. Ammo yumshash vaqtida temperaturaning o'sish tezligi ortadi. Amorf jismlar sovitilganda ham asta-sekin oquvchanligini yo'qotib, qattiq holatga o'tadi.



224- rasm.

Kristall jismlarning erish vaqtidagi sarflangan issiqlik miqdori kristall panjaraning buzilishiga sarf bo'ladi, degan xulosaga kelish mumkin.

224- rasmdagi $ABCD$ siniq chiziqning BC gorizontal qismiga mos keladigan T_e temperatura kristallning erish temperaturasiga teng bo'ladi.

Erish temperaturasidagi kristall moddaning birlik massasini eritish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdori solishtirma erish issiqligi deyiladi va u quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\lambda = \frac{Q}{m}, \quad (85)$$

bunda Q — erish temperaturasida olingan m massali kristall jismni eritish uchun sarflangan issiqlik miqdori, uni erish *issiqligi* deyiladi. λ — solishtirma erish issiqligi, u SI da J/kg hisobida o'lchanadi. Solishtirma erish issiqligining kattaligi kristallarning xossalriga va tashqi bosimga bog'liq.

Jismlar eriganda tashqaridan issiqlik miqdori olsa, kristallanishda tashqariga issiqlik miqdori chiqaradi. Ravshanki, kristallanishda chiqarilgan issiqlik miqdori erish issiqligiga teng.

Ixtiyoriy moddaning λ solishtirma erish issiqligini kalorimetrik usul bilan quyidagicha aniqlash mumkin.

Massasi m_1 va ichidagi suvining massasi m_2 bo'lgan kalorimetrga m_3 massali eritilgan qo'rg'oshinni solamiz. Bunda qo'rg'oshinning eritilmasdan avvalgi temperaturasini T_3 , solishtirma issiqlik sig'imini c_3 , erish temperaturasini T_e , qotish temperaturasini T_q (ular o'zaro teng: $T_e = T_q$), shuningdek kalorimetrning solishtirma issiqlik sig'imini c_1 , kalorimetrga solingan suvning solishtirma issiqlik sig'imini c_2 , kalorimetr bilan suvning boshlang'ich temperaturasini T_1 , aralashmaning (qo'rg'oshin solingandan keyingi) oxirgi temperaturasini T bilan belgilaylik.

Tajriba o'tkazishdan avval tarozida yuqorida keltirilgan m_1 , m_2 , m_3 massalarni tortib olinadi, boshlang'ich T_1, T_3 temperaturalar termometr yordamida o'lchanadi. So'ngra eritilgan qo'rg'oshin suvli kalorimetrga solinadi. Qo'rg'oshin avval qotadi, keyin soviydi, bunda ajratilgan Q issiqlik miqdori kalorimetr bilan suvni T_1 dan T temperaturagacha isitadi. Termometr yordamida aralashmaning T temperaturasini o'lchab, qolgan kattaliklar (c_1 ,

c_2, c_3) ni jadvaldan olinadi, so'ngra issiqlik balansi tenglamasi tuziladi. Qo'rg'oshinning qotishida ajralib chiqqan issiqlik miqdori:

$$Q = \lambda m_3. \quad (a)$$

Qo'rg'oshin T_2 temperaturadan T gacha soviganda ajralgan issiqlik miqdori:

$$Q_3 = m_3 c_3 (T_2 - T), \quad (b)$$

kalorimetr bilan suvning T_1 temperaturadan T gacha isiganda olgan issiqlik miqdorlari mos ravishda:

$$Q_1 = m_1 c_1 (T - T_1), \quad (d)$$

$$Q_2 = m_2 c_2 (T - T_1) \quad (e)$$

ga teng bo'ladi. Issiqlik balansi tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$Q + Q_3 = Q_1 + Q_2, \quad (f)$$

ya'ni energiyaning saqlanish qonuniga binoan, qo'rg'oshinning qotishi va sovishidagi chiqargan issiqlik miqdori kalorimetr bilan suvning isiganda olgan issiqlik miqdorlariga teng, (f) ifodaga issiqlik miqdorlarining (a, b, d, e) orqali ifodalangan qiymatlarini qo'ysak, u holda

$$\lambda m_3 + m_3 c_3 (T_2 - T) = (m_1 c_1 + m_2 c_2) (T - T_1)$$

munosabatni hosil qilamiz. Bundan solishtirma erish issiqligini topamiz:

$$\lambda = \frac{(m_1 c_1 + m_2 c_2)(T - T_1) - m_3 c_3 (T_2 - T)}{m_3}. \quad (86)$$

Bu tenglama yordamida moddalarning solishtirma erish issiqligi hisoblanadi.

Erish temperaturasi tashqi bosimga bog'liq. Normal atmosfera bosimida moddaning erish temperaturasi shu moddaning *erish nuqtasi* deyiladi. Erish vaqtida hajmi kattalashadigan moddalarning erish temperaturasi tashqi bosim ortishi bilan ortadi; erish vaqtida hajmi kichrayadigan ba'zi moddalarning, jumladan muz, surma, vismut, cho'yan kabi moddalarning erish temperaturasi tashqi bosim ortishi bilan pasayadi. Buning sababi, bu moddalar eriganda hajmi kichrayishi bilan birga tashqi bosimning ortishi ham ularning

hajmining kichrayishiga, ya'ni erishga yordam beradi, natijada erish temperaturasi pasayadi. Masalan, muz $336 \cdot 10^5$ Pa bosim ostida 270 K da eriydi.

Yuqorida aytib o'tilgan moddalar (muz, cho'yan va hokazo) ning eriganda siqilishining sababi, ularning kristall panjaralarida bo'shliqning ko'pligidir. Ular eriganda bo'shliqlar shu moddaning molekulari bilan to'ladi va natijada zichlik ortadi. 273 K da muzning zichligi 920 kg/m^3 bo'lsa, suvning zichligi $999,9 \text{ kg/m}^3$ ga teng. 277 K da esa suv maksimal zichlik 1000 kg/m^3 ga erishadi. Tog' jinslarining yemirilish hollarining sabablaridan biri suv muzlaganda uning hajmining ortishidadir.

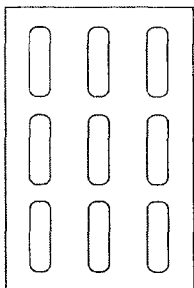
Ikki yoki bir necha qattiq qismlardan iborat aralashmalar *qotishmalar* deb ataladi. Qotishmalar ajoyib xossaga ega. Ularning erish nuqtasi qotishma tarkibidagi eng oson eruvchi moddaning erish temperaturasidan ham hamma vaqt past bo'ladi. Masalan, ikki qism qalay va bir qism qo'rg'oshindan iborat qotishmani ko'raylik. Bu qotishma 442 K da eriydi, holbuki qo'rg'oshinning erish temperaturasi 600 K, qalayning erish temperaturasi esa 505 K.

Oson eruvchan qotishmalar texnikada keng qo'llaniladi, masalan, bosmaxona ishlarida stereotiplar tayyorlashda, saqlagich tiqinlarini tayyorlashda va shu singari joylarda ishlatiladi. Qotishmalarning sof metallar ega bo'lmagan boshqa muhim xossalari ham bor. Masalan, ularning elastikligi, qattiqligi, qovushoqligi, mustahkamligi katta bo'ladi.

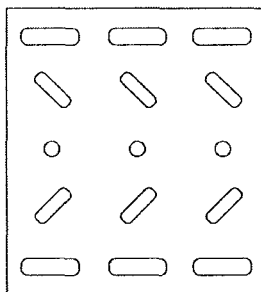
139- §. Suyuq kristallar haqida tushuncha

Ba'zi kristall jismlar erish jarayonida suyuqlikka to'la aylanishdan avval bir qator oraliq (holatlar) fazalardan o'tishi kuzatiladi. Moddalarning bunday oraliq fazalarini *mezofaza* deyiladi. Mezofaza holatda modda bir vaqtning o'zida ham qattiq jismning, ham suyuqlikning xossalariga ega bo'ladi: kristallarga o'xshab fazoviy anizotropiyaga ega, suyuqliklarga o'xshab tomchilar hosil qilish qobiliyatiga, yuqori egiluvchanlikka ega. Bunday holatlarda shunday xususiyatlari mavjudligi sababli moddalar *suyuq kristallar* deb ataladi.

