

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS
TA‘LIM VAZIRLIGI
“TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ XO‘JALIGINI
MEXANIZATSIYALASH MUHANDISLARI INSTITUTI” MTU**

«FIZIKA VA KIMYO» KAFEDRASI

Beknozarova Zamira Farmanovna

Misirov Shirazi Choriyevich

F I Z I K A

(Mexanika, molekulyar va termodinamika, I-qism)

D A R S L I K

TOSHKENT – 2023

*Ushbu darslik, Milliy tadqiqot universiteti rektorining 202__ yil _____dagi
_____ - sonli buyrug‘i asosida chop etishga tavsiya etildi.
Ruyxatga olish raqami ____ a/f - ____*

Tuzuvchilar: Beknozarova Zamira Farmanovna — “Toshkent Irrigatsiya va Qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy tadqiqotlar Universiteti “Fizika va kimyo” kafedrasida dotsent v.b. pedagogika fanlari bo‘yicha falsafa doktori.

Misirov Shirazi Choriyevich— O‘zbekiston Respublikasi Qurolli Kuclari Akademiyasi Tabiiy fanlar kafedrasida dotsent, texnika fanlari nomzodi.

Taqrizchilar: U.R.Rustamov – Chirchiq Davlat pedagogika Universiteti ”Fizika va oq‘itish metodikasi” kafedrasida dotsent v.b. fizika-matematika fanlari nomzodi.

SH. Shoyusupov – “TIQXMMI”, MTU dotsenti.

**“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash
muxandislari instituti” MTU - 2023 yil**

ANNOTATSIYA

Ushbu darslik, "TIQXMMI" MTU rektori tomonidan tasdiqlangan fan dasturlari asosida yozilgan bo'lib, barcha bakalavriyatning texnika ta'lim yo'nalishlarida tahsil olayotgan oliy talim muassasasi talabalari uchun mo'ljallangan. Darslikda, umumiy fizika kursining mexanika, molekulyar va termodinamika asoslari bo'limlariga tegishli nazariy ma'lumotlar, masala yechilish namunalari va fizikaviy o'zgarmas kattaliklar berilgan. Har bir bob kasbiy yo'naltirilgan nazorat savollari bilan yakunlangan.

ANNOTATION

The textbook is written on the basis of scientific programs approved by the rector of MTU "TIKKhMMI" and is intended for students of higher educational institutions studying in all areas of undergraduate technical education. The textbook contains theoretical information, examples of problem solving and physical invariants related to the sections of mechanics, molecular and thermodynamics of the general physics course. Each chapter ends with professionally oriented review questions.

АННОТАЦИЯ

Учебник написан на основе научных программ, утвержденных ректором МТУ «ТИКХММИ» и предназначен для студентов высших учебных заведений, обучающихся по всем направлениям бакалавриата технического образования. Учебник содержит теоретические сведения, примеры решения задач и физические инварианты, относящиеся к разделам механики, молекулярной и термодинамики курса общей физики. Каждая глава заканчивается профессионально ориентированными контрольными вопросами.

SO‘Z BOSHI

Darslik keng qamrovli tarzda yozilgan bo‘lib, nazariyaning mazmuniy ifodasii barcha texnik yo‘nalishdagi talabalar uchun ham tushunarli. Fizika to‘g‘risida uning asosiy zamonaviy ilm-fan sifatidagi yaxlit tushunchasini shakllantiradi. Darslikda ko‘plab amaliy misollar mavjud bo‘lib, ularning aksariyati fizik jarayonlarning texnikadagi va harbiy ishdagi har xil qo‘llanilishlari amalga oshirilishini ochib beradi, bu esa, birinchi navbatda kursantlarda, hamda o‘qituvchilarda fanga qiziqish o‘yg‘otadi.

Darslik rivojlantiruvchi va muammoli ta‘lim usullarini qo‘llagan holda jonli, qulay tilda yozilgan: ifoda etishning diologik xarakteri, savollar va kichik masalalarning suhbatdosh tabiatiga mosligi, amaliyotdan qiziqtiruvchi misollar va boshqalar. Har bir bob kasbiy yo‘naltirilgan nazorat savollari, masalalar va ularni yechish namunalari bilan yakunlangan.

Darslik davlat ta‘lim standarti tomonidan oliy talimda mutaxassislar tayyorlash uchun belgilangan o‘quv adabiyotlariga qo‘yilgan dolzarblik talablariga javob beradi. Fizika fani inson ilmiy tasavvurining eng ajoyib yutuqlaridan biridir. XX asrda yuzaga kelgan qurollanish poygasi tufayli fizika shunday ulkan kuch va aql sohiblarini birlashtirdiki, ular amalga oshirgan ishlarni zo‘rg‘a tavsiflash mumkin. Bunday hodisalar kelajakda yana takrorlanishi ham mumkin. Shunga o‘xshash XXI asr boshlarida texnologiyalar rivojlanishini belgilashda yuzaga kelgan mujassamlashgan kuchlar, intellektual kuchlar konsentratsiyasi tufayli sodir bo‘lmadi. Ularning yuzaga kelishini yarim empirik formulalar yordamida hisoblash ishlarini amalga oshirgan juda quvvatli kompyuterlarning yaratilishi va texnologik jarayonlarga qo‘llanilishi bilangina yuzaga kelgan intellektual tahliliy fan(kibernetika)ning yaratilganligi bilan tushuntirish mumkin.

Atrofdagi olamni bilish, tushunish uchun inson doimo o‘qish va izlanishda. Hozirgi kunga qadar fizika, boshqa harqanday maxsus tahliliy fanlardan kam bo‘lmagan holda, insonning olamni bilishi va tushunishiga katta yordam berib kelmoqda.

Fizikani ilmiy tajribaga asoslangan fan deb atash qabul qilingan, haqiqatdan ham u, g‘oyat ko‘p sonli ajoyib tajribalarga asoslanadi. Ammo, shunisi ham ancha muhimki, fizika nazariy fan ham hisoblanadi. Aynan fizikada turli hayotiy sohalaridagi hodisalar va o‘zgarishlarning yuzaga kelish sabablari, aloqalari, mexanizmlari va oqibatlarini tahlil etuvchi noyob ilmiy apparat yaratilgan.

Fizika - nafaqat uning qonunlari, balki bu qonunlarning texnikada qo‘llanilishi hamdir. Fizikani alohida holda o‘rganish uni qo‘llash sohalaridan yaxlit ajratilgan

holda qarash ta'lim vazifalariga mos kelmaydi, va aksincha: texnik tizimlarni ularning harakat tamoyillari va qonuniyatlari darajasida o'rganish fizikani o'rganishning davomi hisoblanadi. Noma'lum narsani ochib beradigan fizikaviy tajriba bir necha bor takroriy amalga oshiriladi. Shu bilan birga, u har xil yordamchi, o'lchash va ko'rsatkich asboblari tomonidan o'lchanadi. Shu bilan birga, uning natijalariga asoslangan texnika allaqachon keraksiz narsalardan xoli qilingan va takroriy foydalanishga mo'ljallangan boladi. Aslida, har qanday texnik vosita bu amalda fizik tajribaning amalga oshirilishidir. Masalan, avtomobil - mujassamlangan, amaliy fizika.

Avtomobil dvigateli silindrlarida porshenlar harakatining g'ildiraklarning aylanishiga aylanishi fizikaning "Mexanika" bo'limida o'rganilgan qonunlarni amalga oshirishdir. Porshenlarning harakati "Molekulyar fizika" va "Termodinamika" bo'limlarida o'rganilgan gazlarning kengayishining natijasidir.

Gazlarning kengayishi — bu yoqilg'i yonishining natijasi bo'lib, u avtomobil o't oldirish tizimi svechasidan uchqun chiqishi oqibatida yuzaga ktladi. U "Elektromagnetizm" bo'limida o'rganiladigan elektromagnit hodisalar natijasida hosil bo'ladi.

Dvigatel slindridagi porshen, avtomobil tanasi, dvigatel qismlari, va osmalar mexanik tebranishlarni boshdan kechiradi, bu tebranishlar elastik to'liqlar sifatida bir nuqtadan boshqasiga uzatiladi, faralar yorug'ligi va radioqabulqilish elektromagnit to'liqlarga taalluqli bo'lib, "Tebranishlar va to'liqlar" bo'limida o'rganiladi. O'toldirish tizimidagi elektromagnit jarayonlar va elektromagnit to'liqlar yarim o'tkazgichli qurilmalar yordamida shakllantiriladi, bu hodisalar "Kvant fizikasi" bo'limida o'rganiladi. Boshqa harqanday texnik qurilmalar, kompyuterlar tizimlarida, raketalarda, yo'naltirish tizimlarida, himoyada, aloqada, niqoblashda va boshqalarning asosida ham fizika fani mavjud. Texnikada faqatgina ilmiy-texnik g'oyalarni joriy qilish bilangina emas, balki ularni faol rag'batlantirmoqda ham. Bunga yorqin tarixiy misol sifatida, ikkinchi jahon urushi yillari va undan keyingi yillarda yadro qurolini ishlab chiqishni olish mumkin.

Fizika darsliklari nafaqat ma'lum narsalarga yo'naltirilganligi bilan farq qiladi ta'lim dasturlari, shuningdek, o'quv materialining mazmuni, hajmi va chuqurligi. Shu sababli, ta'limning hozirgi tendentsiyasi bitta darslikdan boshqasiga o'tishni talab qilmoqda. Ushbu darslik ma'lum darajada silliq o'tishga yordam beradi, chunki uning mazmuni oliy kasbiy ta'lim muassasalarida fizika dasturlarini amalga oshirish uchun zarur bo'lgan bilimni beradi. Darslikning ushbu darajalari tarkibiy jihatdan bo'linmagan - har bir talaba yakka o'zi yoki o'qituvchi yordamida o'zining

murakkablik darajasini taxmin qilishi va kursni o'zlashtirishi bilan uni o'zgartirishi mumkin.

Ushbu darslik, asosan, texnika o'liy ta'lim muassasalari uchun mo'ljallangan, chunki fizika nafaqat har qanday texnikaning, balki dunyoqarashning ham universal asosidir. U har qanday faoliyatda zarur bo'lgan ongni tartibga soladi va tuzadi. Ushbu darslikdagi fizika kursining taqdimoti uning turli xil qurilmalar va jarayonlardagi ahamiyatiga oid ko'plab va turli xil misollar bilan birga keladi. Bu maxsus fikrlash uslubi va tabiiy dunyo va jamiyat haqidagi ilmiy qarashlarning shakllanishiga hissa qo'shadi. Muhandislik, texnologiya, kosmik, noorganik va organik moddalar tuzilmalarini o'rganish, ekologiya, aloqa, qurol-yarog' va boshqa ko'p narsalar ilmiy-texnik taraqqiyotga va insoniyat tarixiga ta'sir qiluvchi fizika vositalari va usullariga asoslangan.

Bu darslik uch qismdan iborat qilib tayyorlandi. Birinchi qism «Mexanika va molekulyar fizika» deb ataladi. Bu qism moddiy nuqta kinematikasi, moddiy nuqta dinamikasi, ish va energiya, qattiq jismning aylanma harakati kinematikasi va dinamikasi, garmonik va so'nuvchi tebranishlar, tebranishlarni qo'shish va majburiy tebranishlar, to'lqinlar, maxsus nisbiylik nazariyasi, molekulyar-kinetik nazariya va klassik statistik fizikaning asosiy qonun-qoidalari, Maksvel taqsimoti va molekulalarning o'ziga xos tezliklari. Barometrik formula. Bolsman taqsimoti, fizik kinetika elementlari va gazlardagi ko'chish hodisalari, termodinamikaning birinchi bosh qonuni, termodinamikaning ikkinchi bosh qonuni va entropiya, real gazlar, agregat holatlar va fazoviy o'tishlar bo'limlarini o'z ichiga oladi.

Darslik ixcham, ammo shu bilan birgalikda zamonaviy fizikaning barcha asosiy qonun va tushunchalari, ularning aloqalari hamda kelib chiqishi to'g'risida to'liq tasavvur beradi. Darslikda qoidalar, ta'riflar va fizik terminlar qiya bosma harflar bilan ajratib ko'rsatildi.

Mualliflar darslik qo'lyozmasini o'qib, uning sifatiga ijobiy ta'sir etgan, mazmunli maslahatlari uchun Nizomiy nomidagi Toshkent davlat pedagogika universiteti Fizika va astronomiya o'qitish metodikasi kafedrasida dotsenti, pedagogika fanlari nomzodi Bobomurod Nurullayevga, O'zbekiston Respublikasi Qurolli Kuclari Akademiyasi Tabiiy fanlar kafedrasida dotsenti, texnika fanlari nomzodi Mamarahim Israilovga chuqur minnatdorlik izhor etadi. Mazkur darslik mualliflarning ilmiy-pedagogik faoliyatida yozgan birinchi darsligi bo'lganligi sababli xato va kamchilliklardan xoli bo'lmasligi tabiiy, shuning uchun darslik to'g'risidagi fikr va mulohazalaringizni bildirsangiz minnatdor bo'lar edik.

Mualliflar.

KIRISH

Ilmiy-texnika taraqqiyotida, mamlakatni ijtimoiy-iqtisodiy rivojlan-tirishda fizika fanining o'рни.

Insoniyat qanday yangi texnika turini yaratmasin, u albatta fizika qonunlari bilan to'qnashadi. Birinchi artilleriya quroli yaratilganda snaryadning harakat qonunlarini, gazning kengayishi va metallar deformatsiyasi qonunlarini hisobga olishga to'g'ri kelgan. Birinchi suv osti kemasi yaratilganda, jismlarning suvda suzishi, tunda bulutlar ortida joylashgan havodagi nishonni aniqlash talab etilganda radio to'lqinlarning tarqalish va qaytish qonuniyatlarini bilish talab etilgan.

Fizika doimo oldingi safda, xuddi razvedkachidek, qurolsoz va konstruktorlarni zaruriy ma'lumotlar bilan ta'minlagan. Unga bu ma'lumotlarni olishda boshqa ancha tor soha fanlari ham yordam qo'llarini cho'zishgan albatta, biroq u hamisha asosiy muhim savollarga javob beruvchi bo'lib qolgan.

Asrimizning keyingi yillarida fizikaning bu roli yanada ortdi, u qurolli kurashning eng dahshatli vositasi bo'lgan yadro qurolini yaratish vazifasini deyarli to'liq o'z qo'lga oldi. Bu qurolning yaratilishi bilan birga raketa texnikasining hayratlanarli darajada tez va qudratli darajada rivojlanishi harbiy ishda revolyutsiyani keltirib chiqardi, harbiy harakatlarni olib borish uslublarini, qurolli kurash usullarini tubdan o'zgartirdi. Shuning uchun ham texnika revolyutsiyasining muhimligini, harbiy ishning istiqboldagi taraqqiyoti bashoratini zamonaviy fizikaning jangovar texnika va qurollarning yangi turlarini yaratishga bo'ladigan ta'sirisiz tassavur ham qilib bo'lmasligini chuqur anglash va tan olish zarur.

Texnik muhandislar tarkibini o'qitish va tarbiyalashda, fizik bilimlarning ahamiyati ulkandir. Boshqa tabiiy-ilmiy fanlar bilan birgalikda, ular muhandis kadrlarning ilmiy dunyoqarashinihg poydevori bo'lib xizmat qiladi, turli xildagi yangi texnikalar na'munalarini o'rganish ularga asoslanadi. Zamonaviy texnikadandan mohirlik bilan foydalanish, turli xildagi nosozliklarni tezda bartaraf etish faqatgina

sxemalar va yo'riqnomalar bilan yaxshi tanish bo'lgan muhandisning emas, balki barcha ish rejimlarida sodir bo'layotgan fizik jarayonlarni to'la va aniq tushungan texnik xizmatchining qo'lidan keladi. Yana shuni ta'kidlash lozimki, muhandis kadrlar uchun fizikadan chuqur bilim asoslarini egallash turli xil sharoitdagi faoliyat doirasida himoyasini tashkil etish uchun zarur.

Hozirgi kunda muhandislarning barchasida yuqori darajadagi texnik tayyorgarliksiz, fizika va matematika asoslarini bilmasdan zamonaviy texnikani malakali ishlatib bo'lmaydi.

Yangi texnologiyalar o'z navbatida insoniyat faoliyatining barcha sohalarini rivojlanishga olib kelishi hech shubhasizdir. Respublikamizda tabiatshunoslik ilmining asosi bo'lgan fizika fanining taraqqiyoti texnikaning taraqqiyotiga va davlatning ijtimoiy-iqtisodiy rivojlanishiga, mustahkamlanishiga xizmat ko'rsatadi.

Qadimgi sharq mutafakkir olimlarning fizika fanini rivojlantishga qo'shgan hissalar. O'zbekiston – ilm - fan va madaniyat qadimdan taraqqiy topgan mamlakatlardan biri bo'lib, astronomiya, matematika, tibbiyot, kimyo, to'qimachilik, me'morchilik, ma'daniyatshunoslik, kulolchilik, falsafa, adabiyotshunoslik yaxshi rivojlangan.

Muso al-Xorazmiy va Muhammad al-Farg'oniylar Bag'dod akademiyasi «Bayt ul-Hikmat» (Donolar uyi) da o'z tadqiqotlarini olib borganlar. Al-Xorazmiy 780 yilda Xivada tug'ilgan matematika, astronomiya, geografiya sohasida asarlar yaratgan. U «Al-jabr» (algebra) fani va algoritm tushunchasiga asos solgan. Uning «Hisob al-Hind» va «Astronomik jadvallar» asarlari o'n ikkinchi asrdayoq lotin tiliga tarjima qilingan. Al-Farg'oniy ham astronomiya, geografiya, matematika fani bilan shug'ullangan, u 790 yil Farg'onada tug'ilgan. Al-Farg'oniy Quyosh tutilishini oldindan hisoblab chiqqan, Yerning sharsimon ekanligini ilmiy asosda isbotlagan, meridian uzunligini hisoblagan, Nil daryosi oqimining tezligini o'lchash asbobini yasagan. Al-Forobiy 873 yilda Chimkent viloyatida tug'ilgan. Turli sohalarga oid 160 dan ziyod asarlar yozgan. Uni sharq Arastusi deb ataganlar.

«Donolar uyi» da falsafa, matematika va tib ilmlari muhokama qilingan. Buyuk mutaffakirlar Ibn Sino, Al-Beruniy, Abu Nasr Arroqlar ham akademiyaning aʼzolari boʻlishgan.

Al-Beruniy 973 yil Xorazmda tugʻilib, 1048 yilda Gaznada vafot etgan, birinchi globusni yasagan. U 150 dan ortiq kitob va risolalar yozgan. Geliosentrik tizimning yaratilishiga katta hissa qoʻshgan.

Abu Ali ibn Sino 980 yil Buxoro yaqinidagi Afshona qishlogʻida tugʻilgan. U koʻplab asarlar yaratgan boʻlib, shundan 40 dan koʻprogʻi tibbiyotga, 30 dan ortigʻi tabiiy fanlarga oid.

Mirzo Ulugʻbek 1394 yil Sultoniya shahrida tugʻilgan, 1449 yilda Samarqandda akademiya tashkil qilgan, by akademiyaning rasadxona, kutubxona hamda madrasasi boʻlgan. Dunyodagi eng yirik astronomiya maktabini yaratgan va «Ulugʻbeko ziji» asarini nash etgan. Shogirdlari bilan 1018 ta yulduzlar toʻgʻrisida maʼlumotlar kiritilgan katolog(zij) tuzgan. Bu katolog hozirgacha oʻz ahamiyatini yoʻqotmagan. Samarqanddagi akademiya mashhur astronom va matematik olim Nasriddin Tusiy, Qozizoda Rumi, al-Koshiy birinchi boʻlib tabiiy fanlar, matematika, tibbiyot, falsafa, adabiyot fanlarini yuqori darajalarga koʻtardilar.

Fizika kursining tuzilishi, qisqacha mazmuni, uni oʻrganish maqsadi va tartibi. Fizika texnika bilan chambarchas aloqada. Texnikaning ehtiyojlari bir tomondan fizik izlanishlarga daʼvat etadi va uning mavzusini belgilaydi. Ikkinchi tomondan, agar fizika fani yangi gʻoyalarni bermaganda, zamonaviy texnika, ayniqsa qurollar va harbiy texnika bunchalik jadal rivojlanmagan boʻlar edi. Fizika tushunchalaridan foydalanib, atrofimizni oʻrab turgan olamda yuz berayotgan hodisalarni toʻgʻri anglab, yorqin tushunib olamiz.

Hozirgi davr talabiga javob beradigan harbiy mutaxassislarni tayyorlashda, bakalavriyat bosqichidagi kursantlarga fizika fani asoslarini oʻrgatishdan asosiy maqsad – ularda zamonaviy ilmiy – texnikaviy dunyoqarashni shakllantirish, ularga zamonaviy harbiy texnika vositalari asoslarini tanishtirish va ulardan foydalanishga

zamin yaratishdan iborat. Fizikani o'rganish bo'lajak ofitserga umummuxandislik, harbiy-texnik va maxsus harbiy fanlarni chuqur o'zlashtirish imkoniyatini beradi.

Tabiatda uchraydigan barcha jismlar fizik jismlar deyiladi. Masalan, uy, samolyot, dengiz, xonadagi havo, chang zarralari, Quyosh, va boshqalar. Bularning hammasi turli moddalardan tashkil topgan. Masalan, uy yog'ochdan, samolyot metallardan, dengiz suvdan tashkil topgan. Ma'lumki, moddalar atom yoki molekulalardan va ularning tarkibiga kiruvchi zarralardan tashkil topgan.

Tabiatda yuz beradigan barcha o'zgarishlarga tabiat hodisalari deyiladi. *Modda molekulalari o'zgarishlardan qoladigan tabiat hodisalari fizik hodisalar deyiladi.* Masalan, toshning uchishi, suvning muzlashi yoki qaynashi, poezdning harakati. *Modda molekulalari o'zgaradigan tabiat hodisalari ximik hodisalar deyiladi.* Masalan, ko'mirning yonishi, plastmassalar tayyorlash, rudalardan metallar olish. Ammo ko'pgina tabiat hodisalari bir vaqtning o'zida ham fizik, ham ximik hodisa bo'lishi mumkin. Masalan, elektr yoyi, radioaktivlik. SHuning uchun fizika va ximiya fanlari o'rtasiga keskin chegara qo'yib bo'lmaydi. Zamonaviy fizikada hodisalarning qanday sohalari o'rganilayotganligini tushunish uchun, barcha tabiiy fanlar erishgan muvaffaqiyatlar asosida chiqarilgan umumiy xulosalar bilan tanishish kerak.

Fizika materiyaning eng umumiy xossalari va harakatining turli shakllari hamda bir-biriga aylanishi haqidagi fandır. *Fizika fani – tabiat hodisalarining oddiy va umumiy qonuniyatlarini, moddalar tuzilishi va xususiyatlarini, ularning harakat qonunlarini o'rgatuvchi fandır.* Materiya harakatining ba'zi shakllari tabiatda juda ko'p tarqalgan bo'lib, ularga harakatning fizik shakllari deyiladi, chunki ularning asosiy xususiyatlari fizikada o'rganiladi. Materiyaning bunday harakatlariga mexanik, issiqlik, elektr, elektromagnit, atom va yadro ichki harakatlari kiradi.

Tabiatda bo'ladigan turli hodisalarda materiya harakatining bir fizik shakli boshqasiga aylanadi: tramvay harakatlenganda harakatning elektr shakli, harakatning mexanik shakliga, bu esa issiqlik harakatiga aylanadi; jismlarni bir-biriga

ishqalaganda yoki jismlar yorug'lik nurlarini yutganida issiqlik harakati yuz beradi; elektrostantsiyalardagi generatorlarda mexanik harakat, harakatning elektr shakliga aylanadi va hokazo. Tabiatda va texnikada bo'ladigan hodisalarning mohiyatini tushunish uchun barcha harakat shakllarini va ularning o'zaro bog'lanishini o'rganish zarur. Shunday qilib, *zamonaviy fizika materiya harakatining turli fizik shakllarini, ularning o'zaro bir-biriga aylanishini, shuningdek modda va maydon xossalarini o'rganadi.*

Tabiatda va texnikada bo'ladigan hodisalarni o'rganishda turli xil usullardan foydalaniladi. Fizikada hodisalarni bevosita o'rganish uchun kuzatish va tajriba usullaridan foydalaniladi.

Kuzatishda kuzatuvchi sodir bo'layotgan hodisaga ta'sir ko'rsatmasdan, faqat uning tipik xususiyatlarini, hodisa yuz berayotgan sharoitni kuzatishga harakat qiladi. Masalan, daraxtdan uzilib tushgan barg va qo'ldan tushib ketgan tangani kuzatib, bargning asta-sekin va egri-bugri yo'l bilan, tanganing esa tez va to'g'ri chiziqli yo'l bilan tushganini ko'ramiz. Bu farqni ular tushayotgandagi shart-sharoitning bir xil emasligi bilan tushuntirish mumkin. Bu jismlarning turlicha tushishiga havoning ta'siri sabab bo'ladi. Bargga nisbatan tanga og'ir va yuzasi kichikdir. Faqat kuzatishdan foydalanib jismlarning tushishiga bu shart-sharoitlarning ta'sirini aniqlash mumkin emas.