Suyuq kristallar qanday sharoitlarda hosil bo'lishiga qarab *termotrop*, *liotrop* va *fototrop* suyuq kristallarga ajratiladi. Moddaning



225- rasm.



226- rasm.

temperaturasi o'zgaranda *termotrop* suyuq kristallar hosil bo'ladi. Ba'zi erituvchilarda qattiq jism eritilganda liotrop suyuq kristallar, nurlanish bilan ta'sirlashganda esa fototrop suyuq kristallar hosil bo'ladi. suyuq kristall holat asosan molekulari biror yo'nalish bo'yicha kuchli cho'zilgan organik moddalarda kuzatiladi. Tegishli sharoitlarda modda molekulari o'qlarining yo'nalishi fazoviy tartiblangan, molekular massa markazlarining vaziyati tartibsiz bo'lgan holat energetik qulay holat ekan. Molekular fazoda qanday tartiblanishiga bog'liq ravishda suyuq kristallar *nematik*, *xolesterik* va *smektik* suyuq kristallarga ajratiladi. Nematik suyuq kristallarda molekular fazoda ularning o'qlari bir-biriga parallel yo'nalgan holda orientirlangan bo'ladi (225- rasm). Xolesterik kristallarda molekular shunday orientirlanganki, qatlamdan qatlamga o'tgan sari ularning o'qlari burama mix (vint) chizig'i bo'yicha joylashadi (226- rasm). Smektik suyuq kristallar uchun molekularning qavat-qavat bo'lib joylashuvi xarakterlidir. Suyuq kristallarning makroskopik xossalarini ularning o'ziga xos ichki strukturalari yuzaga keltirib chiqaradi. Masalan, tartibsiz ilgarilanma harakatning mumkinligi bu moddalarning oquvchanligiga sabab bo'ladi, molekularning ma'lum yo'nalishda tartiblanishi modda fizik xossalarining anizotropiyasiga olib keladi.

Suyuq kristallar turli tashqi faktorlar: issiqlik, elektr va magnit maydonlari, nurlanish, mexanik deformatsiyalar kabi ta'sirlar natijasida o'z xususiyatlarini o'zgartiradilar. Bu holat suyuq kristallardan turli maqsadlarda, masalan, har xil turdagi indikator qurilmalarda, informatsiyani saqlash va qayta ishlash tizimida va shu kabilarda foydalanishga imkon beradi.

140- §. Qattiq jismlarning va suyuqliklarning issiqlikdan kengayishi

Kristallni hosil qiluvchi zarralar (atomlar, molekularlar yoki ionlar)ning issiqlik harakati kristall panjara tugunlari bilan mos keluvchi ma'lum muvozanat vaziyatlari atrofidagi tebranishlaridan iborat. Zarralarning issiqlik energiyasi ularning tebranishlari energiyasidan iborat. Bu issiqlik energiyasi zarralararo ta'sir potensial energiyadan ancha kichik, shuning uchun zarralarning issiqlikdan tebranishlari kichik tebranishlar bo'ladi.

Temperatura ko'tarilishi bilan zarralarning tebranishi kuchayadi, muvozanat vaziyatdan chetlashishlari ortadi. Bu hol, o'z navbatida zarralar orasidagi o'rtacha masofaning ortishiga olib keladi. Qattiq jismdagi barcha zarralar orasidagi masofalarning ortishi bir-biri bilan qo'shilib, jismning chiziqli o'lchamlarining uzayishiga, binobarin, jism hajmining kattalashishiga sabab bo'ladi. Bu jarayonni jismlarning *issiqlikdan kengayishi* deb ataladi. Shu jarayonni xarakterlovchi fizik kattaliklar va ular orasidagi munosabatni aniqlaylik.

Qattiq jismning 0°C temperaturadagi uzunligini l_0 bilan, t temperaturagacha qizdirgandagi uzunligini l bilan belgilaylik. Tajribalarning ko'rsatishicha, issiqlik ta'sirida jismning $\Delta l = l - l_0$ uzayishi (yoki chiziqli kengayishi) uning temperaturasining o'zgarishiga proporsional ekan, ya'ni

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta t, \quad (87)$$

bu yerda α — qattiq jismning issiqlikdan chiziqli kengayish koeffitsienti, $\Delta t = t - t_0$, $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$ ekanligini inobatga olsak, (87) formulani quyidagicha yoza olamiz:

$$\begin{aligned} l &= l_0 + \Delta l = l_0 + \alpha l_0 \Delta t = l_0 + \alpha l_0 t = l_0 (1 + \alpha t), \\ l &= l_0 (1 + \alpha t), \end{aligned} \quad (88)$$

bundan, qattiq jismning uzunligi uning temperaturasi bilan chiziqli bog'lanishda ekanligi kelib chiqadi. (88) formuladan chiziqli kengayish koeffitsienti

$$\alpha = \frac{l - l_0}{l_0 t} = \frac{\Delta l}{l_0 t} \quad (89)$$

ga teng bo'ladi, bu yerda Δ/l_0 — nisbat qattiq jismning nisbiy uzayishi deb ataladi. Demak, *chiziqli uzayish koeffitsienti jismning temperaturasini bir kelvinga orttirilgandagi nisbiy uzayishiga teng bo'ladi*.

Chiziqli uzayish koeffitsienti turli jismlar uchun turlicha qiymatga, binobarin, jismning tabiatiga bog'liq. Bundan tashqari, chiziqli kengayish koeffitsienti temperaturaga ham bog'liq, lekin ko'p hollarda bu bog'lanishni e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Shuning uchun amaliyotda α ni berilgan modda uchun o'zgarmas deb qarash mumkin.

Jismning issiqlikdan chiziqli kengayishi uning hajm kengayishiga olib keladi. $t_0 = 0$ °C temperaturada kub shaklidagi izotrop qattiq jismning qirrasini l_0 ga teng deb olaylik. Uning shu temperaturadagi hajmi $V_0 = l_0^3$ bo'ladi. Endi uni t temperaturagacha qizdiraylik. Natijada kubning qirrasini $l = l_0(1 + \Delta t)$ ga teng bo'ladi, hajmi esa quyidagicha ifodalanadi:

$$V = l^3 = [l_0(1 + \alpha t)]^3 = l_0^3 (1 + 3\alpha t + 3\alpha^2 t^2 + \alpha^3 t^3).$$

α ning qiymati juda kichik ($\sim 10^{-5} - 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) bo'lgani uchun α^2 va α^3 lar ishtirok etayotgan hadlarni nazarga olmasa ham bo'ladi. U holda

$$V = V_0 (1 + 3\alpha t).$$

$\beta = 3\alpha$ deb belgilab,

$$V = V_0 (1 + \beta t) \quad (90)$$

va

$$\beta = \frac{V - V_0}{V_0 t} = \frac{\Delta V}{V_0 t} \quad (91)$$

ifodalarga ega bo'lamiz, bu yerda $\Delta V/V_0$ — nisbat qattiq jism hajmining issiqlikdan nisbiy kengayishi deb ataladi, β — qattiq jismning issiqlikdan hajmiy kengayish koeffitsienti bo'lib, jismning temperaturasini bir kelvinga orttirilganda jism hajmining nisbiy kengayishiga teng bo'ladi.

Izotrop jismlarning xossalari barcha yo'nalishlar bo'yicha birday bo'ladi, shuning uchun issiqlikdan kengayish ularning shaklini o'zgartirmaydi. Anizotrop jismlarda bunday emas. Ularning xossalari turli yo'nalishlarda turlicha, jumladan, chiziqli uzayish koeffitsienti ham. Umuman olganda, anizotrop moddada uchta

yoʻnalish mavjud boʻlib, chiziqli uzayish koeffitsientining shu yoʻnalishlar boʻyicha α_1 , α_2 va α_3 qiymatlari olinadi, ularni *chiziqli kengayishning bosh koeffitsientlari* deb ataladi. Bosh koeffitsientlar bilan hajmiy kengayish koeffitsienti orasida quyidagicha bogʻlanish bor:

$$\beta = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3. \quad (92)$$

Izotrop modda uchun $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha$ va $\beta = 3\alpha$ ekanligi tushunarli. Shunday qilib, anizotrop qattiq jismlar qizdirilganda anizotropiya tufayli ularning shakli oʻzgaradi. Masalan, kub shaklidagi monokristallni qizdirganimizdan keyin shakli oʻzgarib, kubga oʻxshamay qoladi.

Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayishini amalda hisobga olish kerak boʻladi. Agar qattiq jismlar issiqlikdan erkin kengaya olmasa, qizdirish natijasida bu jismlarda katta mexanik kuchlanishlar yuzaga keladi. Tegishli hisoblashlarning koʻrsatishicha, temir sterjenning temperaturasini bir kelvinga orttirganda uning issiqlikdan uzayishi kattaligi sterjen koʻndalang kesimining har bir mm^2 yuzasiga 200 N kuch bilan taʼsir qilganda yuzaga keladigan uzayishi kattaligiga teng ekan. Shuning uchun sterjen oʻzining uzayishiga toʻsqinlik qiladigan jismga katta bosim koʻrsatadi. Qurilish texnikasida, ayniqsa koʻprik, inshootlar qurilishida bunday kuchlanishlarning yuzaga kelishi zarar keltirishi mumkin. Bunday kuchlanishlardan saqlanish uchun, masalan, temir yoʻl relslari bir-biridan biroz qochirib ulanadi; koʻpriklar xarilarining uchlari taqab biriktirilmaydi, balki gʻaltaklar ustiga oʻrnatiladi; bugʻ yuradigan trubalarni ilgaklarga osib, ayrim trubalar orasiga truba issiqlikdan uzaygan vaqtda bukiladigan kompensatorlar qoʻyiladi. Shu kabi misollarni juda koʻp keltirish mumkin.

Aniq oʻlchashlar oʻtkazishda jismning issiqlikdan kengayishini hisobga olish katta ahamiyatga ega. Tayyorlangan buyumlarni oʻlchash yoki tekshirishda qoʻpol xatolarga yoʻl qoʻymaslik uchun oʻlchash asboblari kengayish koeffitsienti juda ham kichik boʻlgan materialdan yasaladi. Masalan, tarkibida maʼlum miqdorda nikel boʻlgan maxsus poʻlat—invar shunday materiallardan hisoblanadi.

(88) va (90) formulalar suyuqliklar uchun ham toʻgʻri boʻladi, faqat suyuqliklarda hajmiy kengayish koeffitsienti qattiq jismlarnikidan kattaroq ($\sim 10^{-3} - 10^{-4} \text{ K}^{-1}$) boʻladi.



Takrorlash uchun savollar

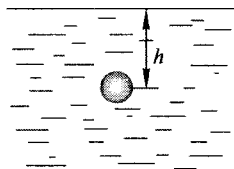
1. Suyuqliklarda ichki yoki molekulyar bosimning vujudga kelishi mexanizmini tushuntiring.
2. Sirt tarangligi deb nimaga aytiladi? Sirt taranglik kuchining formulasini yozing.
3. Sirt taranglik koeffitsienti deb nimaga aytiladi? U qanday birlikda o'lchanadi? Sirt taranglik koeffitsienti suyuqlikning tabiatiga bog'liqmi? Temperaturaga-chi?
4. Suyuqlik sirtining erkin energiyasi deb nimaga aytiladi? U sirt taranglik koeffitsienti bilan qanday bog'lanishga ega?
5. Ho'lovchi va ho'llamaydigan suyuqliklar haqida nima bilasiz? Nima uchun ho'llash nisbiy tushuncha deyiladi?
6. Laplas formulasini yozing va fizik mazmunini tushuntiring.
7. Jyuren formulasi qanday hodisani tavsiflaydi? Formulani yozing va tushuntiring.
8. Kristall va amorf jismlarni tushuntiring, ularning anizotropik va izotropik xossalarini qanday tushunasiz?
9. Qattiq jism deformatsiyasining ikki asosiy ko'rinishini tavsiflang.
10. Kristall tuzilishi nuqtayi nazaridan qattiq jism deformatsiyasini tushuntiring.
11. Mo'rt va plastik jismlar qanday jismlar?
12. Polimerlar va ularning xossalari haqida tushuncha bering.
13. Kristallarda qanday nuqsonlar mavjud? Ularning foydali va foydasiz tomonlarini tushuntiring.
14. Erish nuqtasi deb nimaga aytiladi? Erish nuqtasi qanday moddalarga xos parametr?
15. Solishtirma erish issiqligi deb nimaga aytiladi va u qanday birlikda o'lchanadi?
16. Solishtirma erish issiqligini qanday o'lchash mumkin?
17. Erish temperaturasining tashqi bosimga bog'liqligini tushuntiring.
18. Suyuq kristallar qanday moddalar? Nematik, xolesterik va smektik suyuq kristallar bir-biridan qanday farqlanadi?
19. Qattiq jismlarning issiqlikdan chiziqli kengayishini tushuntiring.
20. Qattiq jism va suyuqlikning issiqlikdan hajmiy kengayishini tushuntiring.



Masala yechish namunalari

1- masala. Vertikal mahkamlangan 1 mm diametrlı qo'rg'oshin simning pastki uchidan eritilganda 20 ta qo'rg'oshin tomchisi hosil bo'lgan.

Sim qancha qisqargan? Suyuq qo'rg'oshinning sirt taranglik koeffitsienti $0,47 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ ga teng. Tomchining uziladigan joyining diametrini simning diametriga teng deb oling.



227- rasm.

Berilgan: $d = 1 \text{ mm} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $n = 20$,
 $\sigma = 0,47 \frac{\text{N}}{\text{m}}$, $\rho = 11,3 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Topish kerak: l —?

Yechilishi. Faraz qilaylik, uzilgan bitta tomchining og'irligi P_0 bo'lsin. Tomchining og'irlik kuchi uning uzilish joyidagi sirt taranglik kuchidan kichik bo'lganda tomchi uzilmaydi, uni sirt taranglik kuchi ushlab turadi. Tomchi asta-sekin kattalasha boradi va P_0 og'irligi sirt taranglik kuchi F ga teng bo'lganda tomchi uziladi. Shunga binoan, $P_0 = \sigma l_0$ deb yozish mumkin, bunda $l_0 = \pi d$ — tomchining uzilish joyidagi aylananing uzunligi. n ta tomchining og'irligi $P = n P_0 = n \cdot \pi d \sigma$ bo'ladi. Ikkinchi tomondan, n ta tomchining og'irligi kesim yuzasi $S = \frac{\pi d^2}{4}$ va uzunligi l ga teng bo'lgan hajmdagi qo'rg'oshin simning og'irligiga teng. Shunday qilib,

$$n \cdot \pi d \sigma = \frac{\pi d^2}{4} l \rho g, \text{ bundan } l = \frac{4n\sigma}{\rho g d},$$

bu yerda ρ — qo'rg'oshinning zichligi.

Hisoblash: $l = \frac{4 \cdot 20 \cdot 0,47 \frac{\text{N}}{\text{m}}}{11,3 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 0,34 \text{ m}$.

2- masala. Havo pufagi suv sirtidan qanday chuqurlikda bo'lganda undagi

havoning zichligi $2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ga teng bo'ladi? Pufakning diametri $0,015 \text{ mm}$, temperaturasi 20°C va atmosfera bosimi 760 mm sim. ust. ga teng.

Berilgan: $\rho_h = 2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, $d = 0,015 \text{ mm} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}$, $T = 20^\circ \text{C} = 293 \text{ K}$, $P_0 = 760 \text{ mm Hg} = 1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$, $\mu_h = 29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo'l}}$, $\rho_s = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$,
 $\sigma = 7,3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{N}}{\text{m}}$.

Topish kerak: h —?

Yechilishi. Suv sathidan h chuqurlikda turgan havo pufagi uchta bosim: p_0 — atmosfera bosimi, p_1 — suvning h balandlikli ustunining gidrostatik bosimi va Δp — pufak sirtining egriligidan vujudga keladigan qo'shimcha bosimlar ta'sirida bo'ladi (227- rasm), ya'ni

$$p = p_0 + p_1 + \Delta p.$$

Gidrostatik bosim $p_1 = \rho_s gh$ ga, qo'shimcha bosim esa, Laplas formulasiga ko'ra, $\Delta p = \frac{4\sigma}{d}$ ga teng ekanligini e'tiborga olsak,

$$p = p_0 + \rho_s gh + \frac{4\sigma}{d} \quad (a)$$

bo'ladi, bu yerda ρ_s — suvning zichligi, σ — suvning sirt taranglik koeffitsienti. Mendeleyev—Klapeyron tenglamasiga ko'ra, pufak ichidagi havoning bosimi

$$p = \frac{m}{\mu} \frac{RT}{V} = \rho_h \frac{RT}{\mu} \quad (b)$$

ga teng bo'ladi, bu yerda ρ_h — havoning zichligi, μ — havoning molyar massasi. (a) va (b) ifodalarni tenglashtirsak,

$$p_0 + \rho_s gh + \frac{4\sigma}{d} = \rho_h \frac{RT}{\mu}, \text{ bundan } h = \frac{1}{\rho_s g} \left(\rho_h \frac{RT}{\mu} - p_0 - \frac{4\sigma}{d} \right).$$

Hisoblash:

$$h = \frac{1}{10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \left(2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{8,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{mo} \cdot \text{l} \cdot \text{K}} \cdot 293 \text{K}}{29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mo} \cdot \text{l}}} - 1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} - \frac{4 \cdot 7,3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{N}}{\text{m}}}{1,5 \cdot 10^{-5} \text{m}} \right) = 4,94 \text{ m}.$$

3- masala. Barometrik naychanning ichki diametri 0,75 sm ga teng. Atmosfera bosimi simob ustunining balandligi orqali aniqlanganda qanday tuzatma kiritish kerak? Simobni to'la ho'llamovchi suyuqliq deb hisoblang.

$$\text{Berilgan: } d = 0,75 \text{ sm} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}, \theta = 180^\circ, \sigma = 0,5 \frac{\text{N}}{\text{m}}.$$

Topish kerak: $\Delta p = ?$

Yechilishi. Naychadagi simob sirti yassi bo'lganda edi, atmosfera bosimi h balandlikli simob ustunining bosimiga teng bo'lar edi. Lekin, masalaning shartiga ko'ra, simob to'la ho'llamovchi suyuqlik bo'lgani tufayli, sirti egrilanib sferik shaklni oladi, qo'shimcha bosim vujudga keladi va bu bosim simob sathini pasaytirishga intiladi. Bunda sferik sirtning egrilik radiusi naychanning radiusiga teng bo'ladi. Shuning uchun atmosfera bosimini to'g'ri o'lchash uchun

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r} = \frac{4\sigma}{d}$$

ga teng tuzatma kiritish lozim.

$$\text{Hisoblash: } \Delta p = \frac{4 \cdot 0,5 \frac{\text{N}}{\text{m}}}{7,5 \cdot 10^{-3} \text{m}} = 266 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 2 \text{ mmHg}.$$

4- masala. Sirtining yuzi $2,0 \text{ m}^2$ bo'lgan ko'lmak suv 273 K temperaturada 2 mm qalinlikdagi muz bilan qoplangan. Bunda atrof-muhitga qancha issiqlik miqdori ajralgan?

Berilgan: $S = 2,0 \text{ m}^2$, $T = 273 \text{ K}$, $h = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$,
 $\rho = 0,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Topish kerak. $Q - ?$

Yechilishi. Ko'lmak suv sirtidagi muzning hosil bo'lishidagi atrofga ajratgan issiqlik miqdori (85) tenglamaga asosan, quyidagicha ifodalanadi:

$$Q = \lambda m,$$

bunda λ — muzning solishtirma erish issiqligi, m —ko'lmak suv sirtida hosil bo'lgan muzning massasi.

Masala shartida m berilmagan, lekin masala shartida berilgan kattaliklar orqali zichlik formulasidan foydalanib, massani quyidagicha topish mumkin:

$$m = \rho V,$$

bu yerda ρ — muzning zichligi, V — muzning hajmi, u muzning yuzi S va qalinligi h orqali quyidagicha topiladi:

$$V = Sh,$$

u vaqtda muzning atrof-muhitga ajratgan issiqlik miqdori $Q = \lambda \rho Sh$ bo'ladi.

Hisoblash:

$$Q = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 0,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2 \text{ m}^2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 11,88 \cdot 10^5 \text{ J}.$$

5- masala. Avtomobil qorli yo'lda o'rnidan jilmay, g'ildiraklari sirpanib aylanayotganda 15 kW quvvat sarf qildi. Temperaturasi 273 K bo'lgan qordan 10 kg ni eritish uchun avtomobil g'ildiraklari qancha vaqt harakatlanishi

kerak? Qorning solishtirma erish issiqligi $3,35 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$.

Berilgan: $N = 15 \text{ kW} = 15 \cdot 10^3 \text{ W}$, $T_1 = 273 \text{ K}$, $m = 10 \text{ kg}$, $\lambda = 3,35 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$.

Topish kerak: $\tau - ?$

Yechilishi. m massali qorni eritish uchun sarflangan issiqlik miqdori (85) tenglamaga asosan quyidagicha ifodalanadi:

$$Q = \lambda m.$$

Energiyaning bir turdan ikkinchi turga aylanish qonuniga asosan, avtomobilning sarflagan quvvati hisobiga bajarilgan $A = N\tau$ mexanik ish 10 kg qorni eritishga sarflanadi, shuning uchun quyidagi tenglikni yoza olamiz:

$$\lambda m = N\tau,$$

bundan

$$\tau = \frac{\lambda m}{N}$$

ekanligi kelib chiqadi.

$$\text{Hisoblash: } \tau = \frac{3,35 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 10 \text{kg}}{15 \cdot 10^3 \text{W}} = 223,3 \text{ s} \approx 3 \text{ min } 43 \text{ s.}$$

6- masala. 150 °C temperaturali mis sim ikkita qo'zg'almas devor orasiga tarang qilib tortilgan. Soviganda sim qanday temperaturada uziladi? Guk qonuni simning uzilishiga qadar o'rinli deb hisoblang.

Berilgan:

$$t_1 = 150^\circ \text{C}, \quad \alpha = 1,6 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}, \quad P_m = 2,45 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}}, \quad E = 11,8 \cdot 10^{10} \frac{\text{N}}{\text{m}}.$$

Topish kerak: t_2 — ?

Yechilishi. Mis simning sovigandan so'nggi, ya'ni t_2 temperaturadagi uzunligini l bilan, t_1 temperaturadagi uzunliginini l_1 bilan belgilaylik. U holda sovish natijasida simning issiqlikdan nisbiy uzayishi

$$\frac{l-l_1}{l_1} = -\frac{\Delta l}{l_1} = \alpha(t_2-t_1)$$

bo'ladi, bu yerda α — misning issiqlikdan chiziqli uzayish koeffitsienti.

Temperatura pasaya borishi bilan sim qisqara va taranglasha boradi. Deformatsiyalanish (cho'zilish) tufayli yuzaga kelgan kuchlanish ortib boradi. Guk qonuniga ko'ra, cho'zilishdagi nisbiy uzayish

$$\frac{\Delta l}{l_1} = \frac{p}{E}$$

bo'ladi, bu yerda p — kuchlanish, E — Yung moduli. p kuchlanishning kattaligi misning mustahkamlik chegarasi p_m ga yetganda sim uziladi.

Binobarin,

$$-\alpha(t_2-t_1) = \frac{p_m}{E}, \quad \text{bundan } t_2 = t_1 - \frac{p_m}{\alpha E}.$$

$$\text{Hisoblash: } t_2 = 150^\circ \text{C} - \frac{2,45 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}}}{1,6 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}} \cdot 11,8 \cdot 10^{10} \frac{\text{N}}{\text{m}}} \approx 20^\circ \text{C}.$$



Mustaqil yechish uchun masalalar

154. Sovun pardasi bilan qoplangan ramkada pastki tomonda bo'lgan kashagining uzunligi 15 sm ga teng. Pardani 4 sm ga cho'zish uchun sirt taranglik kuchlariga qarshi qanday ish bajarish kerak? Suyuqlikning sirt

taranglik koeffitsienti $\sigma = 45 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}}$.

155. Sovun pufakchasini puflab, uning diametrini 1 sm dan 9 sm gacha orttirish uchun sirt taranglik kuchlariga qarshi qancha ish bajarish kerak?

156. Pilik suvni 8 sm balandlikka ko'taradi. Shu pilik bo'ylab kerosin qancha balandlikka ko'tariladi? Suv uchun $\sigma = 7,3 \frac{\text{mN}}{\text{m}}$, $\rho_s = 1 \cdot 10 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$,

kerosin uchun $\sigma = 30 \frac{\text{mN}}{\text{m}}$, $\rho_k = 0,8 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ deb oling.