Jismlarning tushishiga havoning ta'sirini ko'rsatish uchun, tajriba o'tkazish, ya'ni jismlarning havosiz fazoda tushishini amalga oshirish zarur, bunday holda barg tanga bilan bir vaqtda tushadi. Havoda jismlar harakatining bir-biridan farqli bo'lishi esa bu jismlar og'irliklari va havoning jismga ko'rsatadigan qarshiligi orasidagi nisbatning turlicha bo'lishi bilan tushuntiriladi. Buni jismlarning og'irligini va havoning qarshilik kuchini o'lchash bilan aniqlash mumkin.

Hodisaning borishiga ayrim faktorlarning ta'sirini o'rganish mumkin bo'lgan sharoitda hodisani qaytadan sodir qilib, tekshirilayotgan hodisada o'zgaruvchan

kattaliklar orasidagi qonuniy bog'lanishni aniqlash yoki qo'yilgan savolga bir qiymatli javob topish tajriba deyiladi.

Tajribada fizik kattaliklar o'lchanadi. Shunday qilib, o'lchash va tajribalar yordamida turli hodisalar bo'ysunadigan qonunlarni aniqlash mumkin. Fizika hodisalarning faqat qonuniyatlarini ochib bermasdan, ularni tushuntirib ham beradi. Bu qonuniyatlarni taqqoslab, ularning ko'pchilligi uchun umumiy bo'lgan ichki bog'lanishlarni payqash mumkin. *Bog'lanishlarni tushuntirish uchun ilmiy asoslangan faraz ilgari suriladi, bunday faraz gipoteza deyiladi.* Gipoteza ko'p hodisalarni yagonalik nuqtai nazaridan tushuntirgani uchun undan foydalanib, yangi, hali noma'lum yoki namoyon bo'lishi ma'lum, lekin o'rganilmagan hodisalarni oldindan aytish mumkin. Shunday usul bilan qabul qilingan gipotezaning to'g'riligini tekshirish mumkin. Agar yangi tajribalar gipotezaga qarama-qarshi natija bersa, gipoteza bekor qilinadi, yoki o'zgartiriladi. *Agar tekshirishlar gipotezani tasdiqlasa va mohiyatini o'shirsas, bunday gipoteza ishonchli bo'ladi va fizik nazariya deyiladi.* Masalan, molekulyar-kinetik nazariya, kvant nazariyasi va boshqa mavjud nazariyalar shunday nazariyalardir. Tajriba, kuzatishlar va tahliliy fikrlashlar bilan olib borilganda, u tabiatni o'rganishning eng mukammal usuli hisoblanadi.

Fizik qonunlar. *Fizika –tajribalarga asoslangan fandır.* Barcha fizik nazariyalarning to'g'rilik o'lchovi tajriba hisoblanadi. Fizik tajribalarda amalga oshiriladigan o'lchashlar chegaralangan aniqlikka ega bo'ladi. Har bir fizik o'lchashda faqatgina natija emas, balki o'lchash aniqligi ham ko'rsatiladi. Fizik tajribalar asosida fizik qonunlar shakllanadi. Har bir fizik qonun ma'lum bir qo'llanilish sohasiga ega bo'ladi. *Eng keng qo'llanilish sohasiga ega bo'lgan fizik qonunlar fundamental qonunlar deyiladi.* Bunday qonunlarga misol sifatida energiyaning saqlanish qonunini keltirish mumkin.

Fizik kattaliklar va ularni o'lchash. *Har qanday miqdoriy o'zgarishlar kattalik deyiladi. Fizik hodisalarni yoki materiyaning ayrim xususiyatlarini xarakterlovchi kattaliklar fizik kattaliklar deyiladi.* Masalan, uzunlik, vaqt, hajm,

massa, kuch va shu kabilar. Biror kattalik qiymatlarining miqdoriy farqi taqqoslash yo‘li bilan aniqlanadi. Faqat uzunlik bilan uzunlikni, massa bilan massani, kuch bilan kuchni, vaqt bilan vaqtni taqqoslash mumkin. *Bir-biri bilan taqqoslash mumkin bo‘lgan kattaliklarni bir jinsli kattaliklar deyiladi.* Masalan, ikki xil uzunliklar taqqoslanganda, ulardan biri shartli ravishda uzunlik birligi deb qabul qilinadi va ikkinchisida shu uzunlikdan necha birlik borligi aniqlanadi. *Berilgan kattalikda shu kattalikka tegishli bo‘lgan o‘lchov birligidan necha marta joylashganini aniqlashga o‘lchash deb ataladi.* O‘lchash natijasida olingan son shu kattalikning miqdori deyiladi. Masalan yo‘l uzunligi o‘lchanganda uning 500 m son olingan bo‘lsa, u holda bu son yo‘l uzunligining miqdorini ifodalaydi. Bunday sonlarni nomsiz yozish mumkin emas. Agar nomsiz yozilsa, qanday o‘lchov birligi bilan taqqoslangani noma’lum bo‘lib qoladi.

Fizik kattaliklarga qulay o‘lchov birliklarni tanlash fan uchun katta ahamiyatga ega. Har bir o‘lchov birligi qat’iy aniqlangan va o‘zgarmas bo‘lishi kerak, bunday holda ilmiy o‘lchashlar va ular asosida aniqlanilgan qonuniyatlar ob’ektiv bo‘ladi va bu qonuniyatlarni qayta tajribalar o‘tkazish orqali tekshirish mumkin.

1889 yilda o‘lchov birliklari va tarozilar bo‘yicha Xalqaro Bosh konferensiya chaqirilib barcha mamlakatlar uchun yagona o‘lchov birliklari qabul qilindi. Bu konferensiyada muhim fizik kattaliklar: uzunlik, massa, vaqt va kuch uchun xalqaro o‘lchov birliklari qabul qilindi.

Hajm va yuza o‘lchov birliklarini keltirib chiqarish uchun ularning formulalaridan foydalanamiz:

$$S = l \cdot b = 1m \cdot 1m = 1m^2; \quad V = S \cdot h = 1m^2 \cdot 1m = 1m^3$$

Bundan ko‘rinadiki, formulalardan olingan birliklar, ularni keltirib chiqarish uchun olingan birliklarga bog‘liq. Shuning uchun asosiy birliklar qilib shunday birliklarni olish kerakki, ular yordamida formuladan juda qulay birliklar keltirib

chiqarilsin. Agar bir-biriga bog'liq bo'lmagan bir necha fizik kattaliklarning o'lchov birliklari kelishib olinsa, qolgan fizik kattaliklarning o'lchov birliklarini tegishli formuladan yuqoridagi qoidaga asosan keltirib chiqarish mumkin.

Kelishish orqali o'rnatilgan o'lchov birliklarga asosiy o'lchov birliklari, formulalar asosida keltirib chiqarilgan o'lchov birliklar esa hosilaviy o'lchov birliklari deyiladi.

Asosiy o'lchov birliklar va ulardan keltirib chiqarilgan hosilaviy o'lchov birliklari yig'indisi fizik kattaliklarning o'lchov birliklari tizimini hosil qiladi. Fizikada asosan xalqaro birliklar tizimidan foydalaniladi. Xalqaro birliklar tizimida mexanik kattaliklarning o'lchov birliklarini hosil qilishda asosiy birliklar sifatida uzunlik birligi – metr, massa birligi – kilogramm va vaqt birligi – sekund olinadi.

Xalqaro birliklar tizimida oltita asosiy birliklar mavjud bo'lib, qolgan uchta birliklar fizikaning keyingi bo'limlarini o'rganish jarayonida kiritiladi. Masalalarni yechayotganda barcha fizik kattaliklarning miqdoriy qiymatlarini bir xil birliklar tizimiga keltirib, so'ngra ularni formulaga qo'yish kerak.

Uzunlikni o'lchash. Fazodagi nuqta yoki jism holatini belgilovchi x, u, z koordinatalar uzunlikdan iborat bo'lgani uchun, uzunlikni o'lchash usulini tanlash kerak bo'ladi. Odatda, uzunlikni o'lchash uchun, qandaydir qattiq sterjenni namuna deb hisoblab, uni o'lchov birligi deb qabul qilinadi.

Nuqtaning fazodagi koordinatalaridan birini o'lchash uchun, shu yo'nalishga o'lchov birligi bo'lgan namuna necha marta joylashish soni aniqlanadi. Ana shu son tanlangan yo'nalishdagi jismning uzunligini belgilaydi. Agarda bu son butun bo'lmasa, namuna mayda bo'laklarga (o'ndan bir qismi, yuzdan bir qismi va h.k.) bo'linadi. *Bunday o'lchash to'g'ridan - to'g'ri o'lchash deb ataladi.* Ammo bu usul kamchiliklardan xoli emas. Masalan, Yerning radiusini, Yerdan Oygacha va Quyoshgacha bo'lgan masofalarni o'lchashda namunadan foydalanib bo'lmaydi. Bizning Galaktikamiz o'lchamlari tartibi taxminan $\sim 10^{20}$ metrga yaqin. Ikkinchi tarafdan qattiq jismlar atomlari orasidagi masofalar $\sim 10^{-10} m$, yoki ayrim yadro

zarrachalari o'lchami $\sim 10^{-15}$ m ga tengdir. Bu hollarda, to'g'ridan-to'g'ri o'lchash usulini qo'llab bo'lmaydi, uzunlikni o'lchash uchun boshqa o'lchash tamoyillarini tanlashga majburmiz.

Baqtning o'lchash. Vaqt ham fizik kattalik bo'lgani uchun uning miqdoriy qiymatlari ayrim sonlardan iborat bo'ladi. Ammo, uzunlikka o'xshash vaqtning absolyut qiymati yo'q. Vaqt deganda qandaydir vaqt oralig'ini tushunish kerak. Vaqtning amaliy o'lchash usullaridan biri Yerning o'z o'qi atrofidagi aylanishidagi Quyosh sutkasidan iborat. Unga ketgan vaqtning 86400 dan bir ulushi sekunddir.

Vaqtning o'lchash usullarining eng anig'i deb Seziy atomining asosiy holatlariga tegishli ikki energetik sathlari orasini o'tishda elektromagnit nurlanishning 9192631770 marta tebranishiga ketgan vaqt olinadi. Bu vaqt bir sekundga tengdir.

Fizikada amalga oshirilgan kashfiyotlar faqatgina asosiy fizik jarayonlar to'g'risidagi bilimlarimizni oshiribgina qolmay, ko'pincha boshqa fundamental fanlarning rivojlanishida ham hal qiluvchi muhim rol o'ynaydi. Masalan, kvant nazariyasining kashf etilishi ximiklarga ular tomonidan to'plangan, moddalarning ximiyaviy tuzilishi va ximiyaviy reaksiyalar to'g'risidagi turli axborotlarni har tomonlama tushunish imkoniyatini berdi.

O'rganiladigan materiallar harakatlari, shakllari va ob'ektlarning ko'p qirraliligiga asosan fizika bir qancha qismlarga bo'linadi: atom va molekulalar fizikasi; gaz va suyuqliklar fizikasi; qattiq jismlar fizikasi; plazma fizikasi; elementar zarrachalar fizikasi; yadro fizikasi.

Materiyaning harakat turlariga qarab fizika asosan, quyidagi bo'limlarga bo'linadi: moddiy nuqta va qattiq jismlar mexanikasi; termodinamika va statistika; elektrodinamika; optika; kvant mexanikasi; maydonning kvant nazariyasi; tebranish va to'lqinlar; amaliy optika.

Nazorat savollari:

1. Fizik jism va modda nima?
2. Fizik hodisa deb nimaga aytiladi?
3. Fizika nimani o‘rganadi?
4. Fizik kuzatish va tajriba deb nimaga aytiladi?
5. Gipoteza deb nimaga aytiladi?
6. Nazariya deb nimaga aytiladi?
7. Fizika nimani o‘rganadi?
8. Fizik kattaliklar deb nimaga aytiladi?
9. Fizik qonunlar deb nimaga aytiladi?
10. Qanday fizik qonunlarga fundamental qonunlar deyiladi?
11. O‘lchash va o‘lchov birligi deb nimaga aytiladi?
12. Fizika qanday tarkibiy qismlardan tashkil topgan?
13. Ilmiy-texnika taraqqiyotida fizika fanining o‘rni qanday?
14. Mamlakatni ijtimoiy-iqtisodiy rivojlantirishda fizika fanining o‘rni qanday?
15. Davlat mudofaa qobiliyatini mustahkamlashda fizika fanining o‘rni qanday?

1-BO‘LIM. MEXANIKA I.BOB. KINEMATIKA

1.1 Moddiy nuqta kinematikasi

1.1.1 Mexanika, mexanikada modellashtirishlar

Mexanika — fizikaning, jismlarning harakati va muvozanati qonunlarini o‘rganuvchi qismidir.

Fizikaning mexanika bo‘limi materiyalar harakatlarining oddiy shakllarini, mexanik harakatlarni o‘rganadi. Mexanikaning asosiy qonunlari asosan Galileo Galiley (1564 – 1642 yillar) tonidan aniqlangan va Isaaq Nyuton (1643 – 1727 yillar) tomonidan to‘liq asoslab berilgan. G. Galiley va I. N’yunton tomonidan to‘la asoslangan mexanika *klassik mexanika* deb nomlandi. Isaaq Nyutonning klassik mexanikasi tezliklari yorug‘likning vakuumdagi tezligi ($c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$) dan ancha

kichik g tezlikka ega bo'lgan makroskopik jismlarning harakatini o'rganadi. Tezliklarini yorug'likning vakuumda tarqalish tezligi bilan taqqoslasa bo'ladigan makroskopik jismlar harakatini relyativistik mexanika o'rganadi. Relyativistik mexanika Al'bert Eynshteyn (1879-1955 yillar) tomonidan yaratilgan maxsus nisbiylik nazariyasiga asoslanadi. Mikroskopik jismlar (masalan, atomlar va elektronlar) harakatini o'rganishga klassik mexanika qonunlarini hardoin ham qo'llab bo'lmaydi. Bunday hollarda, relyativistik mexanikasi qonunlari qo'llaniladi.

Klassik fizika va mexanikaning yaratilishi haqiqatdan ham I. N'yuton nomi bilan bog'liq, chunki fizikaning asosiy qonunlari I. N'yuton tomonidan qanday ta'riflangan bo'lsa, hozirgi kunda ham amalda, xuddi shunday ko'rinishda ifodalangan. Olamning yangi manzarasi va kosmik jismlar harakati I. N'yutonning bitta umumiy nom bilan 1679 va 1687 yillarda nashr etilgan "Natural falsafaning matematik asoslari" deb nomlangan uchta asarida ifodalangan.

Klassik mexanika uch qismga bo'linadi: kinematika, dinamika va statika.

Kinematika jismlarning fazo va vaqtdagi harakatini, bu harakatning kelib chiqish sababini hisobga olmasdan o'rganadi.

Dinamika jismlarning harakatini, bu harakatning kelib chiqish sababini hisobga olgan holda o'rganadi.

Statika jismlar va jismlar tizimlari muvozanatini o'rganadi. Jismlarning harakat qonunlarini bilish, ularning muvozanat qonunlarini yaratishga olib keladi. Mexanika real jismlar harakatini ma'lum bir soddalashtirilgan (abstraktlashtirilgan) tushunchalar asosida tavsiflaydi. *Bunday tavsiflashga modellashtirish deyiladi.* Moddiy nuqta va absolyut qattiq jism tushunchalari shunday modellardandir.

Moddiy nuqta. Mexanikada o'rganiladigan eng sodda ob'ekt moddiy nuqta hisoblanadi. *Moddiy nuqta deb, ma'lum massaga ega bo'lgan, o'rganiladigan masofalarga nisbatan o'lchami juda kichik bo'lgan jismga aytiladi.* Moddiy nuqta tushunchasi abstrakt(mavhum) tushunchadir.

Moddiy nuqta — berilgan masalani yechishda o'lchamlari hisobga olinmaydigan jism. Masalan, Yerning o'lchami Quyoshgacha bo'lgan masofaga nisbatan juda kichik bo'lgani uchun, Quyosh atrofidagi harakatida uni moddiy nuqta deb faraz qilish mumkin. Bunda Yerning butun massasi uning geometrik markazida mujassamlangan deb hisoblanadi.

Ixtiyoriy makroskopik jismni bir-biri bilan o'zaro ta'sirdagi ko'plab qismlarga ajratish mumkin, ularning har biri o'z massasiga ega bo'lgan moddiy nuqtalar sifatida qaralishi mumkin. Bunday holda jismlar harakatini o'rganish masalasini moddiy nuqtalar tizimi harakatini o'rganish masalasiga keltirish mumkin. Mexanikada

ko'pincha avval alohida nuqtalar harakati o'rganiladi, so'ngra jismlar harakati o'rganiladi. Jismlar biri-biri bilan o'zaro ta'sirlashganda ularning shakli va o'lchamlari o'zgarishi mumkin. *Har qanday sharoitda shakli va o'lchamlari o'zgarmaydigan (deformatsiyalanmaydigan) jism absolyut qattiq jism deb ataladi.* Absolyut qattiq jismning qismlari yoki ikki nuqtasi orasidagi masofa o'zgarmasdir.

O'rganilayotgan hodisalar to'g'ri modellashtirilganda mexanika qonunlari, jism harakatining haqiqiy manzarasini aniq ifodalaydi va to'g'ri natijaga olib keladi. Agar hodisalarning haqiqiy manzarasi buzib modellashtirilsa, bunday hodisani tahlil qiluvchi matematik usul juda mukammal bo'lganda ham, chiqarilgan nazariy xulosalar qo'pol xatolarga olib keladi. Hodisani to'g'ri modeli uning bilan boshqa hodisalar orasidagi barcha mavjud ichki bog'lanishni uzib qo'ymaydi, hodisalar orasidagi muhim bog'lanishlarni ajratib oladi va hodisani modelini yaratadi. Agar hodisani modelini ishlab chiqishda hodisalar orasidagi asosiy bog'lanishlar noto'g'ri aniqlansa, qo'pol xatoga yo'l qo'yiladi va bunday modelga asoslangan mulohazalar yaroqsiz bo'ladi. Masalan, artilleriya snaryadi harakatidagi hodisalar manzarasi haqidagi masalani ko'rib chiqaylik. Artilleriya snaryadi uchayotganda snaryad trayektoriyasi, porox zaryadinig sifati va miqdoriga, to'pning tuzilishiga, snaryadning o'lchamlariga, havoning qarshiligiga, shamolning yo'nalishiga, snaryadning shakliga, snaryadning o'z o'qi atrofida aylanishi tezligiga va boshqa ko'rsatgichlariga bog'liq bo'ladi.

Bu hodisani boshlang'ich modelida snaryadni moddiy nuqta deb olinsa, snaryad trayektoriyasining paraboladan iborat ekanligi kelib chiqadi. Agar bu hodisani yanada aniqroq modelini tuzishda havoning qarshiligi ham e'tiborga olinsa, snaryadning trayektoriyasi paraboladan farqli ekanligi kelib chiqadi. To'p stvolida snaryadning parma chizig'i bo'ylab aylanma harakati ham nazarga olinsa, hodisani yanada aniqroq modeli hosil bo'ladi va hisoblashlar murakkablashadi. Yanada aniqroq modelni yaratish zarurati tug'ilsa, bunday hollarda snaryadning boshlang'ich tezligi, poroxning miqdori va sifati, stvolning uzunligi boshqa kattaliklari orasidagi bog'lanishlar ham hisobga olinadi. Bunda mexanika qonunlaridan boshqa qonunlardan ham foydalanishga to'g'ri keladi.

Shunday qilib, snaryad uchayotganda sodir bo'ladigan hodisalarning haqiqiy modeli juda murakkabdir. Bulardan shunday xulosa kelib chiqadi: hodisani haqiqatga yaqin modelini hosil qilishning birdan – bir to'g'ri yo'li o'rganilayotgan modelni ketma-ket murakkablashtirib borishdir.

1.1.2 Fazo va vaqt. Sanoq tizimi. Koordinatalar tizimi. Nuqta holatining fazoda berilish usullari.

Fazoda nuqta holatining berilishi kinematikaning muhim masalalaridan biri hisoblanadi. Erkin fazo bir jinsli (unda alohida muhim xossali nuqta yo‘q) va izotrop(unda alohida tanlangan yo‘nalish yo‘q). Shuning uchun erkin fazoda moddiy nuqta yoki jism holatini aniqlab bo‘lmaydi.

Moddiy nuqta yoki jismning fazodagi holatini aniqlash uchun hisob jismi bo‘lishi kerak. *Fazoda ixtiyoriy jismning holatini unga nisbatan hisoblash mumkin bo‘lgan absolyut qattiq jismga sanoq jismi deyiladi.*

Koordinata tizimining boshi biror jism bilan belgilanadi va u sanoq jismi bo‘ladi. Bir o‘lchovli tizim faqat bitta koordinataga muhtoj. Masalan, o‘q otishdagi qurol stvolidagi o‘qning holati zatvordan stvol uchigacha bo‘lgan masofa bilan aniqlanadi. Ikki o‘lchovli tizimda ikkita koordinata kerak, masalan, aholi yashash joyining xaritada o‘rni joyning geografik kengligi va uzunligi bilan belgilanadi, va uch o‘lchovli koordinatalar tizimida holatni belgilash uchun uchta raqam kerak.

Barcha fizik jarayonlar fazoda va vaqtda sodir bo‘ladi. Sanoq jismi bilan koordinata tizimi bog‘lansa, unda moddiy nuqta yoki jismning o‘rnini ko‘rsatish, ya‘ni fazoda nuqta yoki jismning holatini berish mumkin.

Vaqt jarayonlar davomiyligining o‘lchovidir. Uni hisoblash uchun soat zarur bo‘ladi. *Sanoq jismi, koordinata tizimi va soat birgalikda sanoq tizimini tashkil etadi.* Biz to‘g‘ri burchakli Dekart koordinatalar tizimidan foydalanamiz (1.1-rasm). Bunday koordinatalar tizimida OZ o‘q dastasi o‘ng tomonga aylantirilgan parmaning ilgariharakat harakati tamon yo‘nalgan bo‘lib, u OX o‘qdan OY o‘qqa tomon eng qisqa burchak bo‘ylab aylanadi. U yagona imkoniyat emas. Biz nuqta holatini fazoda berishning vektor va koordinata usullaridan foydalanamiz.

Vektor usuli. Bu usulda **M** moddiy nuqtaning holati koordinata boshidan **M** nuqtaga o‘tkazilgan \vec{r} radius-vektor (1.2 - rasm) yordamida beriladi. Radius vektorni berish uchun koordinata boshi O nuqta, radius-vektor moduli $|\vec{r}|$, radius-vektorning fazodagi yo‘nalishi (o‘zaro bog‘liq bo‘lmagan ikki burchak)ni ko‘rsatish zarur bo‘ladi.

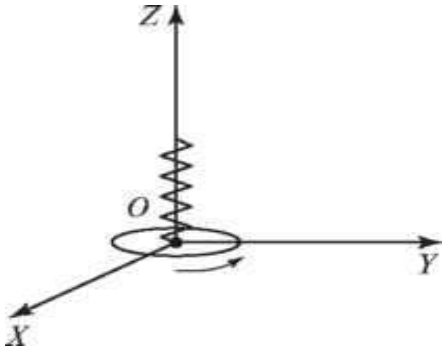
Koordinata o‘qlari bilan bir xil yo‘nalgan birlik vektorlar $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ dan foydalanib, \vec{r} radius-vektorni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\vec{r} = r_x \vec{i} + r_y \vec{j} + r_z \vec{k} . \quad (1.1)$$

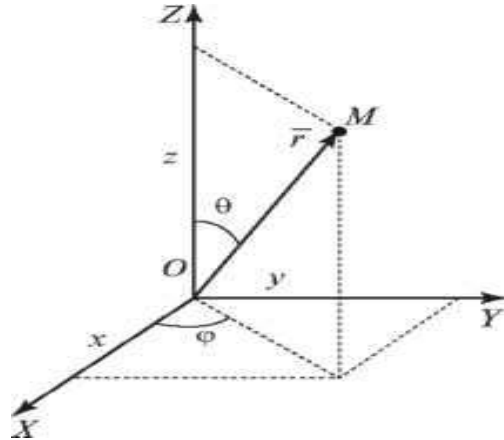
1.2-rasmda tasvirlangan holat uchun quyidagini yozish mumkin:

$$r_x = x, r_y = y, r_z = z.$$

Koordinatalar usuli. Bu usulda M moddiy nuqtaning holati x, y, z koordinatalar bilan beriladi va $M(x, y, z)$ ko‘rinishda yoziladi.



1.1 – rasm



1.2 – rasm

Fizik tizimning fazodagi holatini to‘liq aniqlovchi, eng kam mustaqil parametrlar soniga erkinlik darajalari deyiladi. Bundan ko‘rinadiki M moddiy nuqta uchta erkinlik darajasiga ega.