157. Suv sirtidan 20 sm chuqurlikda bo'lgan 0,01 mm diametrli havo pufakchadagi havoning bosimi aniqlansin. Tashqi bosim 765 mm sim. ust. ga teng.

158. 273 K temperaturali 0,04 kg muzni 373 K temperaturali bug'ga aylantirish uchun qancha issiqlik miqdori sarflash lozim?

159. Temperaturasi 273 K bo'lgan do'l donasi Yerga urilib erib ketishi uchun qanday balandlikdan tushishi kerak? Havoning qarshiligini hisobga olmag.

160. Temperaturasi 263 K bo'lgan 1 kg muzni eritish va temperaturasini 293 K gacha ko'tarish uchun qancha issiqlik miqdori sarflangan?

161. Temperaturasi -10°C bo'lgan 20 kg muzni 100°C temperaturali suvga aylantirish uchun qancha issiqlik kerak?

162. Massasi 200 g bo'lgan misdan yasalgan kalorimetrga temperaturasi 16°C bo'lgan 100 g suv quyilgan. Suvga 9,3 g massali, 0°C temperaturali muz parchasi solinganda, u batamom erigan. Suvning oxirgi temperaturasi 9°C bo'lib qolgan. Shu sonlarga asosan muzning solishtirma erish issiqligini aniqlang.

163. Ko'ndalang kesimining yuzi 10 cm^2 bo'lgan sterjenni 0°C dan 30°C gacha isitganda cho'zilmasligi uchun uning uchlariga qanday kuch qo'yilishi kerak?

164. Biror metallni 0°C dan 500°C gacha isitilganda uning zichligi 1,027 marta kamaygan. Bu metallning issiqlikdan chiziqli uzayish koeffitsientini toping.

ILOVA

Xalqaro sistema (SI)dagi asosiy va qo‘shimcha birliklar

Kattalik-larning nomi	Nomi	Kattalikning o‘lchov birligi	
		Belgisi	Ta’rifi
Asosiy birliklar			
Uzunlik	Metr	m	Krinton-86 atomining 2 p ₁₀ va 5 d ₅ sathlari orasidagi o‘tishga mos bo‘lgan nurlanishning vakuumdagi 1650 763, 73 to‘lqin uzunligiga teng bo‘lgan uzunlikni 1 <i>metr</i> deb qabul qilingan.
Massa	Kilo-gramm	kg	Kilogrammning xalqaro prototipining massasi 1 <i>kilogramm</i> deb qabul qilingan.
Vaqt	sekund	s	Seziy-133 atom asosiy holatining ikki o‘ta nozik sathlari orasidagi o‘tishiga mos bo‘lgan 9 192 631 770 nurlanish davriga teng vaqt 1 <i>sekund</i> deb qabul qilingan.
Elektr tokining kuchi	amper	A	1 <i>amper</i> tok vakuumdagi bir-biridan 1 m masofada joylashgan ikki parallel cheksiz uzun, lekin ko‘ndalang kesimi juda kichik to‘g‘ri o‘tkazgichlardan o‘tganda o‘tkazgichning har bir metr uzunligiga 2·10 ⁻⁷ N kuch ta’sir qiladi.
Temperatura	kelvin*	K	Suvning uchlanma nuqtasini $\frac{1}{273,16}$ xarakterlovchi temperaturaning ulushi 1 <i>kelvin</i> deb qabul qilingan.
Modda miqdori	mo‘l	mo‘l	Uglerod 12 ning 0,012 kg massasidagi atomlar soniga teng strukturaviy element (atomlar, molekullalar, ionlar, elektronlar va boshqa zarralar yoki zarralarning bir xil xususiyatli guruhlari)dan tashkil topgan siste madagi moddaning miqdori 1 <i>mo‘l</i> deb qabul qilingan.
* Kelvin va uning belgilanishi temperaturalar intervali va farqini ifodalashda ham qo‘llaniladi.			

Kattalik-larning nomi	Nomi	Kattalikning o'lchov birligi	
		Belgisi	Ta'rifi
Asosiy birliklar			
Yorug'lik kuchi	kandela	kd	101 325 Pa bosim ostidagi platinaning qotish temperaturasiga teng temperatura-da to'la nurlangich (absolut qora jism)ning $\frac{1}{600000}$ m ² kesimidan shu kesimga perpendikulyar yo'nalishda chiqayotgan yorug'lik kuchini 1 <i>kandela</i> deb qabul qilingan.
Qo'shimcha birliklar			
Yassi burchak	radian	rad	Aylanada uzunligi radiusga teng bo'lgan yoini ajratadigan ikki radius orasidagi burchak 1 <i>radian</i> deb qabul qilingan.
Fazoviy burchak	steradian	sr	Uchi sfera markazida joylashgan va shu sfera sirtidan radius kvadratiga teng yuzli sirtini ajratuvchi fazoviy burchak 1 <i>steradian</i> deb qabul qilingan.

O'qli va karrali birliklar hosil qilish uchun SI da qo'llaniladigan ko'paytuvchilar va old qo'shimchalar hamda ularning nomlari

1000 000 000 000=10 ¹²	Old qo'shimcha	Belgisi
1 000 000 000 000 = 10 ¹²	tera	T
1 000 000 000 = 10 ⁹	giga	G
1 000 000 = 10 ⁶	mega	M
1 000 = 10 ³	kilo	k
1 00 = 10 ²	rekto	h
10 = 10 ¹	deka	da
0,1 = 10 ⁻¹	detsi	d
0,01 = 10 ⁻²	santi	s
0,001 = 10 ⁻³	milli	m
0,000 001 = 10 ⁻⁶	mikro	μ
0,000 000 001 = 10 ⁻⁹	nano	n
0,000 000 000 001 = 10 ⁻¹²	piko	p
0,000 000 000 000 001 = 10 ⁻¹⁵	femto	f
0,000 000 000 000 000 001 = 10 ⁻¹⁸	atto	a

I z o h. Old qo'shimchalar shunday tanlanadiki, kattaliklarning son qiymatlari 0,1 ... 1000 chegarasida bo'lishi kerak.

BIRLIKLARNING XALQARO BELGILANISHI

Birlik nomi	Belgilanishi	Birlik nomi	Belgilanishi	Birlik nomi	Belgilanishi
Amper	A	Kaloriya	cal	Radian	rad
Angstrom	\AA	Kandela	cd	Rentgen	R
Ar	a	Kilogramm	kg	Rezerford	RD
Atmosfera, fizik	Atm	Kulon	C	Santimetr	sm
Bekkerel	Bq	Kyuri	Ci	Sekund	s
Dioptriya	D	Litr	l	Simens	S
Farada	F	Lyuks	lx	Soat	h
Funt	lb	Lyumen	lm	Steradian	sr
Fut	ft	Metr	m	Tesla	T
Gektar	ha	Mikro	μ	Tonna	t
Genri	H	Minut	min	Vatt	W
Gerts	Hz	Mo'l	mo'l	Veber	Wb
Grey	Gy	Nit	nt	Volt	V
Joul	J	Nyuton	N	Kelvin	K