1.1.3 Mexanik harakat. Trayektoriya. Moddiy nuqta harakatining kinematik qonuni. Ko‘chish vektori. Bosib o‘tilgan yo‘l.

Harakat tushunchasi aniqlashtirishni talab etadi.

SAVOL. Avtobus bekatida *tinch turgan* holda siz, *harakatlanasizmi?*

JAVOB. Birinchi qarashda, ajratib ko‘rsatilgan so‘zlar bir biriga zid, biroq, yoningizdan o‘tayotgan avtomobil haydovchisining qarashicha, siz avval unga yaqinlashasiz, so‘ngra undan uzoqlashasiz, Yer markaziga nisbatan esa, siz aylana bo‘ylab harakatlanasiz. Bu harakat nisbiyligining tipik namoyon bo‘lishidir

Mexanik harakat. *Vaqt o‘tishi bilan jismning fazodagi vaziyatining boshqa jismlarga nisbatan o‘zgarishi jismning mexanik harakati deb ataladi.* Masalan, Piyodalar jangovar mashinasi(PJM)ning dala o‘quv maydonida joylashgan turli

jismlar(daraxtlar, belgilar, to'siqlar va boshqalar)ga nisbatan vaziyatlarining o'zgarishi.

Qattiq jismlarning istalgan harakati ilgariylanma va aylanma harakatlar majmuasidan iborat. *Ilgariylanma harakat shunday harakatki, unda harakat qilayotgan jism bilan mustahkam bog'langan istalgan to'g'ri chiziq boshlang'ich holatiga nisbatan parallelligini saqlab qoladi.*

Moddiy nuqtaning fazodagi harakati davomida qoldirgan iziga trayektoriya deyiladi. Trayektoriyaning ko'rinishi sanoq tizimining tanlanishiga bog'liq. Tekis aylanayotgan gardish markazidan eng chetda joylashgan nuqtaning tekis harakatini ko'rib chiqaylik(1.3-rasm). Aylanayotgan gardishga bog'langan (X', Y', Z') tizimga nisbatan nuqta to'g'ri chizikli trayektoriya bilan harakatlanadi.

Yer bilan bog'langan (X, Y, Z) tizimga nisbatan nuqta Arximed spirali shaklidagi trayektoriya bilan harakatlanadi.

Trayektoriyasining shakliga ko'ra harakatlar to'g'ri chizikli va egri chizikli bo'ladi.

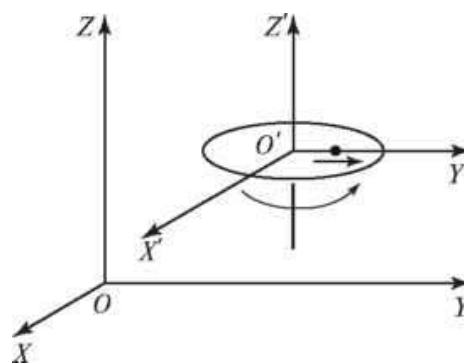
Moddiy nuqtaning harakatini tavsiflash uchun harakatining kinematik qonunini ifodalovchi tenglamani yoki tenglamalar tizimini berish zarur bo'ladi.

Tanlangan koordinatalar tizimiga nisbatan, vaqtning istalgan paytida moddiy nuqtaning vaziyatini aniqlovchi tenglamalar yoki tenglamalar tizimiga harakatining kinematik qonuni deyiladi.

Nuqtaning fazodagi holati vektor usulida berilganda harakatining kinematik qonuni $\vec{r} = \vec{r}(t)$ ko'rinishda, koordinata usulida berilganda esa:

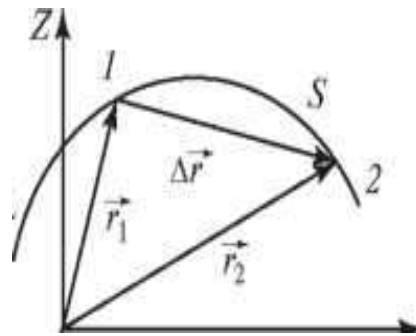
$$\left. \begin{array}{l} x = x(t); \\ y = y(t); \\ z = z(t). \end{array} \right\} \quad (1.2)$$

ko'rinishda bo'ladi.



1.3 – rasm

Agar (1.2) tenglamadan t vaqtni chiqarsak, trayektoriya tenglamasini olish mumkin bo'ladi. 1.4 – rasmda trayektoriyasi tasvirlangan M nuqtaning harakatini ko'rib chiqaylik. Faraz qilaylik t vaqt momentida nuqtaning holati r_1 radius-vektor bilan aniqlanuvchi 1 holatda, $t + \Delta t$ vaqt momentida nuqtaning holati r_2 radius-vektor bilan aniqlanuvchi 2 holatda bo'lsin.



1.4 – rasm

Nuqtaning boshlang'ich holatidan oxirgi holatiga o'tkazilgan Δr vektorga ko'chish vektori deyiladi. 1.4 – rasmdan ko'rinadiki, ko'chish vektori $\Delta r = r_2 - r_1$ 2 nuqtaning radius-vektori bilan 1 nuqtaning radius-vektori ayirmasiga teng. *Nuqtaning 1 va 2 holatlari orasida trayektoriya bo'ylab hisoblangan masofaga bosib o'tilgan yo'l deyiladi*

To'g'ri chiziqli bir tomonga yo'nalgan harakatda bosib o'tilgan yo'l ko'chish vektorlari farqiga teng, egri chiziqli harakatda esa, bosib o'tilgan yo'l ko'chish vektorlari farqidan katta bo'ladi.

1.1.4 Tezlik. Yo'lni hisoblash. Tezlanish.

Har qanday Δr ko'chish Δt vaqtni talab etadi. Moddiy nuqta(zarracha)ning vaqt birligi ichidagi ko'chishi uning o'rtacha tezligini aniqlaydi:

$$\mathbf{v}_{o'r} = \frac{\Delta r}{\Delta t}. \quad (1.3)$$

Bu tenglikning o'ng tomonidagi Δr ko'chish vektori, chap tomondagi $\mathbf{v}_{o'r}$ vektor bilan bir xil yo'nalgan. O'rtacha tezlik harakatning ancha qo'pol tavsifi hisoblanadi.

Avtomobil Δt vaqt davomida Toshkent(1 nuqta 1.4-rasm)dan Chirchiq(2 nuqta 1.4-rasm)gacha yo'l bosib o'tdi. Ma'lumki o'rtacha tezlik formulasi Toshkentdan Chirchiqgacha bo'lgan yo'lning istalgan qismidagi tezlikni aks ettirmaydi. Bu olinadigan natija kuzatish sharoitiga bog'liq bo'lishini ko'rsatuvchi yorqin misoldir. Bu holda natija harakatning davom etish vaqtiga bog'liq. Δt vaqt heksiz kichik

qiymatga intilganda ko'chish vektori o'zgarishining oxirgi qiymati uning cheksiz kichik qiymati $d\mathbf{r}$ ga almashadi. Bu vektorning yo'nalishi trayektoriyaga o'tkazilgan urinma bo'ylab harakat yo'nalishida bo'ladi.

$\Delta t \rightarrow 0$ da, ya'ni bir lahzada $\Delta r \rightarrow dr$ bo'ladi, va (1.3) formula quyidagi ko'rinishni oladi

$$\vec{\vartheta} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}, \quad (1.4)$$

ya'ni, oniy tezlik ko'chish vektoridan olingan hosiladir.

Moddiy nuqtaning oniy tezligi deb, uning radius-vektoridan vaqt bo'yicha olingan hosilaga aytiladi. $d\vec{r}$ vektor trayektoriyaga urinma bo'ylab harakat yo'nalishida bo'lgani uchun oniy tezlik $\vec{\vartheta}$ ning yo'nalishi ham xuddi shunday bo'ladi. Masalan, pichoqni charxlashda, pichoq va charxtosh orasida chiqadigan uchqun charxtosh gardishiga urinma bo'ylab yo'naladi.

Har qanday vektor kabi, tezlik vektorini ham istalgan yo'nalishga proyeksiyalash mumkin, uni tanlash ko'rilayotgan masala shartiga bog'liq.

Oniy tezlik moduli cheksiz kichik ko'chish moduli bilan aniqqlanadi $dr = ds$:

$$\vartheta = \frac{dr}{dt} = \frac{ds}{dt}. \quad (1.5)$$

$s(t)$ funksiyaning hosilasi uning ko'rinishiga bog'liq. $s = Ct^3$ bo'lsa, $\vartheta = 3Ct^2$ ni olamiz.

Moddiy nuqta to'g'ri chiziq bo'ylab tekis harakatlanayotgan bo'lsin. U holda $\mathbf{s} = \mathbf{r} - \mathbf{r}_0 = C\mathbf{t}$ bo'ladi, bu yerda \mathbf{r}_0 – moddiy nuqtaning $t = 0$ vaqt momentidagi radius-vektori (1.5a-rasm). Bundan

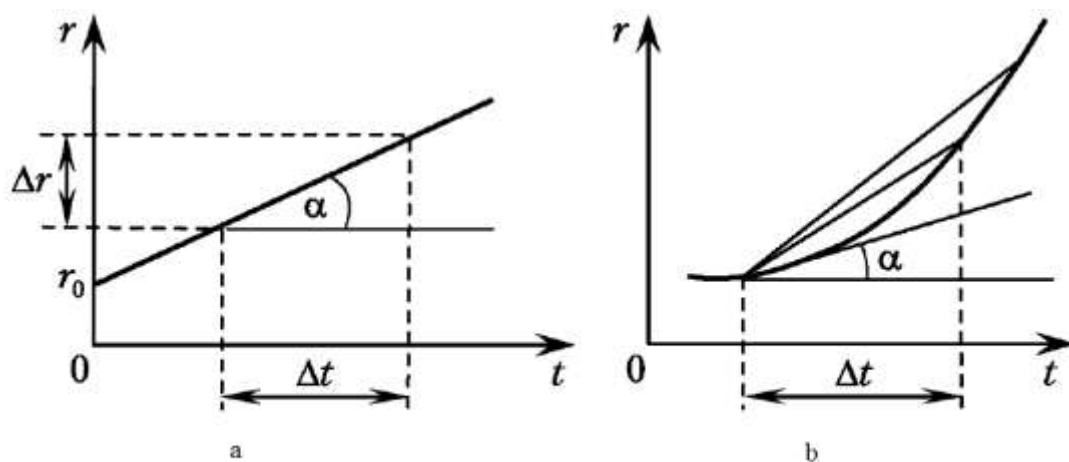
$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + C\mathbf{t} \quad (1.6)$$

SAVOL. C koeffitsientining ma'nosi nima?

JAVOB. (1.6) formuladan vaqt bo'yicha hosila olib, (1.5) ni hisobga olsak,

$\frac{dr}{dt} = C = \vartheta$ ni olamiz. Buni integrallasak, $r = r_0 + \vartheta t$ ga ega

bo'lamiz.



1.5-rasm

1.5a-rasmdan foydalanib tezlik modulining grafik ma'nosini aniqlaylik. O'rtacha tezlik formulasi va 1.5a-rasmdan $v_{or} = tg\alpha$. Ixtiyoriy trayektoriya bo'ylab harakatda(1.5b-rasm) Δt kamayishi bilan Δr trayektoriyaga urinma bilan birlashib ketadi, ya'ni $dr \rightarrow ds$ bo'ladi. Bundan oniy tezlik $v = \frac{dr}{dt}$ son qiymati jihatidan trayektoriyaning shu nuqtasiga o'tkazilgan urinmaning qiyalik burchagi tangensiga teng.

Tezlikning xalqaro birliklar tizimidagi birligi m/s. (1.1) ifodani e'tiborga olsak, oniy tezlikni quyidagi shaklda ifodalashimiz mumkin:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j} + \frac{dz}{dt}\vec{k}.$$

Bundan ko'rinadiki, tezlikning tashlik etuvchilari mos hosilalar orqali aniqlanadi:

$$v_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x}; v_y = \frac{dy}{dt} = \dot{y}; v_z = \frac{dz}{dt} = \dot{z}. \quad (1.7)$$

Bunday holda tezlik modulini quyidagi formula yordamida aniqlash mumkin:

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2.$$

Tezligining moduli o'zgarmas $|v| = const$ bo'lgan harakat tekis hatakat deyiladi. Jismning ixtiyoriy trayektoriya bo'ylab t vaqtda 1 holatdan 2 holatgacha bo'lgan harakatida bosib o'tgan yo'lini aniqlaylik(1.6-rasm). Trayektoriyani shunday kichik bo'laklarga (keyinchalik ularni elementar bo'laklar deyiladi) bo'lamizki, bu bo'laklardagi tezlikni o'zgarmaydi deb hisoblash mumkin bo'lsin. U holda trayektoriya i - bo'lagining uzunligi(bosib o'tilga yo'l)ni quyidagi formula bilan hisoblash mumkin:

$$\Delta L_i = v_i \Delta t_i,$$

bu yerda v_i – i -bo‘lakdagi tezlik moduli; Δt_i – uni bosib o‘tish uchun ketgan vaqt.

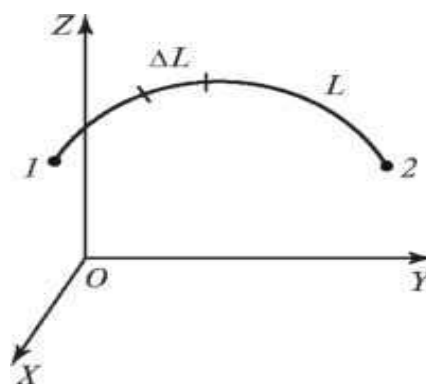
Butun yo‘lni barcha elementar bo‘laklar uzunliklari yig‘indisi sifatida aniqlash mumkin. Bunda agar ΔL_i qanchalik qisqa, ya’ni Δt_i vaqt oralig‘i qanchalik kichik bo‘lsa, S – bosib o‘tilgan yo‘l shunchalik aniq hisoblanadi.

$$S = \lim_{\Delta S_i \rightarrow 0} \sum \Delta L_i = \lim_{\Delta t_i \rightarrow 0} \sum v_i \Delta t_i = \int_0^t |v(t)| dt. \quad (1.8)$$

Endi muhim kinematik vektor kattaliklardan biri tezlanishni hisoblaymiz.

Tezlanish tezlik vektorining o‘zgarish jadalligini xarakterlovchi fizik kattalik bo‘lib, oniy tezlikdan vaqt bo‘yicha olingan hosilaga teng:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \ddot{\vec{r}}; \quad \vec{a} \uparrow\uparrow d\vec{v}.$$



1.6 - rasm

Bu ifodani koordinata o‘qlariga proyeksiyalab quyidagilarga ega bo‘lamiz:

$$\left. \begin{aligned} a_x &= \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}; \\ a_y &= \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}; \\ a_z &= \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2}. \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

1.1.5 O‘zgarmas tezlanish bilan harakatlanayotgan moddiy nuqtaning kinematik qonuni.

Agar harakati davomida moddiy nuqta tezlanishi vektorining miqdori va yo‘nalishi o‘zgarmasa, bunday harakatga tekis o‘zgaruvchan harakat deyiladi.

Tezlanish ta'rifidan $d\vec{v} = \vec{a}dt$. Bu ifodani integrallagandan so'ng quyidagi ifoda hosil bo'ladi.

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t, \quad (1.10)$$

bu yerda \vec{v}_0 – boshlang'ich tezlik, ya'ni $t = 0$ vaqt momentidagi tezlik; \vec{v} – t vaqt momentidagi tezlik.

(1.4) ifodani $d\vec{r} = \vec{v} dt$ ko'rinishda yozib olamiz va unga tezlikning (1.10) ifodadagi qiymatini qo'yib integrallagandan so'ng, $\vec{a} = const$ bo'lgan hol uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz: $\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$, bu yerda \vec{r}_0 – jismning $t = 0$ vaqt momentidagi holatini ifodalovchi radius – vektor.

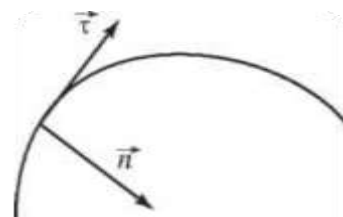
(1.2) ifodani qo'llab, koordinatalarning o'zgarish qonunlarini hosil qilamiz:

$$\left. \begin{aligned} x &= x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}; \\ y &= y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2}; \\ z &= z_0 + v_{0z}t + \frac{a_z t^2}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (1.11)$$

1.1.6 Normal va tangehsial tezlanish.

Umumiy holda jism tezlanishi vektorining yo'nalishi noma'lum. Buni aniqlash uchun jism trayektoriyasining har bir nuqtasida ikkita birlik vektorlarni *urinma* τ va *normal* n vektorlarni o'tkazamiz(1.7-rasm). τ vektorni trayektoriyaga urinma, n vektorni trayektoriyaga perpendikulyar holda o'tkazamiz. Aniq masalalarni hal etishda \vec{a} tezlanish vektorining urinma va normal yo'nalishlarga proyeksiyalarini ko'rib chiqish qulay.

\vec{a} tezlanish vektorining n normal yo'nalishga proyeksiyaga normal(markazga intilma) tezlanish deyiladi. \vec{a} tezlanish vektorining τ tangensial(urinma) yo'nalishga proyeksiyasi tangensial(urinma) tezlanish τ deyiladi.



1.7-rasm

$$\vec{a} = a_\tau \vec{\tau} + a_n \vec{n} \quad , \quad (1.12)$$

bu yerda a_τ – tangensial tezlanishning moduli, a_n – normal tezlanish moduli.

Bu tezlanishlarning fizik ma’nosini aniqlashtiramiz. Buning uchun tezlikni quyidagi ko‘rinishda tasvirlaylik: $\vec{v} = v\vec{\tau}$. Tezlanishni aniqlaymiz

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(v\vec{\tau}) = \vec{\tau} \frac{dv}{dt} + v \frac{d\vec{\tau}}{dt}. \quad (1.13)$$

(1.12) va (1.13) formulalardagi birinchi qo‘shiluvchilarni taqqoslasak, $a_\tau = \frac{dv}{dt}$ ekanligini ko‘ramiz. Demak tangensial tezlanish tezlik miqdorining o‘zgarishini xarakterlaydi. (1.13) ifodadagi ikkinchi qo‘shiluvchining miqdori va fizik ma’nosini aniqlaymiz.

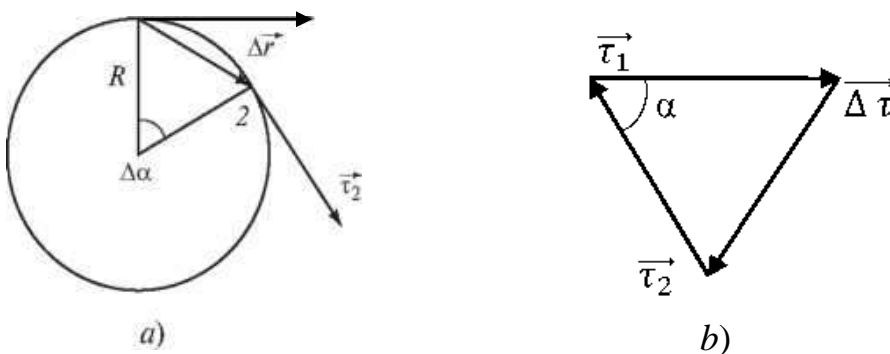
Bilamizki, ikki \vec{a} va \vec{b} vektorlarning skalyar ko‘paytmasi c skalyar miqdordir. U ikki vektorning modullari va bu vektorlar oralig‘idagi burchakning kosinusi orqali quyidagicha hisoblanadi: $c = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos(\widehat{\vec{a}, \vec{b}})$. $(\vec{\tau}, \vec{\tau}) = 1 = const$

ekanligidan $\frac{d(\vec{\tau}, \vec{\tau})}{dt} = 0$ bo‘ladi. $(\vec{\tau}, \vec{\tau})$ ifodaning vaqt bo‘yicha hosilasini quyidagicha ham topish mumkin:

$$\frac{d(\vec{\tau}, \vec{\tau})}{dt} = \vec{\tau} \frac{d\vec{\tau}}{dt} + \vec{\tau} \frac{d\vec{\tau}}{dt} = 2\vec{\tau} \frac{d\vec{\tau}}{dt}.$$

Bundan ko‘rinadiki $\vec{\tau} \frac{d\vec{\tau}}{dt} = 0$, demak $\vec{\tau} \perp \frac{d\vec{\tau}}{dt}$ (1.13) ifodadagi ikkinchi do‘shiluvchi $\frac{d\vec{\tau}}{dt}$ ga perpendikulyar bo‘lgan \vec{n} normal vektor, ya’ni normal tezlanish vektoridir.

Moddiy nuqtaning R radiusli aylana bo‘ylab tekis harakatlanayotgan xususiy holini ko‘raylik(1.8- a rasm).



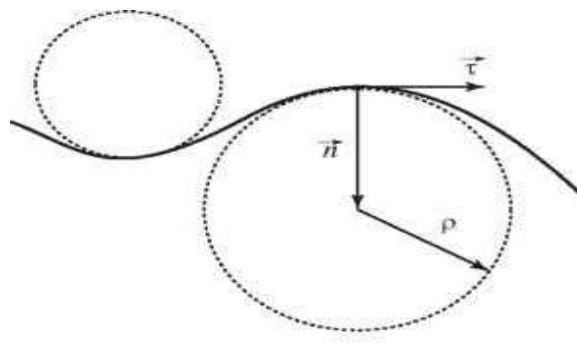
1.8 - rasm

Faraz qilaylik nuqta Δt vaqt oralig'ida 1 holatdan 2 holatga $\overrightarrow{\Delta r}$ ko'chdi, bu vaqt davomida \vec{v} vektor yo'nalishini o'zgartirib nuqta bilan birgalikda $\Delta\alpha$ burchakka buriladi. $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ vektorni tasvirlaymiz (1.8, b – rasm). Teng yonli uchburchaklarning o'xshashligidan quyidagi kelib chiqadi: $\frac{|\Delta\vec{v}|}{\tau} = \frac{|\Delta\vec{r}|}{R}$, bundan $\Delta\tau = \frac{1}{R}\Delta r$. Bunda Δt nolga intilsa, $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta\tau = d\tau$, $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta r = dr$ bo'ladi, bulardan $d\tau = \frac{1}{R}dr$ bo'lishi kelib chiqadi. Bu ifodani dt ga bo'lsak, quyidagiga ega bo'lamiz: $\frac{d\tau}{dt} = \frac{1}{R} \frac{dr}{dt} = \frac{1}{R} v$. Shuning uchun (1.13) ifodadagi ikkinchi qo'shiluvchining moduli quyidagiga teng bo'ladi $|\frac{d\tau}{dt} v| = \frac{1}{R} v^2$. Shunday qilib, normal tezlanish moduli uchun quyidagi ifodaga ega bo'lamiz: $a_n = \frac{1}{R} v^2$.

Agar aylana bo'ylab harakat notekis bo'lsa u holda

$$\vec{a} = a_\tau \vec{v} + a_n \vec{n} = \vec{v} \frac{dv}{dt} + \frac{v^2}{R} \vec{n} \quad (1.14)$$

Ixtiyoriy tekis trayektoriya (1.9-rasm) ning har bir nuqtasiga urinma aylanalarni o'tkazish mumkin, bu aylanalay trayektoriya aylanasiga aniq muvofiq keladi. Bu aylanalay radiuslariga trayektoriyaning egrilik radiusi deyiladi va ρ bilan belgilanadi.



1.9 – rasm

Bunday holda normal tezlanish $a_n = \frac{v^2}{\rho}$ ko'rinishda yoziladi, to'liq tezlanish moduli esa quyidagi formuladan topiladi:

$$|\vec{a}| = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{\rho}\right)^2} \quad (1.15)$$

1.2 Relyativistik kinematika

1.2.1. Galiley almashtirishlari

Kosmik stansiya bilan yuk kemasini tutashtirish ishlari “Yer” va “stansiya” dagi sanoq tizimlarida nazorat qilinadi, ularda kosmik kema turlicha koordinata va tezliklarga ega bo‘ladi. Havoda samolyotlarga yoqilg‘i quyishda, harakatlanayotgan transportdan otish va boshqa shunga o‘xshash hollarda ham shunday bo‘ladi. Bunday hol, bir sanoq tizimidan boshqasiga o‘tishni talab etuvchi ko‘pgina muhim amaliy vazifalarni hal etishda ko‘p uchraydi.

Faraz qilaylik O va O' sanoq tizimi mavjud bo‘lsin (1.10-rasm). Bunda O' sanoq jismi, O sanoq tizimida ϑ doimiy tezlik bilan ilgari lanma harakatlanmoqda. Ixtiyoriy A zarracha uchun

$$r = r' + r_0. \quad (1.16)$$

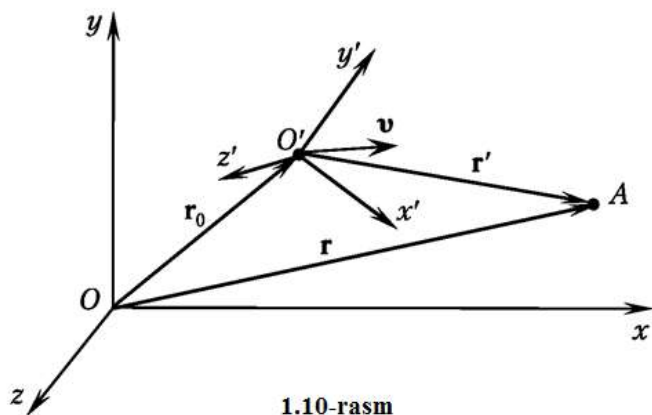
(1.16) ni vaqt bo‘yicha differensiallab, quyidagini olamiz

$$\vartheta = \vartheta' + \vartheta_0. \quad (1.17)$$

bu yerda ϑ A zarrachaning O sanoq tizimidagi tezligi; ϑ' uning O' sanoq tizimidagi tezligi; ϑ_0 O' sanoq tizimining O sanoq tizimiga nisbatan tezligi.

Agar desantchi harakatlanayotgan transportdan sakrasa, bunday holda u Yerga nisbatan o‘z tezligini kamaytirish uchun o‘zini xuddi tiralib itarilgandek his qiladi.

(1.16) va (1.17) tengliklar *Galiley almashtirishlari deyiladi*. Ular foydaliligi bilan bir qatorda, agar u O' sanoq tizimi ichida to‘liq izolyatsiya qilingan bo‘lsa, kuzatuvchiga o‘zining O sanoq tizimiga nisbatan harakatlanayotganligini aniqlash imkonini bermaydi. Bu O' sanoq tizimiga nisbatan o‘zgarmas tezlik bilan



harakatlanayotgan, O sanoq tizimi ichida to‘liq izolyatsiya qilingan kuzatuvchi uchun ham o‘rinli. Bu shunday savolni tug‘diradi: *haqiqatda tizimlardan qaysi biri harakatlanmoqda?* Madomiki buni (1.17) formula bilan aniqlanuvchi tezliklar orqali ham aniqlab bo‘lmaydi. Shuning uchun (1.17) formulani vaqt bo‘yicha differensiallab,

tezlanishni aniqlaymiz. Agar $\vartheta_0 = const$ ekanligini hisobga olgan holda, (1.17) ifodani differensiallab, quyidagini olamiz

$$a = a' . \quad (1.18)$$

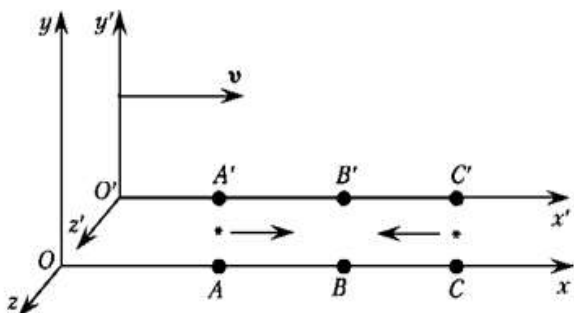
Bu harakat ham natija bermadi: O va O' sanoq tizimlarida tezlanishlar teng ekan. Bundan *Galileyning nisbiylik prinsipi* kelib chiqadi: *jism harakatining kinematik xarakteristikalarini hech qanday o'lchashlar bilan, bu sanoq tizimi tekis va to'g'ri chiziqli harakatlanayotgani yoki tinch turganini aniqlab bo'lmaydi*. Ikkala holda ham tizim tezligi o'zgarmay qoladi, va bunday sanoq tizimlari *inertsial sanoq tizimlari deyiladi*.

Galiley almashtirishlari yorug'lik tezligini o'lchashda ham ojizlik qildi. Yorug'lik tezligi birinchi marta daniyalik astronom O. Ryomer tomonidan 1676 yilda o'lchangan. U Yerning Quyosh atrofidagi orbital harakati davomida Yupiter yo'ldoshlaridan biri(davri ~ 42soat) bilan Yer orasidagi masofaning ortib borishidan foydalandi. Madomiki, qo'shimcha hosil bo'lgan masofani bosib o'tish uchun yorug'likka biror vaqt kerak bo'ladi, yo'ldoshning tutilish davri ham ortadi. XIX asr oxirida amerikalik fizik A. Maykelson(1852 — 1931yy.) va E. Morli(1830 — 1923yy.) yorug'lik tezligi qiymatini, yorug'lik — bu efir to'lqini degan shart asosida aniqlashtirdi. Ular yorug'lik tezligini Yerning Quyosh atrofidagi orbital harakati yo'nalishida(30km/s) va unga ko'ndalang bo'lgan yo'nalishida taqqoslashdi. Maykelson bu ikkisi, avval ulardan biri efir shamoliga qarshi, so'ngra uning oqimi yo'nalishida, ikkinchisi esa, unga ko'ndalang holda ikki yo'nalishda suzuvchining musobaqasiga o'xshaydi deb aytgan edi. Biroq, yorug'lik tezligi (1.17) formulaga xilof ravishda, yil fasliga yoki qanday yo'nalishda o'lchanayotganligiga bog'liq emas. Bu hayratlanarli holat boshqa bir qancha kashfiyotlar bilan birga XX asrda buyuk nazariyaning ochilishiga olib keldi. Bu nazariya *xususiy*, yoki, *maxsus nisbiylik nazariyasi* (MNN) deb ataladi. Bu nazariyaning ochilishiga irlandiyalik fizik D. Larmor(1857 — 1942yy.), fransuz matematigi va fizigi J. A. Puankare, golland fizigi X. A. Lorens(1853 — 1928yy.), nemis matematigi G. Minkovskiy(1864 — 1909yy.)lar hissa qo'shishgan. Biroq bu nazariyaning bosh muallifi, zamonaviy fizikaning asoschilaridan biri, Shveysariyada, Germaniyada va AQSHda ishlagan fizik A. Eynshteyn(1879 — 1955)dir. U 1921 yilda Nobel mukofotiga sazovor bo'lgan.

MNN ga tegishli bo'lgan kattaliklarga relyativistik kattaliklar deyiladi(lotincha *relatic-nisbiy* degan manoni bildiradi). MNN postulatlaridan biri yorug'lik tezligining o'zgarmligi(invariantligi)ga tegishli: *barcha inertsial sanoq tizimlarida*

yorug'likning vakuumdagi tezligi bir xil $c = 3 \cdot 10^8$ m/s qiymatga ega, yani yoruglik manbasi yoki qabul qilgichning nisbiy harakatiga bog'liq emas.

Yorug'lik tezligining invariantligi, bir qator hayratlanarli oqibatlarga olib keladi. O' sanoq tizimiga bog'langan raketa O sanoq tizimiga nisbatan v_0 o'zgarmas



1.11-rasm

tezlik bilan X va X' o'qlarga parallel harakatlanayotgan bo'lsin(1.11-rasm). Bu o'qlar bir biri bilan ustma-ust tushadi, rasmda ko'rgazmalilik uchun yoyilgan.

Qandaydir vaqt momentida A,B,C nuqtalar A', B', C' ($t = 0$ da $AB = A'B' = BC = B'C'$). Bu vaqt momentida A(A') va C(C') nuqtalarda yorug'lik chaqnadi.

Malumki, u ikkala manbadan ham O sanoq tizimidagi B nuqtaga bir vaqtda yetib keladi, biz (B nuqtada turgan holda) A va C nuqtalarda yorug'lik bir vaqtda chaqnadi deb xulosa qilamiz.

Bu chaqnashlar O' sanoq tizimidagi B' nuqtada ham bir vaqtda sodir bo'ladimi? – degan savol tug'iladi.

Yorug'lik unda ham shu tezlikka ega, ammo B' nuqtaning o'zi C' nuqtadagi chaqnashga tomon harakatlanmoqda va A' nuqtada sodir bo'lgan chaqnashdan uzoqlashmoqda. Shuning uchun C manbadan, A' manbadagi chaqnashga qaraganda B' nuqtaga ertaroq yetib keladi. Shunday qilib, *O sanoq tizimida bir paytda yuz bergan voqealar O' sanoq tizimida bir vaqtda yuz bermas ekan, yani bir vaqtlilik tushunchasi nisbiydir.* Bu ajoyib natija turli sanoq tizimlarida vaqtning o'tishi to'g'risidagi savolni o'rtaga tashlaydi. Yorug'lik soati deb ataluvchi soatlardan foydalanib, uni taqqoslash mumkin. O va O' sanoq tizimidagi soatlarda Δt va $\Delta t'$ davrlar bir birlari bilan quyidagi ifoda orqali bog'langan

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (1.19)$$

Jism unga nisbatan tinchlikda turadigan tizimlarga, xususiy sanoq tizimlari deyiladi. (1.19) formuladan ko'rinadiki, $\Delta t > \Delta t'$. Xususiy sanoq tizimlarida unga nisbatan harakatlanayotgan sanoq tizimlaridagiga qaraganda vaqt sekin o'tadi.

Shunday qilib, ming yillar davomida vaqtning o'tishi to'g'risidagi tasavur noto'g'ri ekan: vaqt oralig'i – nisbiy tushuncha(vaqt sanoq tizimiga bog'liq), bu ajoyib xulosa tajriba asosida tasdiqlanadi.

Amaliyotdan misollar: Yer sirtidan 10 — 30 km balandlikda azot va kislorod atomlarining kosmik nurlar bilan bombardimon qilinishi natijasida ko‘plab elementar zarralar hosil bo‘ladi, shu jumladan μ mezonlar(myuonlar). Xususiy sanoq tizimida ular $2 \cdot 10^{-6}$ s yashaydi va so‘ng yemiriladi. Ular yorug‘lik tezligida harakatlansa ham, bosib o‘tishi mumkin bo‘lgan maksimal masofalari $2 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^8 = 600$ metrga teng, biroq bu zarralarni Yer sirtida ham topishmoqda, yani ular 10 km dan ortiq uchishmoqda! Buni shu bilan tushuntirish mumkinki, myuonlar faqatgina xususiy sanoq sistemalaridagina $2 \cdot 10^{-6}$ s yashaydi, Yer soati bo‘yicha esa ancha uzoq yashaydilar.

1.2.2.Lorens almashtirishlari

Yuzaga kelgan bu vaziyat fan uchun haqiqiy halokat bo‘lib ko‘rindi.

1.11-rasmda ko‘rsatilgan tizim uchun Galiley almashtirishlari quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi

$$x = x' + vt', \quad y = y', \quad z = z', \quad t = t', \quad (1.20)$$

ammo endi biz ularni tuzatishga majburlamiz, bu esa mustahkam o‘rnashib olgan makon va zamon haqidagi tushunchalarni butunlay o‘zgartirdi. Bunday jasorat Gollandiyalik nazariy fizik X. Lorents (1853-1928 yy.)ga tegishli. Lorents almashtirishlari quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (1.21)$$

$$y = y', \quad z = z', \quad (1.22)$$

$$t = \frac{t' + vx'/c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (1.23)$$

bu erda c - yorug'likning vakuumdagi tezligi. Ularning asosiy farqi shundaki ular koordinatalarni va vaqtni ajralmas qilib bog'laydi. Vaqt esa, vaqtni hisobga olmasdan faqatgina makon haqida gapirishlariga imkon bermaydigan ajralmas to'rtinchi parametrdir. Oddiy uch o'lchovli bo'shliq(vakuum) to'rt o'lchovli bo'shliq bilan almashtiriladi. Demak, endi Galiley almashtirishlari haqida unutishga to'g'ri keladimi?

Ushbu muhim savol nafaqat mazkur holatga tegishli, balki umuman ilm-fan rivojiga ham tasir qiladi. Yangi qonun paydo bo'lganda, unga moslik tamoyili deb

nomlangan talab qoyiladi: yangi nazariya eskisini xususiy hol sifatida o'z tarkibida saqlashi lozim, bundagi shart-sharoitda eski nazariya haqiqiy bo'ladi.

SAVOL. Lorents almashtirishlari xususiy hol sifatida avvalgi almashtirishlarni o'z ichiga oladimi?

JAVOB. Ko'p yillar davomida insoniyat tomonidan foydalanib kelingan Galileyning almashtirishlari $v \ll c$ tezliklarda o'zini oqladi, (1.21) — (1.23) formulalarda $\frac{v}{c} \ll 1$ deb olinsa, (1.20) formulaga ega bo'lamiz. Bu Lorents almashtirishlari moslik tamoyilini qoniqtirishini tasdiqlaydi.

1.1.7 Absolyut qattiq jismning aylanma harakati. Qo'zg'almas o'q

(1.21) — (1.23) tengliklardan amalda muhim va hayratlanarli bo'lgan natijalar kelib chiqadi. Faraz qilaylik x o'qi bo'ylab sterjen joylashgan bo'lsin (1.11-rasm). Bu sterjen tinch holatda bo'lgan O tizimdagi uning uzunligiga xususiy uzunlik deyiladi va u bir vaqtda o'lchangan sterjen uchlari koordinatalari farqi bilan aniqlanadi: $l = x_2 - x_1$. O' sanoq tizimida sterjen v tezlik bilan harakatlanadi, uning uchlari koordinatalarini bir vaqtda o'chash O' sanoq tizimidagi soatlar bilan amalga oshiriladi. U holda (1.21) munosabatga asosan

$$l = x_2 - x_1 = \frac{x'_2 - x'_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{l'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (1.24)$$

Bundan ko'rinadiki, $l' < l$, yani jismning sanoq tizimidagi uzunligi u harakatlanayotgan tizimga nisbatan harakat yo'nalishida qisqaradi. Shunday qilib, "uzunlik" tushunchasi ham xudda "vaqt" tushunchasi kabi nisbiydir, yani jismning o'lchami sanoq tizimiga bog'liq. (1.23) va (1.24) formulalardan ko'rinadiki, $\frac{v}{c}$ qancha katta bo'lsa, relyativistik natija ham shuncha katta bo'ladi.

1.2.3 Tezliklarni relyativistik qo'shish qonuni

Lorents almashtirishlaridan kelib chiqadigan yanada muhimroq natija tezliklarni relyativistik qo'shish qonuniga tegishli. (1.21) va (1.23) ifodalardan quyidagilarni olamiz

$$\Delta x = \frac{\Delta x' + v \Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad (1.25)$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t' + \vartheta \Delta x' / c^2}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}}. \quad (1.26)$$

Birinchi tenglikni ikkinchisiga bo‘lib quyidagini olamiz

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta x' + \vartheta \Delta t'}{\Delta t' + \vartheta \Delta x' / c^2}. \quad (1.27)$$

Bu ifodaning o‘ng tomoni surat va maxrajini $\Delta t'$ ga bo‘lib, cheksiz kichik miqdorlarni hisobdan chiqarsak, tezliklarning yangi ifodasini olamiz.

$$u = \frac{u' + \vartheta}{1 + \vartheta u' / c^2}, \quad (1.28)$$

bu yerda u , u' - jismning O va O' sanoq tizimida x o‘qi bo‘ylab yo‘nalgan tezliklari.

SAVOL. (1.28) formula moslik tamoyilini qoniqtiradimi?

JAVOB. $\vartheta u' / c^2 \ll 1$ da (1.28) formula (1.17) qonunga aylanadi. Demak (1.28) formula moslik tamoyilini qoniqtiradi.

Ko‘rinadiki, (1.28) ifoda ham xuddi (1.17) qonunga o‘xshab har qanday tezlikka erishishga to‘sqinlik qilmaydi. Agar, O' sanoq tizimida (1.11-rasm) zarracha x' o‘q bo‘ylab c dan salgina kichik u' va c dan salgina kichik ϑ tezliklar bilan harakatlansa,

bunday holda ularning yig‘indisi c dan kata bo‘ladi. Ammo, (1.28) ifodadan quyidagi tengsizlik kelib chiqadi

$$c - u = c - \frac{u' + \vartheta}{1 + \frac{\vartheta u'}{c^2}} = \frac{(c - \vartheta)(c - u')}{(1 + \frac{\vartheta u'}{c^2})} > 0, \quad (1.29)$$

bundan ko‘rinadiki, shartga ko‘ra suratdagi ikkala qavs ham musbat son. Demak, zarrachaning u tezligi O sanoq tizimidagi har qanday u' va ϑ tezliklarda yorug‘likning c tezligidan kichik.

Yorug‘likning vakuumdagi tezligi — tabiatda mumkin bo‘lgan eng katta tezlik.

Nyuton davridan beri fanda uzoqdantisir haqidagi tushunchasi qaror topgan bo‘lib, unga ko‘ra, kuchlar, masalan, tortishish yoki kulon o‘zarotasiri har qanday masofaga bir zumda tarqaladi. Maxsus nisbiylik nazariyasi(MNN)da olingan natija buni rad etadi, yaqindantisir nazariyasiga ko‘ra: hech qanday jarayon, hech qanday signal yorug‘likning tezligidan katta tezlik bilan tarqalishi mumkin emas!

Nemis astronomi G. Olbers(1758 — 1840yy.) tungi qop-qora osmonni ko‘rib hayratlangan(Olbers paradoksi): koinot cheksiz bo‘lgani uchun, har qanday kishi uchun u yulduzlarni nigohi yo‘nalishi bo‘yicha ko‘rishi kerak, yani osmon yorqin nur sohib turishi kerak! Biroq, yorug‘lik tezligi cheklanganligi sababli, uzoq masofalardagi yulduzlardan tarqalgan yorug‘lik bizga etib kelishga ulgurmaydi.

Shunday qilib, agar biz Lorens almashtirishlaridan foydalansak, unda nafaqat mexanika qonunlari, shuningdek, elektrodinamika qonunlari (yorug‘likning harakati) saqlanib qoladi. Ularning bir sanoq tizimidan boshqasiga o‘tishda ko‘rinishi o‘zgartirmaydi va “haqiqiy” harakatni aniqlash uchun asos bo‘lib xizmat qila olmaydi. Bu Eynshteynga nisbiylik printsiptini *materiyaning barcha harakat shakllariga qo‘llash imkonini berdi.*

MNNning birinchi postulati: *inertsial tizimlarida barcha tabiiy hodisalar, bir xil boshlang‘ich shartlarda bir xilda o‘tadi.*

MNN xulosalari olimlar va faylasuflarni chalkashlikka olib keldi. Ikki asrdan ko‘proq vaqt davomida fan, texnika va dunyoqarashda Nyuton mexanikasi tantana qildi.

Qizg‘in munozaralardan so‘ng aniq bo‘ldiki, “fazo”, “vaqt”, “tezlik” tushunchalari nisbiyligida dunyoqarashlarga zarar yetkazadigan hech nima yo‘q. Aslida allaqachon Galileyning nisbiylik printsipti harakatga nisbatan odamlarning hukmlari noto‘g‘ri bo‘lishi mumkinligiga guvohlik berdi: ular kuzatish shartlari asosida ko‘rib chiqilishi kerak va MNN faqat mazkur xulosani rivojlantirdi. U yuqori tezlikdagi, kosmos uchun xarakterli bo‘lgan, tezlatgichlardagi jarayonlar uchun yangi muhim bilish vositasini beradi.

XULOSA

Mexanik harakat shunday ma‘noda nisbiyki, zarrachalarning koordinatalari va tezligi mos sanoq tizimini tanlash bilan aniqlanadi, ammo hech qanday inertsial sanoq tizimida harakatlanish faktini aniqlab bo‘lmaydi - mexanikaning barcha hodisalari va tabiatning boshqa barcha hodisalari sanoq tizimini tanlashga nisbatan invariantdir.

Kinematika qonunlari texnikada, shu jumladan qurol-yarog‘ va harbiy texnikada keng qo‘llaniladi.

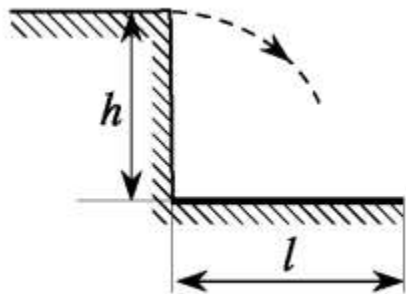
Nazorat uchun savollari

1. Mexanika va kinematika nimani o‘rganadi?
2. Mexanikada modellashtirishlarga misollar keltiring va tushuntiring.

- 3.Sanoq tizimi deb nimaga aytiladi?
- 4.Koordinatalar tizimi deb nimaga aytiladi va uning qanday turlarini bilasiz?
5. Mexanik harakat deb nimaga aytiladi va u qanday usullarda beriladi?
- 6.Trayektoriya deb nimaga aytiladi?
- 7.Moddiy nuqta harakatining kinematik qonunini tushuntiring.
- 8.Ko'chish vektori deb nimaga aytiladi va bosib o'tilgan yo'l bilan qanday bog'langan?
9. Moddiy nuqta harakatining tezligi va tezlanishi?
10. Tekis o'zgaruvchan harakat deb qanday harakatga aytiladi?
11. To'la, normal va urinma tezlanishlarni tushuntiring.
12. Galiley almashtirishlari va uning nisbiylik prinsipini tushuntiring.
- 13.Inertsial sanoq tizimi deb qanday sanoq tizimiga aytiladi?
- 14.Lorents almashtirishlarini tushuntiring.
15. Maxsus nisbiylik nazariyasi(MNN) postulatlarini tushuntiring.
16. Tezliklarni relyativistik qo'shish qonuni tushuntiring.
17. Nega haydovchilar yo'lning aylana qismida tezlikni pasaytirishadi?

Masala yechish namunalari

1.1. Dushman bo'linmasi h balandlikdagi jarlik ostidan l masofada yotadi(1.12-rasm). ϑ_0 boshlang'ich tezligi bilan gorizontol ravishda uloqtirilgan granata nishonga etib boradimi va agar zapal t soniya davomida yonib tursa, granata havoda yoki yerda portlashini aniqlang?



1.12-rasm

Yechish. Granataning gorizontol uchish uzoqligi $l_1 = \vartheta_0 t_1$, bu erda t_1 uning tushish vaqti bo'lib, jarlikning balandligi bilan aniqlanadi: $t_1 = \sqrt{2h/g}$. Shunday qilib, $l_1 = \vartheta_0 \sqrt{2h/g}$. l_1 va l ni hamda t_1 va t ni taqqoslab, berilgan savollarga javob olamiz.

1.2. Bombardimonchi samolyot ufqqa 60° burchak ostida sho'ng'iydi. Agar bomba tashlanayotganda samolyotning tezligi 720 km/soat va parvoz balandligi 500 m bo'lsa, bomba nishondan qanday masofada gorizontol tashlanishi kerak? Havoning qarshiligi hisobga olinmasin.

Berilgan: $\varphi = 60^\circ$; $\vartheta_0 = 720$ km/soat = 200 m/s; $h = 500$ m.

S-?

Yechish. Izlanayotgan masofa bomba tezligining gorizontal komponenti va uning tushish vaqti bilan belgilanadi: $S = v_0 t \cdot \cos\varphi$.

t vaqt bomba tashlangan h balandligi va uning tekis tezlanuvchan tushishi bilan aniqlanadi: $S = v_0 t \cdot \sin\varphi + \frac{gt^2}{2}$.

Ushbu kvadrat tenglamani t uchun echib quyidagini olamiz

$$t = -\frac{v_0}{g} \sin\varphi \pm \sqrt{\left(\frac{v_0}{g} \sin\varphi\right)^2 + \frac{2h}{g}}.$$

Bunday holda, ildiz oldidagi “ - “ belgisi fizik ma’noga ega emas.

Berilgan son qiymatlarini joyiga qo‘ysak, $t = 2,67$ s ni olamiz. Ushbu qiymatdan foydalanib, $S = 267$ m ekanligini topamiz.

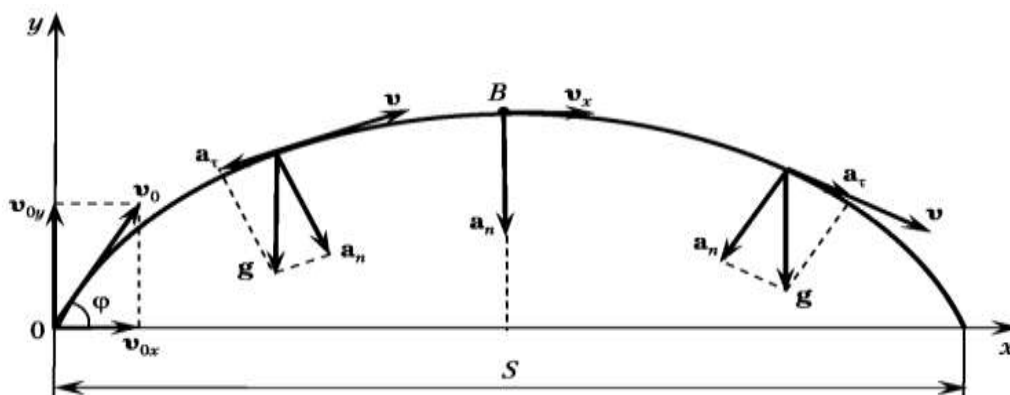
1.3. Snaryadning boshlang‘ich tezligi v_0 , uni uloqtirish chizig‘ining ufq bilan tashkil qilgan burchagi φ ga teng. Snaryadning uchish vaqti va masofasini, traektoriyaning maksimal balandligini va uning yuqori nuqtasidagi egrilik radiusini aniqlang. Havoning qarshiligi hisobga olinmasin.