Javoblar

1. 6,4 m; 4m; -5 m. 2. $\approx 3,6 \frac{m}{s}$; $s = v \cdot t$. 3. 216 m; $21 \frac{m}{s}$. 4. $1,75 \frac{m}{s^2}$.
5. $7,1 \frac{m}{s}$. 7. 0,4 m; 5,2 m; 18 m. 8. $2 \frac{m}{s}$; $8 \frac{m}{s}$. 9. $8 \frac{m}{s}$; $0,8 \frac{m}{s^2}$, $-1,6 \frac{m}{s^2}$;
15 s; $4 \frac{m}{s}$. 10. ≈ 10 s; $100 \frac{m}{s}$. 11. $\approx 0,5$ s. 12. 2,2 s. 13. 14,7 m. 14. 78,4 m;
 $39,2 \frac{m}{s}$. 15. $2,7 \cdot 10^{-3} \frac{m}{s^2}$. 16. $3,2 \frac{pad}{s^2}$. 17. $32 \frac{m}{s}$; $228 \frac{m}{s}$. 18. 20 m. 19. 4 s,
80 m; 8 s, 240 m. 20. $\sim 30 \frac{m}{s}$; 34,4 m. 21. $\sim 10,4 \frac{m}{s}$; $12 \frac{m}{s}$; 30° . 22.
 $800 \frac{kg}{m^3}$. 23. 0,26 kg; 0,09 kg. 24. ~ 66 m. 25. $\sim 8,3 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$. 26. 10^{-4} mN;
0,1 kN; 10^5 mN. 27. 74 N. 28. $4 \cdot 10^3$ N. 29. 98 kg. 30. 10 marta. 31. 0,2 kg.
32. $1,2 \frac{m}{s}$. 33. $2 \cdot 10^7 kg \cdot \frac{m}{s}$; $2 \cdot 10^5$ N. 34. 510 m. 35. ~ 25 N; ~ 8 N; ~ 12000
N; $\sim 0,5$ N. 36. 153 N. 37. 1078 N. 39. 0,041. 40. ~ 1225 kg. 41. ~ 65 m. 42.
100 N. 43. 10^{-2} m. 44. 25 N. 45. 220 N; 380 N; 430 N. 46. $1,35 \cdot 10^{-3}$ m. 47.
 $k \geq 0,03$. 48. 0,33 N. 49. ~ 18 m. 50. 2,8 kN; 4,2 N. 51. $1,2 \cdot 10^4$ kg. 52.
 $8,5 \frac{m}{s^2}$. 53. ~ 2600 km. 54. ~ 28 marta. 55. ~ 700 N; ~ 900 N; ~ 700 N. 56.
 $10 \frac{m}{s}$. 57. $1,7 \cdot 10^3 \frac{m}{s}$; 1 soat 50 minut. 58. $-12,5 \frac{m}{s}$. 59. $0,04 \frac{m}{s}$ ga
kamayadi. 60. 620 m. 61. 500 N. 62. $4,3 \cdot 10^3$ J. 63. $\sim 5 \cdot 10^3$ J. 64. $5 \cdot 10^4$ J. 65.
 $\sim 35 \cdot 10^3$ J. 66. $1,3 \cdot 10^6$ J; $6,5 \cdot 10^3$ W. 67. 15 min. 68. 58,8 J. 69. 0,2. 70.
 $4,8 \cdot 10^3$ N. 71. 8,5 m. 72. $74 \cdot 10^3$ kg. 73. $u_1 = 0,6 \frac{m}{s}$; $u_2 = 2,6 \frac{m}{s}$; $u_1 =$
 $u_2 = 1,8 \frac{m}{s}$. 74. 7,5 J. 75. 500 N, 76. 400 N. 77. 50 N; ~ 87 N. 78.
5,8 N; 11,6 N. 79. O'rtasidan 1,5 m masofada yengil bola tomonga. 80.
 ~ 30 N. 81. 200 N; 400 N. 82. Ikkinchi uchi tomon 0,2 m ga ko'chadi. 83.

$9,8 \cdot 10^{37} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. **84.** 4 N. **85.** $9,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. **86.** 0,1 J. **87.** $31,6 \frac{1}{\text{s}}$. **88.** 1,92 J. **89.**
 90 marta; 100 marta. **90.** 29,4 kN. **91.** 4,9 kPa; 3,9 kPa; 66,6 kPa. **92.**
 $\sim 40 \text{ m}$. **94.** 27,2 mm. **95.** $0,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. **96.** 0,02 m. **97.** $\sim 460 \text{ m}$. **98.**
 $2,5 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. **99.** $0,7 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. **100.** Ha. **101.** $1,53 \text{ m}^2$. **102.** $0,14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. **103.**
 $1,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. **104.** 63 N. **105.** 60 J. **106.** $1,09 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$. **107.** $1,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$. **108.** $2,5 \cdot 10^5$
 Pa. **109.** $4,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. **110.** $\sim 3,3 \cdot 10^{-21} \text{ kg}$; $5,3 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$. **111.** $2,7 \cdot 10^{25} \text{ dona}$. **112.**
 $3,3 \cdot 10^{22} \text{ dona}$. **113.** $1,1 \cdot 10^{-9} \text{ m}$. **114.** $11,2 \text{ m}^3$. **115.** $2,7 \cdot 10^{28} \text{ dona}$. **116.**
 $628 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; $584 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; $515 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. **117.** 82 K. **118.** $423 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. **119.** $0,8 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. **120.**
 $\sim 12,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. **121.** a) (1–2)—izoterma, (2–3)—izobara; b) (1–2)—
 izobara; (2–3)—izoterma. **122.** $1,41 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. **123.** $\sim 5,7 \cdot 10^{-21} \text{ J}$. **124.** $22,5 \cdot 10^{15}$.
125. $\sim 77,3 \text{ kg}$. **126.** $\sim 40 \text{ kg}$. **128.** $4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. **129.** $\approx 614 \text{ J}$. **130.** 4,5 kJ. **131.**
 312 J, 208 J. **132.** 1,5 kJ; 2,25 kJ; 3,75 kJ. **133.** 750 J. **134.** $29,2 \cdot 10^3 \text{ J}$. **135.**
 $2,3 \cdot 10^2 \text{ kJ}$; $22,3 \cdot 10^2 \text{ kJ}$. **136.** 328,5 K. **137.** 300 K. **138.** 10^3 m . **139.** 100 J.
140. $510 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. **141.** 784 kJ. **142.** 196 kJ. **143.** 34%; 489 K. **144.** $\sim 4,15 \cdot 10^2$
 kJ. **145.** 80 kJ; $2,2 \cdot 10^2 \text{ kJ}$. **146.** Suv muzlaganda uning zichligi kamayadi
 va natijada zichligi kichik bo‘lgan muz suv sirtida bo‘ladi. **147.** Suvning
 bug‘lanish energiyasi ochiq havzadagi suvning ichki energiyasi hisobidan
 bo‘ladi. **148.** Bug‘lanish ortishi natijasida atmosferadagi suv bug‘larining
 bosimi ortadi. **149.** 292 K. **150.** $\sim 1,3 \text{ MJ}$. **151.** $22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$. **152.** $8,2 \cdot 10^{-}$
 $2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. **153.** 0,22 N. **154.** $0,54 \cdot 10^{-3} \text{ J}$. **155.** $2,3 \cdot 10^{-3} \text{ J}$. **156.** 4,1 sm. **157.**
 999 mm sim. ust. **158.** $1,2 \cdot 10^5 \text{ J}$. **159.** $\sim 34 \text{ km}$. **160.** $43,5 \cdot 10^4 \text{ J}$. **161.** 15,4
 MJ. **162.** $3,35 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. **163.** $7,1 \cdot 10^4 \text{ N}$. **164.** $1,8 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}$.

FOYDALANILGAN ADABIYOT

1. Strelkov S. P. Mexanika. Toshkent, „O‘qituvchi“, 1977.
2. Архангельский М. М. Курс физики. Механика. М., „Учпедгиз“, 1961.
3. Frish S. E., Timoreva A. V. Umumiy fizika kursi. I tom, Toshkent, „O‘qituvchi“, 1965.
4. Savelev I. V. Umumiy fizika kursi. I tom, Toshkent, „O‘qituvchi“, 1973.
5. Grabovskiy R. I. Fizika kursi. Toshkent, „O‘qituvchi“, 1973.
6. Kikoin A. K., Kikoin I. K. Molekulyar fizika. Toshkent, „O‘qituvchi“, 1978.
7. Гершензон Е. М., Малов Н. Н., Мансуров А. Н., Эткин В. С. Курс общей физики. Молекулярная физика. М., „Просвещение“, 1982.
8. Кудрявцев Б. Б. Курс физики. Теплота и молекулярная физика. М. „Просвещение“, 1965.
9. Vitko N. D. Fizika, 1- va 2- qismlar. Toshkent, „O‘qituvchi“, 1973.
10. Яворский Б. М., Пинский А. А. Основы физики, I том. М., „Наука“, 1981.
11. Элементарный учебник физики, I том. Под ред. акад. Ландсберга Г. С. М., „Наука“, 1975.
12. Jdanov S. P. Fizika kursi. Toshkent, „O‘qituvchi“, 1980.
13. Гурский И. П. Элементарная физика с примерами решения задач. М., „Наука“, 1984.
14. Pyorishkin A. V. Fizika kursi. 1- qism. Toshkent, „O‘qituvchi“, 1968.
15. Pyorishkin A. V. Fizika kursi. 2- qism. Toshkent, „O‘qituvchi“, 1969.
16. Demkovich V. P., Demkovich L. P. Fizikadan masalalar to‘plami. Toshkent, „O‘qituvchi“, 1975.
17. Rimkevich A. P. Fizikadan masalalar to‘plami. Toshkent, „O‘qituvchi“, 1991.
18. Volkenshteyn V. S. Umumiy fizika kursidan savol va masalalar to‘plami. Toshkent, „O‘qituvchi“, 1982.

19. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami: M. S. Sedrik tahriri ostida, Toshkent, „O'qituvchi“, 1991.
20. O'Imasova M. H., Kamolov J., Lutfullayeva T. Fizika. Mexanika, molekulyar fizika va issiqlik. Toshkent, „O'qituvchi“, 1997.
21. Usmonov T. Fizika. IX sinf uchun qo'shimcha darslik. Toshkent, „O'qituvchi“, 1993.
22. Храмов Ю. А. Физики. Биографический справочник. М., „Наука“, 1983.
23. Кудрявцев П. С. Курс истории физики. М., „Просвещение“, 1982.
24. Yosh fizik. Ensiklopedik lug'at. „O'z ME“ Davlat ilmiy nashriyoti. T., 1989.

TAVSIYA ETILADIGAN ADABIYOT

1. Suyarov Q. va boshq. Fizika. „O'qituvchi“, T., 2002.
 2. G'aniyev A. G., Avliyoqulov A. K va boshq. Fisika. I qism. „O'qituvchi“, T., 2003.
 3. No'monxo'jayev A. va boshq. Fizika, I. „O'qituvchi“ T., 2002.
 4. Nurmatov J. va boshq. Fizika. Laboratoriya ishlari. „O'qituvchi“, T., 2003.
 5. Tursunmetov K. A. va boshq. Fizikadan praktikum. „O'qituvchi“, T., 2002.
 6. Tursunmetov K.A. va boshq. Fizikadan masalalar to'plami. „O'qituvchi“, T., 2003.
-

MUNDARIJA

Kirish	3
1- §. Fizika va tabiiy fanlar orasidagi bog‘lanish	5
2- §. Fizika taraqqiyoti tarixidan	6
3-§. Umumiy mulohazalar va ba’zi tushunchalar	15
MEXANIKA	18
I bob. KINEMATIKA	18
4- §. Mexanik harakat va uning nisbiyligi. Fazo va vaqt	18
5- §. Nyuton klassik mexanikasi va uning qo‘llanish chegarasi	20
6- §. Ba’zi matematik tushunchalar	22
7- §. Skalyar va vektor kattaliklar. Vektorlar ustida bajariladigan ba’zi amallar	25
8- §. Fizik kattaliklarni skalyar va vektor ko‘rinishida yozish	32
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	34
9- §. Sanoq sistemasi. Inersial va noinersial sanoq sistemalari	35
10- §. Tezliklarni qo‘shish. Nyuton mexanikasida nisbiylik prinsipi	37
11- §. Moddiy nuqta. Trayektoriya. Ko‘chish va yo‘l	40
12- §. Tezlik. O‘rta va oniy tezliklar	42
13- §. Tezlanish	44
14- §. To‘g‘ri chiziqli tekis harakat va uning harakat tenglamasi. Tezlik va yo‘l grafiklari	46
15- §. To‘g‘ri chiziqli tekis harakat koordinatasining vaqtga bog‘liqlik grafigi	48
16- §. To‘g‘ri chiziqli o‘zgaruvchan harakat. Tezlik va tezlanish grafiklari	50
17- §. Tekis o‘zgaruvchan harakatning tenglamasi. Yo‘l grafigi	53
18- §. Tekis tezlanuvchan harakatda tezlik grafigidan yo‘l formulasini keltirib chiqarish	54
19- §. Jismlarning erkin tushishi	56
20- §. Yuqoriga tik otilgan jismning harakati	58

21- §. To'g'ri chiziqli tekis o'zgaruvchan harakatda koordinataning vaqtga bog'liqlik grafigi. Trayektoriya tenglamasi	60
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	63
<i>Masala yechish namunalari</i>	64
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	70
22- §. Egri chiziqli harakat. Aylana bo'ylab tekis harakat. Chiziqli va burchak tezliklar	71
23- §. Chiziqli tezlik bilan burchak tezlik orasidagi bog'lanish. Aylanish davri va aylanish chastotasi	73
24- §. Jismning aylana bo'ylab tekis harakatidagi tezlanish (Markazga intilma tezlanish...)	76
25- §. Aylanma harakatni uzatish	78
26- §. Aylana bo'ylab tekis o'zgaruvchan harakat. Burchak tezlanish. Tangensial tezlanish. To'la tezlanish	82
27- §. Harakatlarning mustaqillik prinsipi	84
28- §. Gorizontga nisbatan burchak ostida otilgan jismning harakati ...	86
29- §. Gorizont otilgan jismning harakati	88
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	90
<i>Masala yechish namunalari</i>	91
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	95
II bob. DINAMIKA	96
30- §. Kuch. Mexanikada kuchlarning turlari	96
31- §. Nyutonning birinchi qonuni	97
32- §. Jismning massasi va zichligi	99
33- §. Nyutonning ikkinchi qonuni	101
34- §. Massa, zichlik va kuchning birliklari	104
35- §. Kuchlar ta'sirining mustaqillik qonuni	105
36- §. Jism impulsi. Kuch impulsi	107
37- §. Nyutonning uchinchi qonuni	109
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	110
<i>Masala yechish namunalari</i>	111
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	116
38- §. Og'irlik kuchi va jismning og'irligi	117
39- §. Elastiklik kuchi. Guk qonuni	118

40- §. Kuchlanishning deformatsiyaga bog‘liqligi	122
41- §. Ishqalanish kuchlari	124
42- §. Ilgarilanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasi	128
43- §. Jismlarning ilgarilanma harakatiga Nyuton qonunlarining tatbiqi	130
44- §. Markazga intilma kuch	132
45- §. Markazga intilma kuchning ta’siriga ba’zi misollar	135
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	137
<i>Masala yechish namunalari</i>	138
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	147
46- §. Butun olam tortishish qonuni. Gravitatsion va inert massa	149
47- §. Yer aylanma harakatining erkin tushish tezlanishiga ta’siri	152
48- §. Erkin tushish tezlanishining balandlikka qarab o‘zgarishi	155
49- §. Tezlanish bilan harakatlanayotgan jismning og‘irligi. Vaznsizlik	156
50- §. Sayyora va sun’iy yo‘ldoshlarning harakati. Kosmik tezliklar ...	159
51- §. Yopiq sistema. Impulsning saqlanish qonuni	163
52- §. Reaktiv harakat. K. E. Siolkovskiy—reaktiv harakat asoschisi	166
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	169
<i>Masala yechish namunalari</i>	169
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	174
III bob. ISH, QUVVAT VA ENERGIYA	175
53- §. Mexanik ish va uning birliklari	175
54- §. Quvvat va uning birliklari	177
55- §. Mexanik energiya. Kinetik va potensial energiya	179
56- §. Jismga qo‘yilgan kuchning bajargan ishi bilan kinetik energiya o‘zgarishi orasidagi bog‘lanish	181
57- §. Og‘irlik kuchining bajargan ishi bilan potensial energiya o‘zga- rishi orasidagi bog‘lanish	182
58- §. Elastiklik kuchining bajargan ishi. Elastik deformatsiyalangan jismning potensial energiyasi	183
59- §. Mexanik energiyaning saqlanish va bir turdan ikkinchi turga aylanish qonuni	185
60- §. Mexanizmlarning foydali ish koeffitsienti	188
61- §. Elastik va noelastik urilishga energiya va impulsning saqlanish qonunlarining tatbiqi	190