Yechish. Snaryadning tezligi va koordinatalari quyidagi ifodalar bilan aniqlanadi

$$v_x = v_0 \cos\varphi, v_y = v_0 \sin\varphi - gt; \quad (1.30)$$

$$x = v_0 t \cos\varphi, y = v_0 t \sin\varphi - \frac{gt^2}{2}. \quad (1.31)$$

Agar oxirgi ikki tenglamadan t chiqarilsa, u holda biz snaryadning uchish traektoriyasi $y(x)$ ni olamiz. U 1.13-rasmda tasvirlangan parabola shaklida.



1.13-rasm

Traektoriyaning simmetriyasi tufayli snaryadning harakatlanish vaqti t traektoriyaning eng yuqori nuqtasiga ko'tarilish vaqtining ikki baravariga teng:

$$t_h = \frac{2\vartheta_0 \sin\varphi}{g}. \quad (1.32)$$

Shuning uchun uchish uzoqligi

$$S = \vartheta_x t_h = \frac{2\vartheta_0^2 \cos\varphi \sin\varphi}{g} = \frac{\vartheta_0^2}{g} \sin 2\varphi. \quad (1.33)$$

(1.33) formuladan ko'rinib turibdiki, $\varphi = 45^\circ$ da u maksimal bo'ladi:

$$S_{max} = \frac{\vartheta_0^2}{g}. \quad (1.34)$$

Traektoriyaning h balandligini tekis tezlanuvchan (yoki tekis sekinlanuvchan) harakatdagi yo'l formulasiga $t = t_h/2$ vaqtni qo'yib topish oson. (1.33) formuladan foydalanib, quyidagini olamiz

$$h = \frac{gt^2}{2} = \frac{\vartheta_0^2}{2g} \sin^2\varphi.$$

Ko'rib turganimizdek, h balandlik $\varphi = \frac{\pi}{2}$ burchak ostida maksimal bo'ladi:

$$h_{max} = \frac{\vartheta_0^2}{2g} \quad (1.35)$$

Traektoriyaning eng yuqori B nuqtasida (1.13-rasmga qarang) $\vartheta = \vartheta_x = \vartheta_0 \cos\varphi$; $a_x = a_\tau = 0$, $|a_y| = |a_n| = g = \frac{\vartheta_0^2}{R}$, bu yerda R – trayektoriyaning egrilik radiusi. Bulardan

$$R = \frac{\vartheta_0^2}{g} \cos^2\varphi.$$

Masalan, Kalashnikovning bronetransporteriga o'rnatilgan pulemyotidan gorizont tekislikka 30° burchak ostida otilgan, boshlang'ich tezligi 825m/s, kalibri 7,62 mm bo'lgan o'qi uchun $t_{u.v} = 84,2s$; $h \approx 9km$; $S \approx 60km$; $R \approx 26km$ ga ega bo'lamiz. (1.34) formulani etiborga olsak, o'qning Oydagi uchish uzoqligi Yerdagiga nisbatan kichik ekanligiga guvoh bo'lamiz.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Suzuvchi tank daryo bo'ylab suvning oqim tezligiga nisbatan ikki baravar katta tezlikda suzadi. Uning qirg'oqqa nisbatan harakati minimal bo'lishi uchun u o'z yo'nalishini qanday burchak ostida ushlab turishi kerak?

2.Sun'iy yo'ldosh doimo Yer sirtining bir nuqtasi ustida harakatlanishi uchun uni qanday uchirish kerak (bunday orbitaga geostatsionar orbita deyiladi)?

3.Signal raketaning zapali t vaqt davomida yonib turadi. Raketa traektoriyaning eng yuqori nuqtasida chaqnashini ta'minlash uchun, uning harakatlanishining boshlang'ich tezligi va otilish burchagi qanday bog'langan?

4. GLONASS sun'iy yo'ldoshining aylanma orbitasining balandligi 19100 km. U qanday tezlikda harakat qilmoqda?

II BOB.DINAMIKA

2.1 Moddiy nuqta dinamikasi

Zarrachalarning harakatlanishini o'rganishda, ularning qanday harakatlanishini aniqlash ko'pincha yetarli emas, odatda nima sababdan harakatlanishini bilish talab etiladi. Bu savolga mexanikaning yana bir bo'limi dinamika javob beradi. Dinamikada jismlarning kuch tasiri ostidagi harakatining qonuniyatlari o'rganiladi. Dinamika taniqli ingliz fizigi I.Nyuton(1643-1727yy.) qonunlariga asoslanadi. U tabiatshunoslik asosi bo'lgan bu qonunlarni yaratishda o'zidan oldin ijod qilgan olimlar G. Galiley, N. Kopernik va I. Kepler tomonidan yaratilgan bilimlarga asoslanadi.

Agar jismga hech qanday tasir bo'lmasa yoki ular bir-birini kompensasiya qilsalar, demak ular erkin harakat qiladi. *Boshqa erkin harakatlanadigan jism bilan bog'langan sanoq tizimida uning harakati to'g'ri chiziqli va tekis bo'ladi, yani doimiy tezlikda sodir bo'ladi. Bunga inertsiya bo'yicha harakat deyiladi.* Inertsiya qonunini G. Galiley va (mustaqil ravishda) fransuz faylasufi, fizik va matematik R. Dekart (1596-1650 yy.) yaratishgan, ammo u ko'proq Nyutonning birinchi qonuni sifatida tanilgan: *jismlarga boshqa jismlar tasir etmaguncha u doimiy tezligini saqlaydi, yoki tinch turadi.* Bu qonun faqat *inertsial sanoq tizimida*(IST)bajariladi, bu qonun bajarilmaydigan sanoq tizimlariga *noinertsial sanoq tizimlari*(NIST) deyiladi.

Ko'pgina nazariy va amaliy masalalarda *inertsial sanoq tizim*(IST)lari *Yer sirti bilan bog'langan va laboratoriya sanoq tizimi deyiladi.* Madomiki Yer o'z o'qi atrofida aylananar ekan, to'g'risini aytganda, bu noto'g'ri albatta.

SAVOL. Xatolik juda kattami?

JAVOB. Yer sirtidagi normal tezlanish: $a_n = \frac{\vartheta^2}{R}$, bu yerda $R = R_{Yer} \cdot \cos\varphi$, R_{Yer} — ekvatoridagi Yer radiusi; φ — joyning geografik kengligi; $\vartheta = \frac{2\pi R}{T}$, $T = 24$ — Yerning o‘z o‘qi atrofida aylanish davri. Bundan ko‘rinadiki, hatto ekvatorida ham $a_n = \frac{4\pi^2 R_{Yer}}{T} = 0,033m/s^2$, bu erkin tushish tezlanishiga nisbatan $\sim 3\%$ ni tashkil etadi. Yer Quyosh atrofida ham aylanadi, biroq uning orbital harakati normal tezlanishi yanada kichik. Shuning uchun ko‘pgina masalalarda inertsiyal sanoq tizim(IST)larini Yer sirti bilan bog‘lash bemalol mumkin, mazkur darslikda mexanik harakat, aynan laboratoriya sanoq tizimida qaraladi (agar avvaldan boshqacha kelishib olingan bo‘lmasa).

Inertsiya bo‘yicha harakat jismlarning o‘zarotasiri oqibatida buziladi, o‘zarotasir o‘lchovini R.Dekart taklif qilgan va buning uchun “kuch” tushunchasini kiritgan. Aynan *bir xil kuch* tasirida *turli* jismlar *turlicha* tezlanishlar oladi, xuddi uning tasiriga turlicha qarshilik ko‘rsatgandek. Materiyaning bu xossasiga *inertlik* deyiladi. Jism *inertligining* o‘lchoviga *massa* deyiladi. Uni *turli* kuchlar $F_1, F_2, F_3 \dots$ tasirida *aynan bir jism, turlicha* $a_1, a_2, a_3 \dots$ tezlanishlar oladi. Bunday holda quyidagi kelib chiqadi

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2} = \frac{F_3}{a_3} = \dots = \text{const.} \quad (2.1)$$

Aynan shu doimiy, jismning *inert massasi* sifatida qabul qilingan. Massa birligi 1kg ning xalqaro etaloni (platina-iridiy qotishmasi) Parij yaqinida joylashgan Sevr shahrida saqlanadi.

Tajribalarning ko‘rsatishicha, (2.1) munosabat \mathbf{F} kuch *vektorining turli yo‘nalishlarida* ham haqiqiy, yani kuchdan farqli ravishda *massa — skalyar kattalik*. Uning jism hajmi V bo‘yicha taqsimlanishini xarakterlovchi kattalikka ρ *zichlik* deyiladi. Massaning V hajm bo‘yicha tekis taqsimlanishida

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (2.2)$$

Agar massa notekis taqsimlangan bo‘lsa, (2.2) formula faqatgina *o‘rtacha* zichlik, uning aniq qiymati $\rho = \frac{dm}{dV}$ bo‘ladi. Masalan, suv uchun $\rho \sim \frac{1g}{sm^3}$, Yer markazida $\rho \sim \frac{10g}{sm^3}$, Quyosh markazida $\rho \sim \frac{102g}{sm^3}$, neytron yulduzlarda esa $\rho \sim \frac{1015g}{sm^3}$.

Massa jismga tasir etuvchi kuch bilan bir xil yoʻnalgan jism tezlanishini aniqlaydi. Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan,

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}}{m}, \quad (2.3)$$

yani *jismning kuch tasirida olgan tezlanishi, tasir etuvchi kuchga toʻgʻri proporsional, jism massasiga teskari proporsional.*

Demak tezlanish, uni yuzaga keltirgan kuch orqali aniqlanadi. Shu bilan bir vaqtda kuch, bu jismlar oʻzarotasiri oʻlchovi boʻlib, erkin jism tezlanishi yoki bogʻlangan jism deformatsiyasi bilan aniqlanadi. (2.3) tenglamadan koʻrinadiki, tezlanish oʻzini oʻzi orqali aniqlamaydi. (2.3) tenglamaga *moddiy nuqtaning harakat tenglamasi* deyiladi. Tenglamadagi \mathbf{F} — bu natijalovchi kuch:

$$\mathbf{F} = \sum_i \mathbf{F}_i$$

(2.3) tenglama keltirib chiqarilmagan, yani postulat sifatida aytilgan. Bu qonun Nyutonning koʻp sonli kuzatishlari natijalarini mantiqiy tahlil qilish va umumlashtirishi tufayli olingan.

(1.5) tenglikdan foydalanib, (2.3) formulani quyidagi koʻrinishda yozish mumkin

$$\mathbf{F} = \frac{m d\vartheta}{dt} = \frac{d(m\vartheta)}{dt} = \frac{dp}{dt}, \quad (2.4)$$

bu yerda $m\vartheta = p$ jism impulsidir. (2.4) formuladan quyidagi ifoda kelib chiqadi

$$\mathbf{F} dt = dp \quad (2.4')$$

$\mathbf{F} dt$ koʻpaytmaga kuch impulse deyiladi. (2.4) va (2.4') formulalar (2.3) formulaga qaraganda ancha umumiy, *massaning vaqtga bogʻliqligi* holatlarini ham koʻrsatadi. (2.4') tenglama terminologiyaga nisbatan malum simmetriyani shakllantiradi: *zarrachaga tasir etuvchi kuch impulsi, zarracha impulsining oʻzgarishiga teng.*

(2.3) tenglama kuch birligi *Nyutonni* aniqlaydi: $1\text{N} = 1\text{kg} \cdot \frac{1\text{m}}{\text{s}^2}$, u esa, oʻz navbatida boshqa kattalik birligini keltirib chiqaradi, masalan bosimni:

$$p = \frac{F}{S}, \quad (2.5)$$

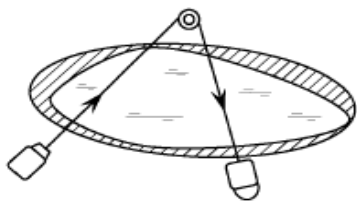
bu yerda F - S yuza sirtiga perpendikulyar yoʻnalgan kuch moduli. Bosim birligi paskal(Pa) fransuz matematigi, fizigi va filosofi B.Paskal(1623—1662yy.)sharafiga qoʻyilgan: $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$.

Jismlar o‘zarotasiri xarakterini(bu o‘zarotasir tabiatiga bog‘liq bo‘lmagan holda) Nyutonning uchinchi qonuni ifodalaydi: *jismlarning o‘zarotas kuchlari modullari bo‘yicha teng va ular uchun umumiy bo‘lgan to‘g‘ri chiziq bo‘ylab qarama-qarshi yo‘nalgan.*

Nyuton qonunlari texnikaning jadal rivojlanishiga asos yaratdi va unga keng qamrovli tasir ko‘rsatmoqda. X. Gyuygens barcha tabiat hodisalari oxir-oqibat mexanikaga olib keladi deb takidlagan edi. Bu nuqtai nazar “mexanizm” yoki “mexanik determinizm” deb nomlangan falsafiy yo‘nalishga asos bo‘ldi. Vaqt unga jiddiy tuzatishlar kiritdi, ammo hali ham ko‘pchilik amaliy, shu jumladan harbiy ishlardagi masalalarni hal qilishga imkon beradigan Nyuton qonunlarining qiymati pasaymadi.

2.2. Elastiklik kuchlari

Kuch tasirida jism nafaqat tezlanish oladi, balki deformatsiyalanadi ham. *Agar kuch tasirini to‘xtatgandan so‘ng, jism asl shakli va hajmiga qaytsa, bunday deformatsiya elastik deformatsiya deyiladi.* Elastik deformatsiya atomlar orasidagi



2.1-rasm

elektrostatik o‘zaro tasir tufayli yuzaga keladi. Buni prujinaning ishlashiga o‘xshatish mumkin: atomlarni bir-biridan uzoqlashtirishga harakat qilinsa, ular tortishadi, bir-biriga yaqinlashtirilganda esa, ular itarishadi. Shu sababli tashqi kuch butun qattiq jismga tasir qiladi, masalan, sim arqonga (2.1-rasm) osilgan yuklar. Elastik deformatsiyadan tashqari plastik deformatsiya ham yuzaga kelishi mumkin. *Agar kuch tasirini to‘xtatgandan so‘ng, jism asl shakli va hajmiga qaytmasa, bunday deformatsiyaga plastik deformatsiya deyiladi.* Bu keltirilgan tariflarda *ideal* plastik va *ideal* elastik deformatsiya ko‘zda tutiladi.

Elastik sterjen x uzunligining kuch tasiridagi $\Delta x = x - x_0$ cho‘zilishiga *absolyut cho‘zilish* deyiladi.

SAVOL. Nima sababdan o‘zgarimas kuch tasiri ostidagi jismning uzayishi to‘xtaydi?

JAVOB. Teng tasir etuvchi kuch nolga teng bo‘ladi: chunki jismda unga tasir etayotgan F tashqi kuchga moduli bo‘yicha teng va yo‘nalishi antiparallel bo‘lgan F_{el} -elastiklik kuchi yuzaga keladi.

Bu kuch bilan jismning cho‘zilishi orasidagi bog‘lanishni ingliz fizigi R. Guk (1685-1703 yy) har tomonlama aniqlagan. U boshqa yo‘nalishdagi fanlardan ajratilgan fizika bilan professional shug‘ullangan birinchi olim hisoblanadi. R.Guk tomonidan 1660 yilda kashf etilgan *elastiklik qonuni*, fizikaning birinchi miqdoriy qonuni: *elastiklik kuchi absolyut cho‘zilishga to‘g‘ri proporsional*, yani

$$F_{el} = -k\Delta x. \quad (2.6)$$

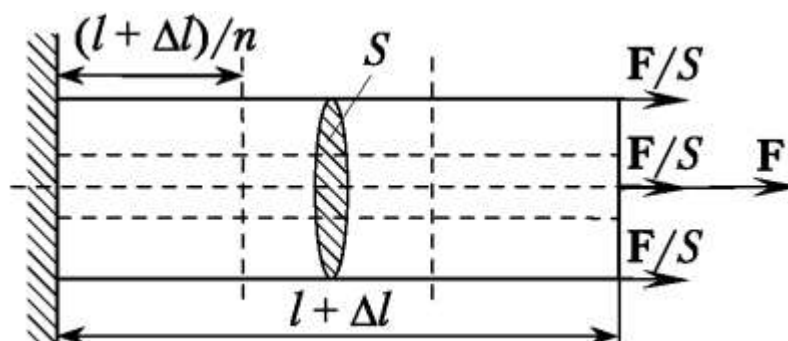
Bu yerda “minus” ishora elastiklik kuchi x o‘qiga antiparallelligi bilan bog‘liq. (2.6) formula faqatgina cho‘zilish(siqilish) uchungina emas, balki, deformatsiyaning boshqa turlari uchun ham to‘g‘ri: siljish, burilish yoki buralish, bularda *absolyut cho‘zilish* o‘rniga burilish burchagi yoki o‘qdan egilish tushunchalari qatnashadi(laboratoriya amaliyotida avtomobil osmalari prujinalarining *cho‘zilishi* va resor listlarining o‘qdan egilishi o‘lchanadi).

(2.6) ifodadagi k -proporsionallik koeffitsentiga *qattqlik* deyiladi. *Qattqlik* koeffitsenti muayyan jismni xarakterlaydi. Turli elastic jismlarni loyihalashda yoki tadqiq etishda (2.6) formuladan foydalanish noqulay, shuning uchun jismning tasodifiy o‘lchamlariga bog‘liq bo‘lgan xarakteristika emas, balki materialning asosiy parametrlariga bog‘liq bo‘lgan xarakteristika zarur bo‘ladi.

Uzunligi l va ko‘ndalang kesim yuzi S bo‘lgan bir jinsli sterjenni xayolan xuddi shunday uzunlikdagi, ammo asosining yuzi bir birlikka teng bo‘lgan bo‘laklarga bo‘lamiz(2.2-rasm). Har qaysi asosga sterjen o‘qi bo‘ylab yo‘nalgan $\sigma = F/S$ kuch tasir qiladi, modomiki har bir silindrchaning Δl *absolyut cho‘zilishi* butun silindrning *absolyut cho‘zilishiga* teng, u holda $\Delta l \sim \sigma$. Xuddi shunday bir xil l/n uzunlikdagi sterjen elementlari, bir xil $\Delta l/n$ cho‘zilishga ega bo‘ladi, u holda sterjenning umumiy cho‘zilishi $\Delta l \sim l$ bo‘ladi. Bu formulalar majmuidan quyidagini olamiz

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (2.7)$$

bu yerda $\sigma = \frac{F_{el}}{S}$ – elastik kuchlanish. Bu sterjenning birlik ko‘ndalang kesim yuzasiga qanday elastiklik kuchi tasir etayotganligini ko‘rsatadi; $\varepsilon = \Delta l/l$ nisbiy cho‘zilish, E proporsionalik koeffisenti esa, ingliz fizigi, mexanigi va astronomi T. Yung(1773-1829 yy) sharafiga Yung moduli deyiladi. (2.7) formula Guk qonunini ifodalaydi: *elastik kuchlanish nisbiy cho‘zilishga proporsional*. (2.7) formuladan ko‘rinadiki, $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$, yani Yung moduli $\varepsilon = 1$ da qanday *elastik kuchlanish* yuzaga kelishini ko‘rsatadi. Bu xarakteristika faqatgina jismning materialiga bog‘liq (E ning qiymatlari malumotnomalardagi jadvallarda beriladi).



2.2-rasm

$\sigma(\varepsilon)$ bog'lanish, shu jumladan elastiklik chegarasidan chiqishga, *uzilish diagrammasi* deyiladi. U faqatgina elastik deformatsiyani emas, balki turli materiallarning plastik deformatsiyasini ham, hatto kuchlanishgacha xarakterlaydi, bunday sharoitda material oqadi va undan keyin uziladi, bu texnologik jarayonlarda amalga oshiriladigan ayrim ishlar va qurollarning yakson etish tasiri uchun muhimdir.

Tarixga nazar. Qurollar tarixi insoniyat tarixi bilan birgalikda ribojlanib brogan. Odamning muskul kuchi imkoniyatlari, yakkakurash usullarini qo'llagan holda yovvoyi hayvonni yoki odamni yiqitishi hatto o'ldirishi mumkin. Biroq, odam oraliq masofa bir necha metrdan ortgach uni nazorat qila olmaydi, charchaydi shuning uchun jismoniy kuchayishini texnik vositalar bilan almashtirib, dushmandan ustun kelish, undan uzoqlashish imkoniyatiga ega bo'ladi. Bunda qadimgi odamning miyasiga tosh, tayoq va o'q uchini o'tkir qilish fikri kelgan: ko'ndalang kesim yuzi qancha kichik bo'lsa, σ shuncha katta bo'ladi (bir xil kuchda) va materialning uzilish ehtimolligi shuncha yuqori bo'ladi. Shu sababdan sanchiladigan, kesadigan, yaralaydigan qurollar hozirgi kunda ham qo'llaniladi.

Materiallarga mexanik va issiqlik bilan ishlov berish, shuningdek, kuchning tasir vaqti davomiyligi, ularning xususiyatlarini o'zgartiradi. Agar, masalan, elastik po'latni qizdirsak, u egiluvchan bo'ladi, va aksincha - suyuq azot bilan sovutilgan egiluvchan qo'rg'oshin mo'rt bo'ladi. Agar elastik material tanasi uzoq vaqt davomida deformatsiyalangan holatda saqlansa, undan yukni olib tashlanganidan keyin u o'z shaklini to'liq tiklamaydi.

Ushbu hodisa materialning *moddiy charchoqligi* deb ataladi.

Agar elastik qarshilik bo'lmasa, har qanday jism sirt bo'ylab harakatlanish imkoniyatiga ega bo'lmas edi. Hech qanday mashina ishlamasdi: uning qismlarining

bir-birining sirtidagi har qanday harakati, ularning shakli va o'lchamining o'zgarishiga olib kelar edi.

Texnikaning elastik elementlari bu-ressorlar, shinalar, avtomobillarning prujinalari, minalarning portlatgichlari, otish qurollari zatvorlari, tashiladigan narsalarning elastik osmalari va boshqalar. Shu bilan birga, bolg'alash, shtamplash va prokat plastik deformatsiyaga asoslanadi, tokarlik ishlov berishi, burg'ulash va frezalash mustahkamlik chegarasini yengib o'tish (qurol stvolida u katta bo'lishi kerak) va boshqalar.

2.3 Ishqalanish kuchlari

Agar turli xil jismlarning atomlari orasidagi masofa atom kattaligi tartibida bo'lsa ($\sim 10^{-10}$ m), u holda elektrostatik tortishish jismlarning o'zaro tegishuvchi sirtlari yuzasi bo'ylab harakatiga qarshi yonal'adi (yelimning tasirini ham xuddi shu orqali tushuntiriladi).

Qarama-qarshi tasir "dog'lar" hosil qiluvchi sirtidagi mikrocho'qqilalar va mikro chuqurliklar tufayli kuchayadi. Bir jismni boshqa jism sirtida siljatilganda, bu jism tomonidan tasir qiluvchi F kuchga teng bo'lgan uni muvozanatlovchi F_{tinch} kuch paydo bo'ladi, bu kuchga *tinchlikdagi ishqalanish kuchi* deb ataladi. Jismlarning nisbiy harakati hali paydo bo'lmagandagi uning maksimal qiymatiga tinchlikdagi ishqalanishning chegaraviy kuchi (F_{max}) deyiladi. Bu jismlarning materiallariga, ularning sirtlari holatiga va tasirlashuv joylarida o'zaro "tishlashish"lar soni va chuqurligi bilan aniqlanadigan normal bosim N kuchiga bog'liq. Fransuz fiziklari G. Amonton (1663-1727) va (undan ancha keyin) Sh. Kulon (1736-1806) quyidagi bog'lanishni topdi.

$$F_{\text{max}} = kN, \quad (2.8)$$

bu yerda k -*tinchlikdagi ishqalanish koeffitsienti*. $F < F_{\text{max}}$ da sirtlar bir-biri ustida sirpanmaydi, bu piyodalar, avtomobillar va boshqalarning harakatlanishi assosi hisoblanadi. F_{max} ni oshirish uchun avtomobillar shinalari "rasm"li protektorlar bilan taminlanadi, qishda esa zanjirlar qo'llaniladi, zanjir bilan tanklar gusenisalari, yuguruvchilar hamda alpinistlar botinkalari va boshqalar taminlanadi.

$F > F_{\text{max}}$ da elastik deformatsiya plastik deformatsiyaga aylanadi: notekisliklar silliqilanadi, qisman yo'q qilinadi (silliqlash va abrazivlash bunga asoslanadi) va jism harakatlana boshlaydi. Bu yerda tasir qilayotgan ishqalanish kuchiga *sirpanish ishqalanish kuchi* deyiladi. Sirpanish ishqalanish kuchi quyidagicha ifodalaniladi.

$$F_s = k_s N, \quad (2.9)$$

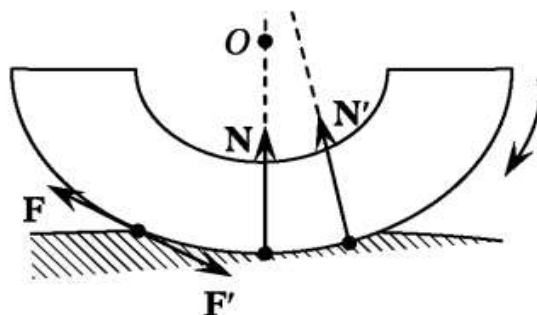
bu yerda k_s -*sirpanish ishqalanish koeffisienti*, bu nafaqat o‘zarotasirlashuvchi sirtlarning materiali va holatiga, shuningdek, harakat tezligiga ham bog‘liq bo‘ladi.

Yuqorida aytib o‘tilgan ishqalanishning afzalliklari uning teskari tomoni bilan dialektik jihatdan muvozanatlanadi - ishqalanish o‘rta ishqalanuvchi yuzalarining yemirilishiga va ularning qizib ketishiga olib keladi, bu esa harakatlanish energiyasining yo‘qolishiga olib keladi. Sirpanish ishqalanishni kamaytirish uchun ishqalanuvchi juftlarning materiallari tanlanadi va ularning sirtlari ko‘zgudek yaraqlaguncha silliq qilinib, ishlov beriladi, masalan, qurol stvoli yoki dvigatel silindrining ichki sirtlari. Xuddi shu maqsadda ishqalanish xarakterini o‘zgartiradigan yopishqoq suyuqlik, moylash materiallari ishlatiladi - bunda endi ishqalanish sirtlar orasida emas, balki suyuqlik qatlamlari orasida yuzaga keladi.

Dinamik va energetik yo‘qotishlarning yanada radikal usuli - sirpanish ishqalanishni dumalash ishqalanish bilan almashtirish fikriga minglab yillar oldin nomalum daho tomonidan kelingan. Dumalash - ham teskari tomonga dialektik o‘tishdir. Agar sirpanish ishqalanishda g‘adir-budurliklarga qarshi ish qilinadi, dumalashda esa ulardan foydalaniladi: bu tishli g‘ildiraklarning tishli reyka ustida dumalashiga o‘xshaydi. Ammo, dumalanish ham qarshilikdan xoli emas. Unga bazi tegishish joylarida sirtlarning siljishi qarshilik qiladi: sirpanish ishqalanish kuch F (2.3-rasm) burovchi momentga qarama-qarshi moment hosil qiladi. Bundan tashqari, g‘ildirakning tortish kuchi ta’siri ostida tayanchda deformatsiyasi sodir bo‘ladi. G‘ildirak harakatsiz bo‘lganda, reaksiya N yuqoriga yo‘nalgan va O aylanish markazidan o‘tadi (2.3-rasm), va dumalayotgan valikda N vektor aylantiruvchi momentga qarama-qarshi moment hosil qiladi. Oddiy bosim kuchi qancha past bo‘lsa, aylanayotgan korpusning radiusi r qanchalik katta bo‘lsa, dumalanish ishqalanish kuchi shunchalik past bo‘ladi:

$$F_d = k_d \frac{N}{r}, \quad (2.10)$$

bu yerda k_d - *dumalanish ishqalanish koeffisient* bo‘lib, u tasirlashuvchi materialga va uning sirtining holatiga bog‘liq.



2.3 - rasm

Amaliyotdan misollar: Zirxli tank texnikasida ishqalanish kuchi mufta gardishlari, tormoz tizimlari, podshipniklar, yo‘llar va g‘ildiraklarning ishlashini belgilaydi. Muz ustida abtomobillar shataksiraydi va sirpanadi. Qurol snaryadi va uning stvol kanalining devorlari orasidagi ishqalanish qurolning samaradorligiga katta tasir ko‘rsatadi, ayniqsa qurol stvoli ichki sirtida ariqchalar qilingan va snaryadning chiqiq qismlari ariqchalar bo‘ylab harakatlenganda ayniqsa sezilarli bo‘ladi.

Jangovar transport vositalarining o‘tuvchanlik qobiliyati, boshqa narsalar qatori, tayanchning tuproqqa bosish yuzasi bilan belgilanadi, chunki solishtirma bosim aynan shunga bog‘liq.

2.4 Tortishish kuchlari

Dinamikaning deyarli barcha hodisalarida butun olam tortishish qonuni bilan belgilanadigan tortishish kuchi muhim rol o‘ynaydi:

$$F = \gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}, \quad (2.11)$$

bu yerda m_1, m_2 - zarracha massasi; r – zarrachalar orasidagi masofa; $\gamma \approx 6,6710^{-11} N \cdot \frac{m^2}{kg^2}$ – gravitasiya doimiysi. Bu qonun I.Nyuton tomonidan Kepler qonunlarini o‘rganish natijasida olingan. Nyuton Oyning markazga intilma tezlanishini jismlarning Yerga erkin tushish tezlanishi bilan taqqoslagan ham.

Gravitasiya doimiysini ingliz fizigi G.Kavendish(1731-1810), buralma tarozi yordamida tajribalarda aniqlagan.

Gravitatsiya o‘zarotasiri dunyoning fizik manzarasini belgilaydigan to‘rtta asosiy o‘zarotasirlardan biri hisoblanadi. Bu juda katta emas, va o‘zini faqat ulkan massalar bilan namoyon qiladi. Shunday qilib, 2015 yilda astrofiziklar har birining massasi Quyoshimiz massasidan 30 baravar ko‘p bo‘lgan ikkita qora tuynukning birlashishi natijasida hosil bo‘lgan tortishish to‘lqinlarini kuzatdilar. Mazkur to‘lqinlarni Yer sirtida qayd etish uchun masofaning o‘zgarishini 10^{-19} m darajasigacha o‘lchash kerak bo‘ladi.

(2.11) formulada (2.3)formuladagi kabi inert massa mavjud emas. Bu yerda uni tortish kuchi deb atash va boshqacha tarzda belgilash kerak. Shunga qaramay, ushbu

massalar qat'iy ravishda teng bo'lganligi aniqlangan, mazkur tenglikni tekshirishning nisbiy aniqligi $\sim 10^{-12}$. Bundan tashqari, inert va tortishish massalarining tengligi Eynshteyn tomonidan ilgari surilgan ekvivalentlik printsipining mohiyatidir. Mazkur prinsipga ko'ra, inertial bo'lmagan sanoq tizimida tezlashuvchan harakatni tortishish tasiridagi harakatdan farqlash mumkin emas.

Agar jismlar cheklangan o'lchamlarga ega bo'lsa, unda tortishish kuchini bitta jismning barcha zarralari ikkinchisining barcha zarralari bilan har birining tortishish kuchlarining vektor yig'indisi(integrallash) bilan hisoblanishi kerak. Bundan faqatgina sharsimon jismlar istisnodir. Bu yerda integratsiya natijasi yana (2.11) formulaga keltiriladi, bu erda r - zarracha va sharning markazi orasidagi masofa, m_1 , m_2 shar va zarrachalarning massalari(xuddi shu narsa ikkita sharga tegishli). Masalan, Yerni radiusi R_Y bo'lgan shar shakliga yaqin jism deb, uning ustidagi jismlarni unga nisbatan zarralar deb hisoblash mumkin. Bunday holda, sayyora tomondan m massali jismga tasir etuvchi tortish kuchining o'ziga xos namoyishi *og'irlik kuchi* deb ataladi:

$$F_t = mg, \quad (2.12)$$

bu yerda $g = \gamma M_Y / R_Y^2$ doimiy son bo'lib, uning manosi - *tezlanish* (2.12) va (2.3) formulalarni taqqoslash asosida kelib chiqadi. Bu formulalarga Yerning xarakteristikalarini qo'yib, jismlarning Yerga tortilishi tezlanishini olamiz bu tezlanishga *erkin tushish tezlanishi* deyiladi. *Erkin tushish tezlanishi* doimiy kattalik ekanligini birinchi marta G.Galiley aniqlagan. Uning qiymati $g = 9,81 \text{ m / s}^2$ ga teng.

SAVOL. Nima uchun sun'iy yo'ldosh Yerga qulamaydi?

JAVOB. Bu holda $g = a_n$. (1.14) formulaga muvofiq, $a_n < g$ bo'lsa, sun'iy yo'ldosh uchun orbital radiusi kamayadi va $a_n > g$ bo'lsa, orbital radiusi ortadi. Sun'iy yo'ldoshning orbital harakati, mohiyatan, uning erkin tushishidir. Ammo, sun'iy yo'ldosh erkin tushish vaqtiga teng vaqtda, qancha masofa bosib o'tsa, Yer sirtining egrilanish radiusi ham shunga teng bo'lganda, sun'iy yo'ldosh qulashi mumkin.

(1.14) formulaga muvofiqligiga ko'ra $a_n = g$ munosabatni olib, kosmonavtika uchun muhim bo'lgan, sun'iy yo'ldoshning Yer yaqinidagi orbitada qolishi uchun yetarli bo'lgan birinchi kosmik tezlikni hisoblab topish mumkin:

$$\vartheta = \sqrt{gR_Y} \approx \frac{8m}{s}. \quad (2.13)$$

Birinchi kosmik tezlikni hisoblash Nyuton tomonidan amalga oshirilgan, ammo bunga faqatgina 1957 yilda sovet ilmining yirik tashkilotchisi S.P.Korolev(1907-1966) boshchiligida erishildi.

Ballistika tortishish kuchiga asoslanadi, bu bizga dushmandan masofa saqlashga imkon beradi va shu bilan xavfni kamaytiradi, Dushmanning magʻlubiyati koʻlamini hudud uzoqligi va maydoni boʻyicha oshiradi. Ballistikani oʻrganishga asos solgan italiyalik olim (Galileyning shogirdi) E. Torrichelli (1608-1647). U gorizontga burchak ostida uloqtirilgan jismlar parabola boʻylab harakatlanishini aniqladi.

Amaliyotdan misollar: Qadimgi davrlardayoq mushak balistikasi rogatka, katapult va boshqa texnik vositalar bilan almashtirilgan. Masalan, XV asr fransuz roгатkachilari richagdan foydalanib, mexanizatsiyalashgan roгатkalar yordamida massasi 800 kg boʻlgan toshlarni 300 m masofaga otishi mumkin, XIX asrning oxirida esa, Amerika Qoʻshma Shtatlarining qirgʻoq mudofaasi tomonidan E. Zalinskiy pnevmatik toʻpi ishlatilgan, bu qurol bir necha yuz kilogramm vazndagi snaryadni 2 km gacha boʻlgan masofaga otish imkoniyatiga ega. Bu toʻpning har biri, uni 10^2 atmosfera bosimidagi havo bilan taminlash uchun maxsus dvigatelni talab qiladi.

Oxir oqibat, kinetik qurollarning asosiy varianti oʻqotar qurolga aylandi, qurol yetarlicha uzoq masofalarda snaryadning nishonga nisbatan yuqori darajadagi aniqlikda tegishini va yakson etish kuchini taminlaydi. Bunday qurolning eng yuqori choʻqqisi ballistik raketadir, uning traektoriyasini dvigatellari ishlaydigan faol qism va boshlangʻich tezlik vektori bilan aniqlanadigan passiv qismga ajratish mumkin. Xuddi shu narsa traektoriyalari bir nechta bir nechta sayyoralarga yaqinlashadigan kosmik kemalarga ham tegishli: harakatlantiruvchi dvigatellar davriy zarbalarni amalga oshiradi, ularning orasida sayyoralarning tortishish kuchi tasir qiladi.

2.5. Inertsiya kuchlari

Amaliyotdan misollar: Raketani uchirishda kosmonavtga tortish kuchi mg va tayanch reaksiyasi P' ta'sir qiladi (2.4-rasm). (2.3) Formulaga asosan

$$P' + mg = ma, \quad (2.14)$$

bu yerda a -raketa tezlanishi. (2.14) tenglikning a tezlanish vektori yo'nalishiga proeksiyasi: $P' - mg = ma$ bo'ladi, bundan $P' = m(g + a)$ yuzaga keladi.

Bu kosmonavtlarga tasir etuvchi ortiqcha yuklanishni tushuntiradi. Agar jism a tezlanish bilan tushsa, u holda yuqorida amalga oshirilgan amallar asosida $P' = m(g - a)$ munosabatiga olib keladi. Og'irlikning bunday pasayishi ham seziladi, masalan, liftda tushganda. Orbital stansiyada $a = g$, va biz $P' = 0$ ga ega bo'lamiz, yani vaznsizlik holati namayon bo'ladi.

Ko'rib chiqilgan misollarda juda g'alati narsalar kam emas. Startdagi raketaga bog'liq bo'lgan sanoq tizimida raketa uchirilishi bilan kosmonavtga tasir qilgan natijaviy kuch ($P' > mg$) bo'lishiga qaramasdan, Nyutonning ikkinchi qonuniga zid ravishda tinch qolmoqda. Bu, aksincha, sodir bo'ladi: izolyatsiya qilingan avtomobil kabinasida, sizni o'rindiqning orqa tomoniga bosadigan, oldinga yoki yon tomonga o'giradigan jismni topa olmaysiz.

Tezlanish bu erda jismlarning ta'sirida emas, chunki bu yerda bir jismning boshqasiga ta'sirining o'lchovi sifatida belgilangan kuch yo'q. Agar biz Eynshteynning ekvivalentlik printsipidan kelib chiqsak, u holda tezlanishning mavjudligi tortish kuchlari mavjudligiga ekvivalentdir.

Bu shunday holatlar uchun "kuch" tushunchasini saqlab qolishga imkon beradi. Jism bu erda tezlashtirilgan harakatga qarshilik ko'rsatganligi sababli, ya'ni inertlik qilgani uchun, bunday kuch *inertsiya kuchi* deb ataldi:

$$F_i = -ma. \quad (2.15)$$

Agar *inertsiya kuchlari* hisobga olinsa, Nyuton qonunlari "qayta tiklanadi".



2.4 - rasm

Amaliyotdan misollar: Uzoq sayohat paytida avtomobillar kuzovidagi yuklar tez-tez siljib vaziyatini o'zgartirib turadi, bunday siljish ko'pincha old tomonga bo'ladi. Buning sababi shundaki, sekinlashuvning o'rtacha tezlashishi odatda, tezlanishdan kattaroqdir.

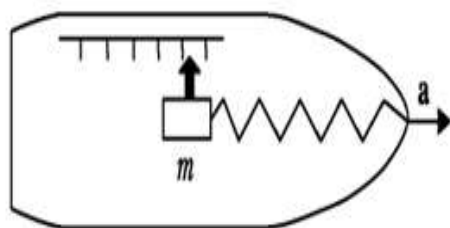
200 m/s tezlikda harakatlanayotgan poyga mashinasining tormozlanishi uchun 2 soniyadan kamroq vaqt ketadi. Bu shuni anglatadiki, tezlanish $\sim 10g$, poyga mashinasi haydovchisi 10 baravar ortiqcha yuklanishni boshidan kechiradi.

Parashyutning 1-2 s davomidagi ochilishida tezlik 50 - 100 m/s dan 5 - 7 m/s gacha kamayadi, yani tezlanish $\sim 6 - 10g$ ga yetadi, va parashyutchi dinamik zarb tasirni boshdan kechiradi(keyingi zarba qo‘nish paytida sodir bo‘ladi).

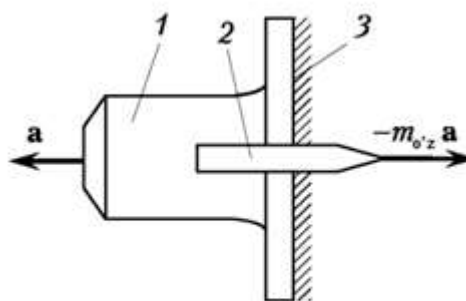
Bazi uchish apparatlarida, masalan, raketalarda, inersional kuchlar, inertsiyal navigatsiya va yo‘l-yo‘riq berish tizimlarida qo‘llaniladi, ularning afzalligi to‘liq avtonom ekanligidir: ular tashqi malumot manbalarini yoki yo‘nalish berishlarni talab qilmaydi, ularning faoliyati yashirin va shovqinlarga sezgir emas.

Bortga o‘rnatilgan inertsiyal datchiklar raketa yoki yadro bombasining tezlashish vektorining tarkibiy qismlarini aniqlaydi (2.5 - rasm) va ularning signallari asosida parvozni to‘g‘rilash buyruqlari hosil bo‘ladi. Snaryadlar uchun bazi portlatgichlarda saqlagichlar ishlatiladi, u o‘q otish paytida snaryadning tezlanishi malum bir aksenal tezlanishga yetganda inertsiya kuchi bilan o‘chiriladi.

Inertsiya kuchi tankga qarshi kalibrllangan snaryadda ham ishlatiladi(2.6-rasm), 1 yengil tanasi va 2 og‘ir qiyin eruvchi yadrosi (volfram, kambag‘allashgan uran, metallokeramika). Yengil tana 3 zirxga urilish paytida a tezlashish bilan sekinlashadi, deformatsiyalanadi va yadroga inertsiya kuchi $-m_{oz} a$ tasir qiladi. U zirxni teshadi va issiqlik ajralib chiqadi, tormozlash tasiri natijasida yadro va zirxni eritadi va issiq bo‘laklar ekipaj va uskunalarni(uranning eng kichik zarralari havo oqimlari bilan tashiladi va shaxsiy tarkib uchun xavf tug‘diradi) ishdan chiqaradi.



2.5 - rasm



2.6 - rasm

Yo'naltiruvchi tizimning tezlanishi a_n normal komponentga ham ega bo'lishi mumkin, shuning uchun yo'lda burilish paytida haydovchi egrilik markazidan F_{mq} markazdan qochma kuchi ta'sirida chetga chiqadi. Shuningdek, u samolyotda "o'lik xalqa"ni bajarayotgan uchuvchida ham kuzatiladi. Natijada, yuqoridagi nuqtada uchuvchining vazni kamayadi, pastki qismida esa ortiqcha yuklanishni boshidan kechiradi.

Markazdan qochma kuch suyuqlikni sentrifuga rotorining devorlariga bosadi. Zirxli va g'ildirakli transport vositalarida bundan foydalaniladi, masalan, moy filtrlarida moyni tozalash uchun. Mexanik aralashmalarning zichligi moyning zichligiga nisbatan yuqori va (2.15) formulaga muvofiq ularga katta inertsia kuchi ta'sir qiladi. Tez aylanadigan rotorda ular devorlarga tomon uloqtirib tashlanadi va tozalangan moy filtrning markaziy qismidan chiqariladi.

XULOSA

Mexanik harakat Nyutonning uchta qonuni bilan aniqlanadi, yorug'lik tezligiga yaqin tezliklarda esa - relyativistik mexanika qonunlari bilan.

Jismlarning mexanikadagi o'zaro ta'siri elastiklik, ishqalanish, tortishish va inertsia kuchlari bilan aniqlanadi, bu kuchlar jismlarni tezlashishga yoki deformatsiyalanishga olib keladi.

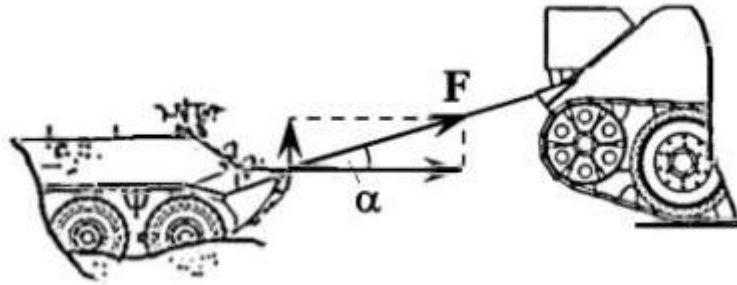
Dinamika qonunlari texnikada, shu jumladan qurol-yarog' va harbiy texnikada keng qo'llaniladi.

Nazorat uchun savollar

1. Parashyutchining vazni 60 kg. Uning vazni vertolyotda 6 m/s tezlik bilan ko'tarilayotganda, xuddi shunday tezlikda tushganidan necha marta ko'proq?

2.2.6-rasmda tezlanish inertsiyal datchigining soddalashtirilgan tasviri ko'rsatilgan. Agar uning: 1) massasi; 2) prujinasining qattiqligi ikki baravar oshirilsa, sezgirligi qanday o'zgaradi?

3. Shatakchi zirxli texnika qurolni doimiy tezlikda tortib oluvchi simi yo'nalishidagi burchak ostida tortib oladi(2.7-rasm). Bu Nyutonning birinchi va ikkinchi qonunlariga zid emasmi?



2.7-rasm

7. Yuksiz konteyner harakatlanayotganda siljishiga yo'l qo'ymaslik uchun takelajchilardan biri uni kattaroq yuzali qirradi bilan platformaga qo'yishni taklif qilmoqda va argument sifatida konkilarning siljish maydonining kichikligini beradi. Boshqasi natija qirra yuzasi maydoniga bog'liq emasligini ta'kidlaydi. Qaysi biri to'g'ri?

8. Qanday holatda yukni ma'lum masofadagi yerga tezroq tortib olish mumkin – yo'lga parallel ravishda F kuch yoki unga 60° burchak ostida yo'naltirilgan $2F$ kuch bilan?

9. Nega qisqa qadamlar bilan muz ustida harakatlanish qulayroq?

Masala yechish namunalari

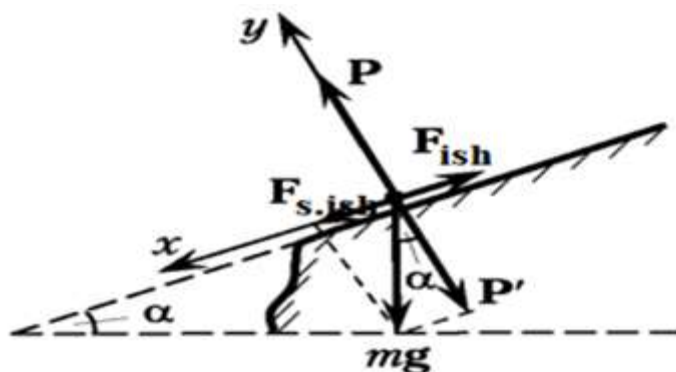
2.1. Desantchi toshli qiyalikka qulab tushdi. U jarlikka tushib ketmasligi uchun, u qanday holatda ko'proq imkoniyatga ega bo'ladi, buyum xaltasini tashlab yuborsami, yoki o'zida saqlab qolsami?

Yechish. Desantchiga og'irlik kuchi mg , tayanchning reaksiyasi P hamda tinchlikdagi ishqalanish kuch F_{ish} ta'sir qiladi (2.8-rasm).

(2.3) formulaga asosan harakat tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$mg + P + F_{ish} = ma.$$

x o'q yo'nalishini mumkin bo'lgan harakat yo'nalishida tanlaymiz va unga harakat tenglamasini proyeksiyalasak, quyidagiga ega bo'lamiz



2.8 - rasm

$$mgsin\alpha - F_{ish} = ma.$$

(2.8) formulaga asosan, $mgsin\alpha - kP' = ma$, bu yerda k-tinchlikdagi ishqalanish koeffitsenti, $P' = P = mg \cdot \cos\alpha$. Shuning uchun

$$mgsin\alpha - kmg \cdot \cos\alpha = ma.$$

Qisqartirishlardan so'ng quyidagiga ega bo'lamiz

$$gsin\alpha - kg \cdot \cos\alpha = a.$$

Javob. Sirpanish, yani tezlanishning paydo bo'lishi desantchi massasiga (u yuk bilanmi, yoki yo'q) bog'liq emas, faqatgina k-tinchlikdagi ishqalanish koeffitsenti va qiya tekislikning qiyalik burchagiga bog'liq. $k \geq tg\alpha$ bo'lganda $a = 0$ bo'ladi, yani sirpanish bo'lmaydi.

Izoh. Xuddi shu masala tog' qiyaligidagi transport, qiya tekislikdagi yuk va boshqa shunga o'xshash hollar uchun tegishli. Ayrim hollarda (transport) dastlabki tenglamaga tortish kuchi ham qo'shiladi, biroq bu masalani yechish usuliga jiddiy o'zgartirish kiritmaydi.

2.2. Shatakchi traktor qurolni doimiy tezlikda tortib oladi (2.8-rasmga qarang). Agar qurolning harakatlanishida ishqalanish koeffitsenti k ga teng bo'lsa, qanday burchakda arqonning uzilishi xavfi eng kam bo'ladi?