<i>Takrorlash uchun savollar</i>	194
<i>Masala yechish namunalari</i>	195
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	201
IV bob. STATIKA ELEMENTLARI	202
62- §. Kuchlarni qo‘shish. Teng ta’sir etuvchi kuch	203
63- §. Ikki parallel kuchning teng ta’sir etuvchisi	205
64- §. Kuchlarni ikkita tarkibiy qismlarga ajratish	208
65- §. Qattiq jismning harakati	209
66- §. Kuchlar ta’sirida jismning muvozanat shartlari	211
67- §. Kuch momenti. Juft kuchlar momenti	214
68- §. Kuch momentlarini qo‘shish. Aylanish o‘qiga biriktirilgan jismning muvozanat shartlari	216
69- §. Qattiq jism muvozanatining umumiy sharti	218
70- §. Jismlarning massa markazi	219
71- §. Qattiq jismning muvozanat turlari	221
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	224
<i>Masala yechish namunalari</i>	225
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	229
72- §. Moddiy nuqtaning inersiya momenti. Impuls momenti. Aylanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasi	231
73- §. Ba’zi jismlarning inersiya momenti	235
74- §. Aylanma harakat qilayotgan jismning kinetik energiyasi	236
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	238
<i>Masala yechish namunalari</i>	238
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	242
V bob. SUYUQLIK VA GAZLAR STATIKASI	242
75- §. Suyuqlik va gazlarning bosimi. Bosim birliklari	243
76- §. Suyuqlik va gazlar uchun Paskal qonuni	246
77- §. Gidravlik pressning ishlash prinsipi	248
78- §. Suyuqlikning idish tubiga va devorlariga bosimi	250
79- §. Gidrostatik paradoks	252
80- §. Tutash idishlar qonuni	254
81- §. Suyuqlik va gazlar uchun Arximed qonuni	256
82- §. Jismlarning suzish shartlari	257
83- §. Atmosfera bosimi. Torrichelli tajribasi	259
84- §. Bosimni o‘lchash	261

<i>Takrorlash uchun savollar</i>	263
<i>Masala yechish namunalari</i>	263
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	267
85- §. Suyuqlik va gazlarning oqishi. Uzlüksizlik tenglamasi	268
86- §. Harakatlanayotgan suyuqlik va gazlarda bosim. Bernulli tenglamasi	271
87- §. Qovushoq suyuqlikning oqishi. Puazeyl qonuni	273
88- §. Qovushoq suyuqlikda jismning harakati. Stoks formulasi	275
89- §. Samolyot qanotining ko'tarish kuchi	277
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	279
<i>Masala yechish namunalari</i>	279
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	283

MOLEKULAR FIZIKA VA ISSIQLIK 284

VI bob. MODDA TUZILISHINING MOLEKULAR-KINETIK NAZARIYASI ASOSLARI 286

90- §. Molekulyar-kinetik nazariyaning asosiy qoidalari va ularning eksperimental asoslari	286
91- §. Molekula va atom o'lchamlari	289
92- §. Molekulalar massasi. Modda miqdori. Avogadro soni	290
93- §. Gaz, suyuq va qattiq holatdagi modda molekulalarining harakati haqida. Molekulalarning o'zaro ta'siri	294
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	295
<i>Masala yechish namunalari</i>	295
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	298
94- §. Molekulyar fizikani o'rganishning statistik va termodinamik usullari	298
95- §. Temperatura va uni o'lchash	299
96- §. Ideal gaz holati	301
97- §. Ideal gazlar molekulyar-kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi	302
98- §. Ideal gaz bosimining temperaturaga bog'liqligi. Bolsman doimiysi. Loshmidt soni	306
99- §. Dalton qonuni	308
100- §. Gaz molekulalarining tezligi. Maksvell taqsimoti	309
101- §. Gaz molekulalarining tezligini o'lchash. Shtern tajribasi	311

102- §. Klapeyron—Mendeleyev tenglamasi. Universal gaz doimiysi	313
103- §. Gaz qonunlari	314
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	319
<i>Masala yechish namunalari</i>	319
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	324
VII bob. TERMODINAMIKA ELEMENTLARI	325
104- §. Ichki energiya	325
105- §. Erkinlik darajalari soni	326
106- §. Ideal gazning ichki energiyasi	329
107- §. Issiqlik almashinish va ish bajarish—jism ichki energiyasi o'zgarishining ikki ko'rinishidir	331
108- §. Issiqlik almashinuv turlari	333
109- §. Termodinamikaning birinchi qonuni	334
110- §. Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ish	335
111- §. Termodinamikaning birinchi qonunini gaz jarayonlariga tatbiq etish	336
112- §. Adiabatik jarayon	338
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	340
<i>Masala yechish namunalari</i>	340
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	343
113- §. Moddalarning issiqlik sig'implari	344
114- §. Issiqlik balansi tenglamasi	345
115- §. Gazlarning o'zgarmas hajmdagi va o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi. Mayer formulasi	346
116- §. Qaytar va qaytmas jarayonlar haqida tushuncha	349
117- §. Karno sikli. Issiqlik mashinalari.	351
118- §. Sovitkich mashinalar	354
119- §. Issiqlik dvigatellari	355
120- §. Issiqlik dvigatellari va atrof-muhitni himoya qilish	359
121- §. Termodinamikaning ikkinchi qonuni	360
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	361
<i>Masala yechish namunalari</i>	361
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	365

VIII bob. MODDA AGREGAT HOLATINING O'ZGARISHI	366
122- §. Moddaning suyuq holati	366
123- §. Bug'lanish va kondensatsiya	367
124- §. To'yingan va to'yinmagan bug', ularning xossalari	369
125- §. Real gazlar. Van-der-Vaals tenglamasi. Real gaz izotermsi. Kritik holat	371
126- §. Real gazlarning eksperimental izotermalari. Endryus tajribasi. Gazlarni suyultirish	373
127- §. Qaynash	376
128- §. Qaynash temperaturasining bosimga bog'liqligi	377
129- §. Havoning namligi	378
130- §. Namlikni o'lchash	379
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	382
<i>Masala yechish namunalari</i>	382
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	386
131- §. Suyuqlikning sirt tarangligi. Sirt qatlam energiyasi	386
132- §. Ho'lovchi va ho'llamaydigan suyuqliklar. Kapillyarlik hodisasi	390
133- §. Qattiq jismlar. Kristall va amorf jismlar	393
134- §. Qattiq jismlarda deformatsiya. Deformatsiya turlari	395
135- §. Amorf metallar va amorf yarimo'tkazgichlar haqida tushuncha	398
136- §. Polimerlar va ularning qo'llanishi	399
137- §. Kristallarda nuqsonlar. Dislokatsiya	401
138- §. Erish. Solishtirma erish issiqligi	404
139- §. Suyuq kristallar haqida tushuncha	407
140- §. Qattiq jismlarning va suyuqliklarning issiqlikdan kengayishi	409
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	412
<i>Masala yechish namunalari</i>	412
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	417
Ilova	418
Javoblar	421
Foydalanilgan adabiyot	423
Tavsiya etiladigan adabiyot	424

O'Imasova M.X.

Mexanika va molekulyar fizika: Akademik litseylar uchun qo'llanma.2-nashri — T,: „O'qituvchi“, 2004. — 432 bet.

Sarlavhada: O'zR Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi, O'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi markazi, O'rta maxsus, kasb-hunar ta'limini rivojlantirish instituti.

BBK. 22.2ya721+22.36ya721

Muhabbat Xamdamovna O'Imasova

MEXANIKA VA MOLEKULYAR FIZIKA

Akademik litseylar uchun o'quv qo'llanma

Tuzatilgan 2- nashri

Toshkent „O'qituvchi“ 2004

Muharrirlar: *X. Alimov, O'. Husanov,*
M. Po'latov

Rasmlar muharriri *M. Kudryashova*

Texnik muharrir *S. Tursunova*

Kompyuterda sahifalovchi *N.Ahmedova*

Musahhihlar: *Z. Sodiqova, M. Ibrohimova*

IB № 8404

Original-makëtdan bosishga ruxsat etildi 16.08.2004. Bichimi 60x84^{1/16}.
Kegli II shponli. Tayms garn. Ofset bosma usulida
bosildi. Bosma t. 27,0. Shartli b.t. 25,11. Nashr t. 22,8.
3814 nusxada bosildi. Buyurtma №351.

„O'qituvchi“ nashriyoti. Toshkent, 700129. Navoiy ko'chasi, 30.
Shartnoma 09—132—04

O'zbekiston Matbuot va axborot agentligining Toshkent kitob-jurnal fabrikasi. Toshkent, Yunusobod dahasi, Murodov ko'chasi, 1. 2004.