Yechish. Qurolning bir tekis harakatlanish shart $F_{ish} = F \cdot \cos\alpha$, bu erda F_{ish} – qurolning sirpanish ishqalanish kuchi. (2.8) formulani hisobga olib, quyidagiga ega bo'lamiz

$$k(mg - Fsin\alpha) = F \cdot \cos\alpha,$$

bu erda m - qurolning massasi.

$$\text{Demak } F(\cos\alpha + ksin\alpha) = kmg, \text{ yoki}$$

$$F = \frac{kmg}{\cos\alpha + ksin\alpha}.$$

F kuch maksimal maxrajda minimal bo‘ladi. Keling, uning hosilasini nolga tenglashtiraylik:

$$(\cos\alpha + k\sin\alpha)' = -\sin\alpha + k\cos\alpha = 0.$$

Kichik α uchun hosila musbat, katta α uchun manfiy, ya'ni topilgan ekstremum maksimal bo‘ladi.

Javob. $tg\alpha = k$ da arqonning uzilishi xavfi eng kam bo‘ladi.

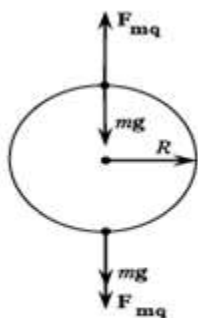
2.3. 360 km/soat tezlikda uchayotgan mashq samolyoti, Nesterov (2.9 - rasm) sirtmog‘ini bajarmoqda. 75 kg og‘irlikdagi uchuvchi, sirtmoqning radiusi qancha bo‘lganida vaznsizlik holatini boshidan kechiradi? Uning maksimal og‘irligi qancha bo‘ladi?

Berilgan: $\vartheta = 360 \frac{km}{soat} = 100 \frac{m}{s}$; $m = 75kg$. R –? P_{max} –?

Yechish. Uchuvchiga mg og‘irlik kuchi va aylana bo‘ylab harakatlanayotganda markazdan qochma kuch deb ataladigan, inertsiya kuchi ta’sir qiladi.

Shunga ko‘ra, $ma = mg + F_{mq}$.

Traektoriyaning yuqori qismida bu kuchlar bir biriga qarama-qarshi yo‘nalgan. Vaznsizlik holatiga quyidagi munosabat muvofiq keladi



2.9 - rasm

$$mg = \frac{m\vartheta^2}{R}, \quad (2.16)$$

$$\text{bundan } R = \frac{\vartheta^2}{g}.$$

Traektoriyaning pastki qismida bu kuchlar yo‘nalish bo‘yicha bir-biriga mos keladi va shuning uchun og‘irlik bu nuqtada maksimal:

$$P_{max} = mg + \frac{m\vartheta^2}{R}. \quad (2.17)$$

(2.16) munosabatni (2.17) formulaga qo‘yib, almashtirib, $P_{max} = 2mg$ ni olamiz. Topilgan ifodalarga masalada berilgan son qiymatlarini qo‘yib hisoblasak, $R \approx 1020m$, $P_{max} = 1470N$ ni topamiz.

Mustaqil yechim uchun masalalar

2.4. Bortida xavfsizligi ta’minlanmagan yuk bo‘lgan zirxli transport vositasi gorizontol yo‘lda sekinlashadi, shunday qilib 10 soniyada tezlik 72 km / soatdan nolga tushdi. Yuk va bort sirti orasidagi ishqalanish koeffitsienti 0,2 ga teng. Yuk siljiydimi va bu uning massasiga qanday bog‘liq?

2.5. Parashyut iplari $7 \cdot 10^4 N$ kuchlanishga bardosh bersa, agar yuklar samolyotdan ajralib bo‘lgandan 2 sekund o‘tgach parashyut avtomatik ravishda

ochilsa, va parashyut ochilgach 5 sekunddan keyin tushish tezligi 8 m/s ga kamaysa, parashyut bilan maksimal qancha yukni ko‘tarib o‘tish mumkin?

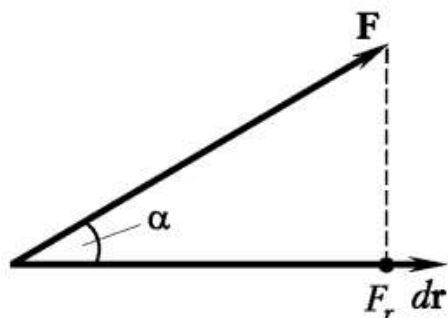
2.6. An-22("Antey") samolyotining massasi 250 tonnaga, dvigatellarining tortish kuchi 214 kN, yerdan uzlib chiqishining minimal tezligi esa 162 km / soatni tashkil qilsa, uning uchish-qo‘nish yo‘lagining minimal uzunligi qancha bo‘ladi? Harakatlanishga qarshilikni e‘tiborsiz qoldiring.

3-BOB. ISH VA ENERGIYA

3.1. Ish va energiya

Agar kuchning yo‘nalishi zarrachaning ko‘chish yo‘nalishi bilan mos tushmasa(3.1-rasm), (2.4) formulaga asosan quyidagini olamiz

$$F \cdot \cos\alpha = \frac{m d\vartheta}{dt}. \quad (3.1)$$



3.1-rasm

Boshqa tomondan (1.5) formulaga asosan,(3.1) tenglikning ikkala tomonini ham $\vartheta dt = dr$ ga ko‘paytirsak, quyidagini olamiz

$$F \cos\alpha dr = \vartheta d(m\vartheta) = d\left(\frac{m\vartheta^2}{2}\right).$$

Bu o‘zgartirishga $d(\vartheta^2) = 2\vartheta d\vartheta$ munosabat orqali keldik. Bu formulaning chap tomoni F va dr vektorlarning skalyar ko‘paytmasini ifodalaydi va xususiy nom olgan.

Kuch va ko‘chish vektorlarining skalyar ko‘paytmasi, kuch ta’sirining o‘lchovi bo‘lib, *bajarilgan ish* deb ataladi:

$$\delta A = \mathbf{F} d\mathbf{r} = (F \cos\alpha) dr = F_r dr, \quad (3.2)$$

bu yerda $F \cos\alpha = F_r$ \mathbf{F} vektorning $d\mathbf{r}$ vector yo‘nalishiga proyeksiyasi (3.1-rasm).

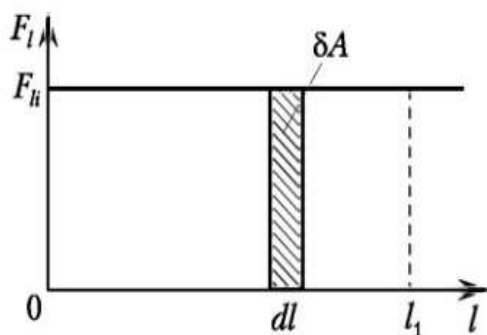
Ish tushunchasi mexanik va matematik D. Bernulli(1700-1782 yillar) tomonidan kiritilgan. (3.2) formula ish birligi Joul(J)ni aniqlaydi, ishning birligi ingliz fizigi J. Joul(1818-1889 yillar) sharafiga uning nomi bilan ataladi: $1J = 1N \cdot 1m$.

$\alpha < \frac{\pi}{2}$ bo'lganda $\delta A > 0$ bo'ladi va kuch *harakatlanishga* yordam beradi, shuning uchun bunday kuch *harakatlantiruvchi kuch* deyiladi.

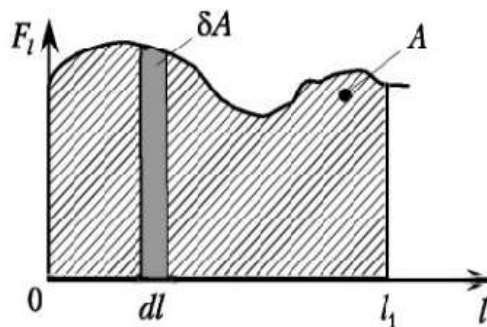
$\alpha > \frac{\pi}{2}$ bo'lganda $\delta A < 0$ bo'ladi va kuch *harakatlanishga* qarshi yo'naladi, shuning uchun bunday kuch *qarshilik kuchi* deyiladi. Bunday holda siljish kuchning ta'siriga qaramasdan, yoki boshqa kuchlarning ta'sirida, yoki inertsiya natijasida sodir bo'ladi. Bularidan tashqari, $\alpha = \frac{\pi}{2}$ bo'lganda $\delta A = 0$ bo'ladi. Masalan, Yerning sun'iy yo'ldoshini aylanma orbita bo'ylab siljitishda tortishish kuchi ish bajarmaydi.

(3.2) formula $dr = dl$ ko'chishdagi elementar ish δA ni aniqlaydi, bu yerda dl -trayektoriya elementi(3.2-rasm). Ishni hisoblashda grafik usuldan ham foydalaniladi. (3.2) formula va 3.2-rasmdan ko'rinadiki, elementar ish δA ning son qiymati shtrixlangan yuzaga miqdor jihatidan teng. Shubhasiz, 0 dan l_1 gacha bo'lgan yo'ldagi to'liq ish shunday yuzachalar yig'indisiga teng:

$$A = \delta A_1 + \delta A_2 + \delta A_3 + \dots + \delta A_n = \sum_{i=1}^n \delta A_i = \sum_{i=1}^n F_{li} \cdot dl_i = F_l l_1. \quad (3.3)$$



3.2-rasm



3.3-rasm

Agar harakatlanish davomida kuch o'zgarsa (3.3-rasm), u holda hisoblash integrallash orqali amalga oshiriladi:

$$A = \int_0^{l_1} F_l dl. \quad (3.4)$$

$F_l(l)$ funksiyaga bog'liq holda integrallash ancha murakkab bo'lishi mumkin, biroq, (3.2) formulaning o'ng tomonidan foydalanib, natijani ancha oson olish mumkin. U $\frac{m\theta^2}{2}$ fizik kattalikning o'zgarishini o'zida aks ettiradi, va o'z nomiga ega.

Harakatlanayotgan jism to'liq to'xtaguncha bajaradigan ishga teng bo'lgan, uning harakati o'lchoviga *kinetik energiya* deyiladi.

Kinetik energiya tushunchasini fanga nemis fizigi(fiziolog) F. Gelmgols(1824-1894yillar) kiritgan.

Savol tog'iladi: nega aynan (3.1) ko'rinishdagi ifodadan foydalanildi, boshqacha emas? Gap shundaki, ular tabiatning eng muhim xususiyatlarini o'zida aks ettirgan ifodalarni olish imkonini berdi. Agar zatvor prujinasini qanday deformatsiyalashni bilish, boykoning kerakli tezligini olish, avtomobilda 100 km yurish uchun qancha benzin yoqish kerakligini, ya'ni materiya harakatining bir shaklidan boshqasiga o'tish uchun umumiy o'lchov zarur.

Materiyaning harakati shakllari o'zgarishining umumiy o'lchoviga *energiya* deyiladi.

Energiyaning mexanik, ximiyaviy, issiqlik, yadro va boshqa shakllari mavjud. Ularning har biri, o'zining fizik kattaliklari kombinatsiyalari bilan xarakterlanadi, biroq bunday kombinatsiyalar yig'indisi har qanday o'zgartirishlarda o'zgarishsiz qoladi, bu miqdoriy taqqoslashga imkoniyat beradi.

(3.2) formuladan ko'rinadiki, *kuchning ishi kinetik energiya ortishiga* olib keladi, va aksincha: *harakatlanayotgan jism bajaradigan ish esa, kinetik energiya kamayishiga* teng. Shuning uchun zarrachaning kinetik energiyasi ma'lum bo'lsa, masalan $l_0 = 0$ va

$l = l_1$ nuqtalarda(3.3-rasm), bunday holda (3.4) murakkab funksiyaning integralini hisoblashga qaraganda, uning interval boshi va oxiridagi qiymatlari farqini hisoblash ancha oson.

Amaliyotdan misollar

Ishni kinetik energiyaga aylantirish o'q otadigan qurol tomonidan amalga oshiriladi:snaryadning stvoldan uchib chiqish energiyasi porox gazlarining ishiga teng. Agar snaryadning aylanma harakati hisobga olinmasa, bunday holda snaryad ilgarilanma harakatining boshlang'ich tezligini hisoblash qiyin emas. Agar p – gazning o'rtacha bosimi, l – stvol kanalining uzunligi, d – qurol kalibri(stvolning ichki diametri), m va ϑ_0 – snaryadning stvoldan uchib chiqish vaqtidagi massasi va tezligi bo'lsa, u holda $\frac{m\vartheta_0^2}{2} = \frac{p\pi d^2}{4}$. Bundan, masalan, qanotli kalibrlangan zirxteshar snaryad(QKZS) uchun, xususiyl holda, $\vartheta_0 \sim 1/\sqrt{m}$. U stvol ichidagi tezlanma harakatda qurol kalibriga mos qobiq bilan o'ralgan o'zak shaklida bo'ladi, biroq stvoldan uchib chiqqan paytda qo'qqisdan havoning katta tezlikli oqimi yoki markazdan qochma kuch(stvolning ichki sirtida burama kertiklari bor qurollarda)

ta'sirida qobiq uzilib qoladi. Odatdagi snaryadlarga qaraganda, bu snaryadlarning massasi kichik bo'lgani uchun tezligi bir yarim-ikki baravar katta bo'ladi, havoning qarshiligi esa, uchish vaqtida ancha kichik bo'ladi. Bunday snaryadlar kichik uchish vaqtiga, o'qlarning yuqori g'ujligiga ega bo'lib, zirxni yaxshi teshib o'tadi.

Ko'pgina hollarda faqatgina qurilma tomonidan bajariladigan ish emas, uning quvvatini xarakterlovchi, ishni bajarish tezligi muhimdir:

$$P = \frac{dA}{dt} = Fv \cos \alpha. \quad (3.5)$$

Bu ifoda (3.3) va (1.5) formulalardan kelib chiqadi. Undan foydalanib, raketa dvigateli quvvati bo'yicha tortish kuchini va maksimal tezlikni aniqlash qulay. (3.5) formuladan quvvat birligi *vatt* (Vt) kelib chiqadi: $1 \text{ Vt} = 1 \text{ J/s}$. Amalda *ot kuchi* (o.k.) deb ataladigan birlik hozir ham ishlatiladi. $1 \text{ o.k.} \approx 736 \text{ Vt}$: avtomobil dvigatelining quvvati $\sim 10^2 \text{ o.k.}$, atomoxodning quvvati $\sim 10^5 \text{ o.k.}$ va hakoza.

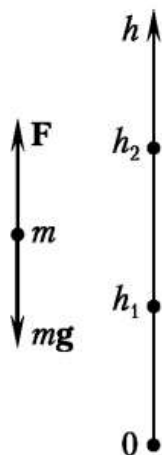
3.2. Potensial energiya

Ish faqatgina kinetik energiyani o'zgartirmaydi. Faraz qilaylik massasi m bo'lgan jism tashqi $F = -mg$ kuchlar ta'sirida h_1 balandlikdan h_2 ko'tarildi, bunda ikkala holatda ham jismning kinetic energiyasi nolga teng (3.4 - rasm). Nima o'zgardi? (3.4) formulaga asoslanib, $F_1 = F = \text{const}$ ekanligini hisobga olsak, quyidagiga ega bo'lamiz

$$A = mg(h_2 - h_1) = mgh_2 - mgh_1 = \Delta(mgh). \quad (3.6)$$

Agar h_2 balandlikdan jismni tashlab yuborsak, bu holda endi ishni og'irlik kuchi bajaradi:

$$A' = mgh_2 - mgh_1 = \Delta(mgh). \quad (3.7)$$



Bulardan ko'rinadiki, $A' = A$ ya'ni tashqi kuchlar tomonidan bajarilgan ish, og'irlik kuchi ishi tomonidan "qaytariladi". Bu mgh kattalikni *energiya* deb hisoblashga asos bo'ladi. Uning o'ziga xos xususiyati shundaki, tayanch yoki osma bo'lsa jism xohlagancha uzoq

vaqt vaqt davomida, h_2 balandlikda turadi, va mgh_2 energiya o'zini hech qanday ko'rinishda namoyon qilmaydi, faqatgina *konservatsiya* qilingan holda, yashirin, ammo yuzaga chiqishi *potensial imkoniyatiga* ega bo'lgan holda mavjud bo'ladi. Shuning uchun mgh ni *potensial energiya* deyiladi, ogirlik kuchini esa, *konservativ kuch* deyiladi. Potensial energiya tushunchasi nemis matematigi K.-F. Gauss(1777-1855 yillar) tomonidan kiritilgan.

Potensial energiya jism holatining konservativ kuchlar maydonida nisbiy o'zgarishi bo'yicha bajarilgan ishni xarakterlaydi.

Bunday holda u jism va Yerning bir biriga nisbatan holati bilan aniqlanadi, biroq boshqacha tabiatga ega bo'lishi ham mumkin.

Amaliyotdan misollar

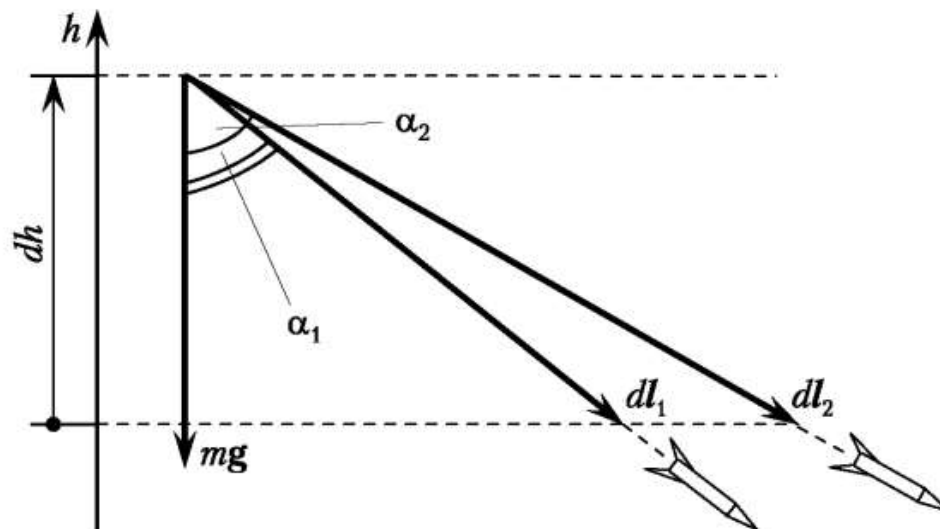
Tortishish kuchining potensial energiyasini kinetik energiyaga va ishga aylantirish qoziq qoqishda, bolg'alashda, qoliplashda va boshqalarda qo'llaniladi. Garchi bomba va snaryadlarning vayron qiluvchi ishi xuddi shunday massadagi metal g'o'lasining ishidan ko'p marta katta bo'lsada, artilleriya va bomba uloqtirish ishlari ham tortishishning potensial energiyasidan foydalanishga asoslangan. Bu shundan dalolat beradiki, jismda *tortishishning* potensial energiyasidan tashqari boshqa ko'rinishdagi potensial energiya zaxirasi mavjud bo'lishi ham mumkin.

mgh ning foydalilik kombinatsiyasining qiymati sanoq boshiga bog'liq bo'lgan h balandlikning noaniqligi tufayli shubhali ko'rinishi mumkin. Agar sanoq boshini Mariana cho'kmasi tubi($h=0$)ga yoki Jomolungma cho'qqisiga qo'ysak, uchayotgan vertoletning potensial energiyasi jiddiy farq qiladi. Biroq (3.7) formulaga asosan ish balandlik bilan emas, sanoq boshiga umuman bog'liq bo'lmagan *balandlikning o'zgarishi*(3.4-rasm) bilan aniqlanadi.

Boshqa muhim savol: ish harakat trayektoriyasi shakliga qanday bog'liq?

Snaryadning dl_1 va dl_2 elementar ko'chishini ko'rib chiqaylik(3.5-rasm). (3.2) formulaga asosan $\delta A = (mg \cdot \cos\alpha)dl$. Malumki, $dl_1 \cos\alpha_1 = dl_2 \cos\alpha_2 = -dh$, chunki dl ko'chish h o'qqa balandlikning kamayishi yo'nalishida proyeksiyalanadi, yani elementar ish ko'chishning yo'nalishiga bog'liq emas:

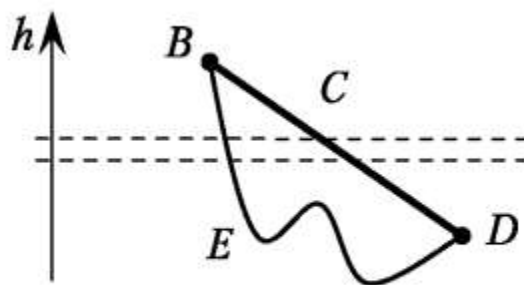
$$\delta A = -mgdh. \quad (3.8)$$



3.5-rasm

Har qanday chekli trayektoriya, masalan BCD va BED(3.6-rasm)ni, bir-biriga yaqin bo‘lgan gorizontol tekisliklar yordamida, juft-jufti bilan (3.8) tenglik o‘rinli bo‘lgan elementar bo‘laklarga ajratish mumkin. U holda, *butun BD trayektoriyada bajarilgan ish trayektoriya oraliq nuqtalarining holatiga bog‘liq bo‘lmagan holda* (3.6) formula bilan aniqlanadi:

$$A_{BD} = - \int_{h_B}^{h_D} mg dh = -mg \int_{h_B}^{h_D} dh = mg(h_B - h_D) = \Delta mgh. \quad (3.9)$$



3.6-rasm

Konservativ og‘irlik kuchining jissmni ko‘chirishdagi ishi uning potensial energiyasi kamayishiga teng, trayektoriya shakli(yo‘l uzunligi)ga bog‘liq emas *faqatgina jismning boshlang‘ich va oxirgi balandligi bilan aniqlanadi.*

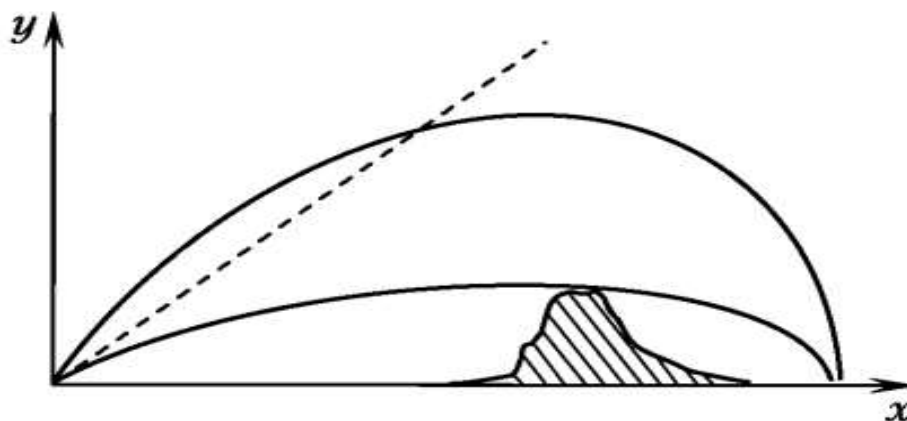
Biroq, bu, trayektoriya umuman hech qanday ahamiyatga ega

emasligini bildirmaydi.

Amaliyotdan misollar

(2.19) formuladagi $\sin 2\varphi$ funksiya, masalan, $\varphi = 30^\circ$ va $\varphi = 60^\circ$ da bir xil qiymatlarga ega bo‘ladi, yani snaryadning uchish uzoqligi turli trayektoriyalarda bir

xil bo‘lishi mumkin, bunday holdagi ularga *tutashgan* trayektoriyalar deyiladi(3.7-rasm). Agar φ burchak eng katta uzoqlik burchagidan kichik bo‘lsa, trayektoriya *yer bag‘irlab uchish (to‘shalma)* trayektoriyasi, agar katta bo‘lsa, *osma* trayektoriya deyiladi. O‘q otish quroli va granatometdan otishda *yer bag‘irlab uchish (to‘shalma)* trayektoriyadan boydalaniladi. Artilleriyadan otishda snaryad trayektoriyasining egriligi quyidagi ketma-ketlikda ortib boradi: zambarak(zenit to‘pi) – to‘p(gaubisa) – minomet. Bunda pana joy “jimjitlik fazosi” yuzaga keladi, uning chegarasida nishonga tegizish imkoniyati bo‘lmaydi(3.7-rasm). Bunday hollarda *osma* trayektoriyalar bo‘yicha uchuvchi minalar qo‘llaniladi.



3.7-rasm

Jismni D nuqtadan B nuqtaga ko‘chiramiz(3.6-rasm). Ellementar ish $\delta A = -mgdh$, bo‘lganligi uchun, jismni D nuqtadan B nuqtaga ko‘chirishda bajarilgan ish

$$A_{DB} = -mg \int_{h_D}^{h_B} dh = -mg\Delta h. \quad (3.10)$$

(3.9) va (3.10) formulalardan, $A_{BD} + A_{DB} = 0$ ekanligi kelib chiqadi:

$$m \oint \mathbf{g} d\mathbf{l} = m \oint g dh = 0, \quad (3.11)$$

bu yerda \oint belgi yopiq kontur bo‘yicha integralni bildiradi, $\oint \mathbf{g} d\mathbf{l}$ esa, \mathbf{g} vektorning (yopiq kontur bo‘yicha) *sirkulyasiyasi* deyiladi. Demak, *yopiq kontur bo‘yicha og‘irlik kuchining ishi nolga teng.*

Barcha konservativ kuchlar tabiati qanday bo'lishidan qattiy-nazar shunday xossaga ega bo'ladi. Shunday ekan, $m \neq 0$ bo'lsa, (3.11) tenglikni quyidagi ifoda bilan aniqlash mumkin

$$\oint \mathbf{g} d\mathbf{l} = 0. \quad (3.12)$$

Nolga teng bo'lgan *sirkulyasiya*, maydon uyurmani – yopiq chiziqni hosil qilmasligini bildiradi. Potensial maydonlar shunday xossaga ega bo'ladi.

Boshqacha tabiatga ega bo'lgan potensial energiyani prujina cho'zilishida bajarilgan ishda mavjudligini ko'rish mumkin. Uning uchlari koordinatalari $\mathbf{x}_0 = \mathbf{0}$ dan \mathbf{x} gacha o'zgaradi:

$$A = \int_0^x F dx = k \int_0^x x dx = \frac{kx^2}{2} = E_p, \quad (3.13)$$

bu yerda (2.6) tenglikdan foydalanildi. (3.12) formuladan farqli ravishda bu yerda kuch koordinatalarga bog'liq, shuning uchun integral bir muncha murakkabroq bo'ladi. *Elastiklik kuchi ham konservativ kuch hisoblanadi*, va shuning uchun ham elastic deformatsiyaning potensial energiyasi $E_p = \frac{kx^2}{2}$ ham ishga aylantirilishi mumkin. Xuddi tortishish kuchi maydonidagi ko'chishdek, prujina aynan qanday trayektoriya bo'ylab cho'zilishi, ahamiyatga ega emas.

Ko'rib chiqilgan misollardan, *har qanday kuchga qarshi bajarilgan ish trayektoriyaning shakliga bogliq bo'lmaydi va potensial energiya to'planishiga olib keladi* degan yolg'on tasavvur paydo bo'lishi mumkin, ammo bu haqiqatdan ancha yiroq. Faraz qilaylik, jism sirpanish ishqalanish kuchi $F = k_s N$ ga qarshi x_1 dan x_2 gacha ko'chirildi, u holda quyidagi ish bajariladi

$$A = k_s N(x_2 - x_1) = k_s N x_2 - k_s N x_1.$$

$k_s N x$ ni potensial energiya deb hisoblash mumkinmi? Tekshirish usuli avvalgidek: jismni yangi x_2 koordinatasidan qo'yib yuboramiz va hech nima sodir bo'lmaganligini aniqlaymiz: tizim ish bajarishida dastlabki holatiga qaytmaydi.

Savol. Bajarilgan ish qayoqqa yo'qolib qoldi?

Javob. U atomlar orasidagi bog'lanishlarni uzishga va ularga energiya uzatishga sarflandi: ish issiqlikka aylandi.

Ishqalanish kuchiga o'xshash, kuchlar, yo'naltirilgan harakat energiyasini sochadi va *dissipativ* kuchlar deyiladi(dissipation – sochilish).

3.3. Zarrachalar tizimi

Energiyaning har qanday o'zgarishi – bu hech bo'lmaganda ikkita zarracha(jism) o'zarotasirining natijasidir. Ikki yoki undan ko'p o'zarotasirlashuvchi zarrachalar majmuiga *zarrachalar tizimi* deyiladi. Agar tizim zarrachalariga tashqi tasir bo'lmasa, ularning tasiri bir-birini kompensatsiyalaydi, bunday tizimlarga *yopiq* yoki *izolyatsiyalangan* tizim deyiladi. Tizimdagi zarrachalar orasidagi tasir kuchlariga *ichki kuchlar* deyiladi. Quyosh tizimini taxminan yopiq tizim deb hisoblash mumkin, chunki unda tashqi kuchlar ichki kuchlarga qaraganda ancha kam. Granata portlashi vaqtida uning parchalari ham yopiq tizimni tashkil qiladi, chunki ichki kuchlar tortishish kuchi va havoning qarshilik kuchidan ko'p.

Tizimning massasi, impulsi, kinetik va potensial energiyasi zarrachalarning mos xarakteristikalarini qo'shish orqali aniqlanadi:

$$m = \sum_i m_i; P = \sum_i p_i; E_k = \sum_i E_{k_i}; E_p = \sum_i E_{p_i}, \quad (3.14)$$

Tizimning , kinetik va potensial energiyalari yig'indisiga tizimning *to'liq mexanik energiyasi* deyiladi:

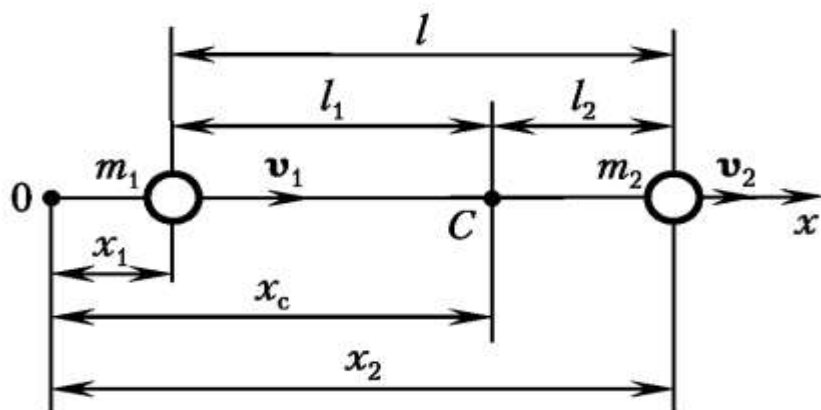
$$E = E_k + E_p. \quad (3.15)$$

Eng sodda holda tizim ikkita zarrachadan tashkil topadi, ularning holati bitta koordinata bilan aniqlanadi(3.8-rasm). Bunday tizimning impulsi quyidagiga teng

$$p = m_1 v_1 + m_2 v_2. \quad (3.16)$$

Bu tenglikning ikkala tomonini ham tizim massasiga bo'lib, quyidagini olamiz

$$\frac{p}{m_1 + m_2} = v_c = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}, \quad (3.17)$$



3.8-rasm

$\frac{p}{m_1 + m_2}$ kattalik tezlik o'lchamligiga ega. Undan quyidagi tenglik kelib chiqadi $\vartheta_c(m_1 + m_2) = m_1\vartheta_1 + m_2\vartheta_2$, bu ifoda ϑ_c tezlikning fizik manosini namoyon qiladi. Agar tizimning barcha massasi qandaydir tezligi ϑ_c bo'lgan C nuqtada to'plangan deb tasavvur qilinsa, u holda bu nuqtaning impulsi tizim impulsiga teng bo'ladi. Tasavvurdagi bu nuqtaga tizimning *inertsiya markazi* deyiladi. Inertsiya markazida qandaydir massa joylashishi shart emas. Masalan, gardish. *Tizimning inertsiya markazi qanday harakatlansa, tizimning o'zi ham butunligicha xuddi shunday harakatlanadi.*

Savol. Bu ajoyib nuqta aynan qayerda joylashgan?

Javob. (3.17) tenglikning ikki tomonini ham Δt ga ko'paytirib, quyidagini olamiz

$$\Delta x_c = \frac{m_1 \Delta x_1 + m_2 \Delta x_2}{m_1 + m_2},$$

bu yerda Δx_c – tizim C inertsiya markazi koordinatasining orttirmasi. Ortirmalardan koordinataning o'ziga o'tib, topamiz

$$x_c = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}; \quad \frac{m_1}{m_2} = \frac{x_2 - x_c}{x_c - x_1}.$$

Bu formulalarni (3.8) rasm bilan taqqoslab, quyidagi xulosaga kelamiz:

C inertsiya markazini tizim zarrachalari orasidagi l masofani, ularning massalariga teskari proporsional bo'lgan bo'laklarga bo'lamiz. Malumki zarrachalar va ularning koordinatalari ko'p miqdorda bo'lishi mumkin, shunday holda inertsiya markazining holati umumlashgan ko'rinishda quyidagilarga teng bo'ladi

$$r_c = \frac{m_1 r_1 + m_2 r_2 + \dots + m_n r_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n m_i r_i; \quad (3.18)$$

$$\vartheta_c = \frac{dr_c}{dt} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \frac{dr_i}{dt} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n p_i = \frac{1}{m} P. \quad (3.19)$$

3.4. Mexanik energiyaning saqlanish qonuni

Faraz qilaylik tizimning 1, 2 nuqtalariga tasir qilayotgan ichki konservativ kuchlar $f_{12} = f_{21}$, tashqi kuchlar esa F_1, F_2 bo'lsin. Ularning ishi zarrachalar kinetik energiyasining o'zgarishiga olib keladi:

$$\begin{aligned} f_{12} dl_1 + F_1 dl_1 &= dE_{k1}, \\ f_{21} dl_2 + F_2 dl_2 &= dE_{k2}. \end{aligned}$$

Bu tenglikni hadma had qo'shib, quyidagini olamiz

$$(f_{12} dl_1 + f_{21} dl_2) + \sum_{i=1}^2 F_i dl_i = \sum_{i=1}^2 dE_{ki}. \quad (3.20)$$

Qavs ichidagi ifoda tizim konservativ kuchlarining ishi bo'lib, (3.10) formulaga asosan, uning potensial energiyasining kamayishiga teng. Ikkinchi had tashqi kuchlar bajargan ishga teng, (3.20) tenglikning chap tomoni esa, tizim kinetik energiyasining o'zgarishiga teng:

$$-dE_p + dE_k = \delta A_t, \quad dE_k + dE_p = \delta A_t. \quad (3.21)$$

Agar zarrachalar qancha ko'p bo'lsa, dastlabki tengliklar ham shuncha ko'p bo'ladi, ammo ikki holda ham natija bir xil. Shunday qilib, *tizim zarrachalari orasida faqatgina konservativ kuchlar ta'sir qilsa, to'la mexanik energiyaning o'zgarishi tashqi kuchlar bajargan ishga teng.*

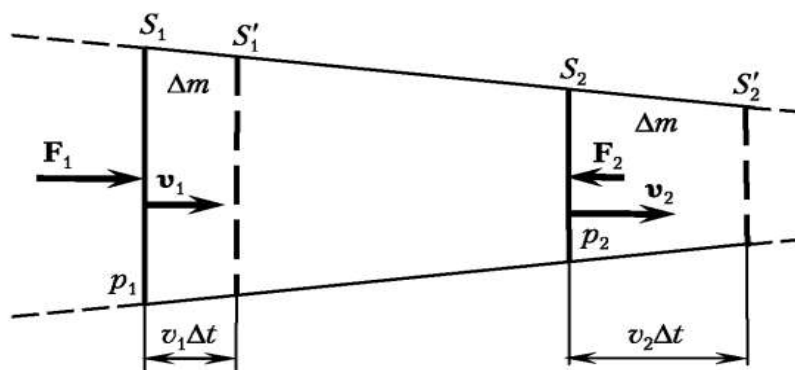
Bu qonun ko'plab tizimlarning holatini boshqaradi, masalan suyuqliklarning oqishi. Agar ishqalanish hisobga olinmasa, S_1 va S_2 $\vartheta_1 \Delta t$ oralig'ida u $F_1 + F_2$ (3.9-rasm) natijalovchi kuch ta'sirida harakatlanadi. S'_1, S_2 chegarada uning energiyasi o'zgarmaydi, uning Δm bo'lagi energiyasining

o'zgarishi soha chegarasida F_1, F_2 tashqi kuchlar bajargan ish bilan aniqlanadi.

(3.21) formulaga asosan $dE_p = 0$ (quvur goizontal)da quyidagini olamiz

$$\frac{\Delta m v_2^2}{2} - \frac{\Delta m v_1^2}{2} = p_1 S_1 v_1 \Delta t - p_2 S_2 v_2 \Delta t. \quad (3.22)$$

Bu yerda, Δt kichik ekanligi hisobga olingan, va shuning uchun $v_1 \Delta t$ va $v_2 \Delta t$ oraliqlarda bosim va quvurning ko'ndalang kesim yuzalari amalda o'zgarmaydi.



3.9-rasm.

Statsionar oqimda ko'ndalang kesim yuzasi S_1 bo'lgan quvurdan Δt vaqt davomida oqayotgan suyuqlikning Δm massasi, xuddi shu vaqt davomida quvurning ko'ndalang kesim yuzasi S_2 bo'lgan qismidan oqib o'tgan suyuqlik massasiga teng (3.9-rasm):

$$\Delta m = \rho_1 \cdot S_1 \cdot v_1 \cdot \Delta t = \rho_2 \cdot S_2 \cdot v_2 \cdot \Delta t. \quad (3.23)$$

Bundan quyidagi kelib chiqadi

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2, \quad (3.24)$$

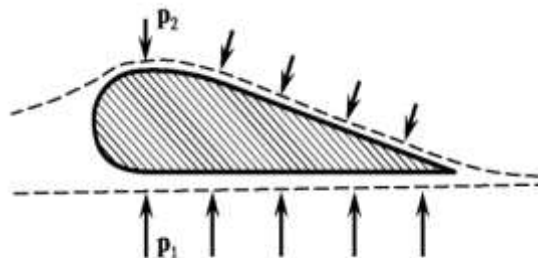
Siqilmaydigan suyuqliklar uchun $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ bo'ladi. (3.24) tenglama oqimning uzluksizlik tenglamasi deyiladi. (3.23) va (3.24) munosabatlarni (3.22) formulaga qo'ysak, Bernulli tenglamasini olamiz

$$p_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2}. \quad (3.25)$$

U faqatgina trubaning butun ko‘ndalang kesimiga tegishli emas, balki mazkur suyuqlik hajmidagi har qanday *oqim naychasiga* tegishli. *Oqim chiziqlari bilan chegaralangan hajmdagi, suyuqlik zarralari tezligi unga o‘tkazilgan urinma bo‘ylab yo‘nalgan elementiga oqim naychasi deyiladi.*

(3.25) tenglamadan ko‘rinishicha, oqimning tezligi yuqori bo‘lgan kesimida bosim tushadi. (3.24) tenglikdan, bunday holat masalan, quvurlarning toraygan sohalarida sodir bo‘ladi.

Bernulli tenglamasi ko‘plab texnik qo‘llanilishlarga ega masalan, pulverizator, turbina soplosi, uchish apparatlari tuzilishi va hakazolar. 3.10-rasmda samolyot qanotining kesimida, havo ingichka oqimining tarmoqlanishi ko‘rsatilgan. Uning qavariq qismining ko‘rinishicha bu vaqt oralig‘ida katta yo‘lni bosib o‘tgan, yani katta tezlikka ega, bunga kichik bosim mos keladi. Yuzaga kelgan bosimlar farqi ko‘tarish kuchini keltirib chiqaradi.



3.10-rasm.

Agar zarrachalar tizimi berk bo‘lsa, bun

$$E = E_p + dE_k = \text{const}, \quad (3.26)$$

yani, agar yopiq tizimdagi zarrachalar orasida faqat konservativ kuchlar tasir qilsa, bunday holda uning to‘liq mexanik energiyasi o‘zgarmaydi.

Aynan shu qonun “ehergiya” tushunchasining materiya harakatining turli shakllari uchun universalligini aks ettiradi. Bu xususiy holda u *mexanik energiyaning saqlanish qonuni* deb ataladi. Bu qonunni birinchi kashf qilgan olimlardan biri J. Joule hisoblanadi.

Amaliyotdan misollar

Raketa Yerning tortish tasiridan ozod bo‘lishi uchun unga beriladigan boshlang‘ich kinetik energiya, uning Yer sirtidan cheksizlikka uzoqlashishigacha bo‘lgan potensial ehergiyasi o‘zgarigidan kichik bo‘lmasligi kerak.

$$\frac{mv^2}{2} = \int_{R_Y}^{\infty} \gamma \frac{mM_{Yer}}{r^2} dr = \gamma \frac{mM_{Yer}}{R_{Yer}}, \quad v = \sqrt{\frac{2\gamma M_{Yer}}{R_{Yer}}} = \sqrt{2gR_{Yer}} \approx 11 \text{ km/s}, \quad (3.27)$$

Tezlikning bu qiymati *ikkinchi kosmik tezlik* deb ataladi. Planetalararo kosmik uchishlarni loyihalashda unga asoslaniladi.

Turli snaryadlarni otishda uning boshlang'ich kinetik energiyasi potensial energiyaga aylantiriladi, so'ngra potensial energiya qayta kinetik energiyaga aylantiriladi. O'qotar qurol zatvori prujinaning elastik deformatsiya energiyasini zarbning kinetik energiyasiga aylantiradi: $\frac{kx^2}{2} = \frac{m\theta^2}{2}$. Bu formuladan ko'rinadiki, olinadigan kinetik ehergiya elastiklik kuchiga va absolyut deformatsiyaga proporsional. Aynan shuning uchun qadimda kamondan arbaletga o'tishgan. Elastiklik kuchi va kamonni tortish inson jismoniy imkoniyatlarining chegaralanganligini ko'rsatadi, arbaletning elastik elementlarini tortish uchun esa, qo'shimcha moslamalardan – richaklar, chig'irlar va boshqa shunga o'xshashlardan foydalaniladi.

(3.21) va (3.26) formularda ishqalanish kuchlari etiborga olinmaganini, ishqalanish kuchi *konservativ bo'lmagan* kuch bo'lganligi uchun, u *mexanik energiyaning saqlanish* qonunini buzishini, chunki uning bir qismi issiqlikka aylanishini takidlaymiz, biroq issiqlik va mexanik energiyalar yig'indisi ham aynan shu doimiyni beradi. Sistemada qaysi energiya qatnashmasa ham, ularning yig'indisi o'zgarmay qoladi.

Energiya yo'qolmaydi, yaratilmaydi, faqatgina bir shakldan boshqasiga o'tishda materiya elementlari orasida qayta taqsimlanadi(Energiya yo'qdan bor bo'lmaydi, bordan yo'q bo'lmaydi, bir turdan boshqasiga aylanadi).

3.5. Impulsning saqlanish qonuni

Zarrachar tizimining yuqoridagilardan kam bo'lmagan muhim natijalarga olib keluvchi, boshqa xarakteristikalarining o'zgarishlari ham bo'lishi mumkin(3.8-rasmga qarang). (2.4) formulaga asosan

$$\frac{dp_1}{dt} = f_{12} + F_1; \quad \frac{dp_2}{dt} = f_{21} + F_2.$$

Bu tengliklarni hadma had qo'shamiz, $f_{12} = -f_{21}$ munosabatni va (3.19) formulani hisobga olsak, quyidagiga ega bo'lamiz

$$\frac{d(p_1+p_2)}{dt} = \frac{dP}{dt} = \sum_i F_i = m a_{im}, \quad (3.28)$$

bu yerda m -tizim massasi, a_{im} -inertsiya markazining tezlanishi. Shunday qilib, *tizim impulsining o'zgarish tezligi, tashqi kuchlar yig'indisiga teng.*

Agar tashqi kuchlar bo'lmasa, yoki bir birini kompensatsiya qilsa, bunday holda $\frac{dP}{dt} = 0$, yani

$$P = m_1 v_1 + m_2 v_2 + \dots = const, \quad (3.29)$$

bu yerda tizimdagi zarrachalar soni cheklanmagan. (3.29) formula **impulsning saqlanish qonunini ifodalaydi**: *yopiq tizimda qanday jarayon kechishidan qat'i nazar yopiq tizim impulsi o'zgarmaydi.*

Energiyaning saqlanish qonuniga o'xshash, u kosmosda ham, mikroolamda ham amal qiladi.

x o'qining har qanday yo'nalishiga (3.28) ning proyeksiyasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi $\frac{dP_x}{dt} = \sum_i F_{ix}$. Agar uning o'ng tomoni nolga teng bo'lsa, u holda

$$P_x = \sum_i m_i v_{ix} = const, \quad (3.30)$$

bu yerda P_x -tizim impulsining x o'qi bo'yicha tashkil etuvchisi.

Agar qaysidir yo'nalish bo'yicha natijalovchi kuch nolga teng bo'lsa, tizim impulsining shu yo'nalishdagi tashkil etuvchisi o'zgarmasdan qoladi.

Bunday ko'rinishda **impulsning saqlanish qonuni** *yopiq bo'lmagan tizimda ham bajariladi.*

Savol. "Yer-piyoda" yopiq tizimida $m_p v_p + m_{Yer} v_{Yer} = 0$. Agar bu tizim piyoda v_p tezlik bilan harakatlanib boshlasa, biz nima sababdan Yerning harakatlanayotganligini sezmaymiz?

Javob. Chunki $\frac{v_{Yer}}{v_p} = \frac{m_p}{m_{Yer}}$ bo'lgani uchun, v_{Yer} hisobga olmaslik darajada kichik. Bundan tashqari, milliardlab piyodalarning turli yo'nalishlarda Yerga beradigan impulslari bir birini kompensatsiyalaydi.

Amaliyotdan misollar

Bu xulosa, harakati g'ildirak yoki, gusenitsaning Yer sirti bilan o'ziga xos ta'sirlashishi sababli yuzaga keladigan transportga ham tegishli.

Massalari bir biriga miqdor jihatidan yaqin bo'lgan jismlarning bir biri bilan reaktiv tasirlashishi qadimdan malum: qadimgi Xitoydagi aylanuvchi mushaklarning boshchalari, Geron Aleksandriyskiy (I asr) ning bug'da harakatlanuvchi shari, Segnerov g'ildiragi (XVII asr) va boshqalar. Shunday yechimlardan uchish apparatlari burchak tezligini stabillovchi tizim reaktiv soplosida ham qo'llaniladi. Impulsning saqlanish qonuni uzluksiz harakatning asosi sifatida ham foydalaniladi.

Parashyutchi arqon ilgagini tortish talab etiladigan yon tomondagi oqim bo'ylab tortsa, havo asosan parashyut gumbaziga qarama-qarshi tomondan oqadi. Bu gorizontal reaktiv tortish kuchini hosil qiladi.

Agar pulemyot aravada turgan bo'lsa, bunday holda aravani, otish yo'nalishiga qarama qarshi yo'nalishda harakatlantirish zarur. O'qni boshqa har xil tarkibiy qismlar bilan almashtirish mumkin, masalan, sakkizoyoqlar, kalmarlar va meduzalar suvdan foydalanishadi. Kalmar uni o'z tanasidagi maxsus yoriq orqali itaradi va natijada zarb bilan orqa tomonga (taxminan 70 km/soat gacha tezlik bilan) harakatlanadi. Kemalarning suv otuvchi harakatlantirgichlari, hamda suzuvchi g'ildiraklari va zirxlitank texnikalari suvni orqa tomonidagi chiqarish tirqishidan itarib chiqaradi.

Biroq eng hayratlanarli vutuqlarga suvda suzish bo'yicha erishilmagan.

Tarixga nazar

1687 yilda I. Nyuton, mashina impulsning saqlanish qonuni asosida harakatlanishi mumkin, shu jumladan havosiz fazoda ham degan taklifni aytgan. Oddiy poroxli raketalar Qadimgi Xitoyda kashf qilingan va qamalni mustahkamlashda qo'llanilgan. Shunga o'xshash maqsadlarda hindlar ham XVIII asrda qo'llashgan, ularning tajribasini keyinchalik inglizlar o'rganib olishgan: ular Napoleonga qarshi urushda kema bortlaridan otilgan yuzlab raketalar yordami bilan Bulon portini yoqib yuborishga erishgan.

Dunyoda birinchi reaktiv uchish apparati loyihasini XIX asrda N.I. Kiballchich (1853-1881 yillar) ishlab chiqqan. XIX asr o'rtalaridan raketalarni stvulli artilleriya qurollari siqib chiqarishgan, ammo keyinchalik yana qaytadan vujudga keldi. XX asr boshlarida K. E. Siolkovskiy (1857-1935 yillar) reaktiv dvigatel nazariyasiga asos soldi. 1957 yil S.P. Korolev rahbarligida Yerning suniy yo'ldoshi, so'ngra 1961 yilda bortida kosmonavt Yu. A. Gagarin bo'lgan kosmik kema uchirildi. Amerikalik olim, muxandislar va astronomlar erishgan yutuqlar ham ulkan. Xususan, N. Armstrong va E. Oldrin jahonda birinchi bo'lib 1969 yilda Oy sirtiga qo'nishdi.

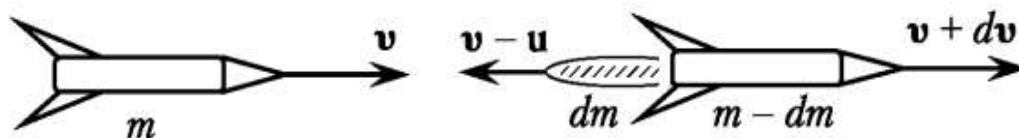
Reaktiv uchishlar qonuniyatlari (3.30) formuladan kelib chiqadi. Tizimdagi ikki jismning o‘zarotasirlashganda quyidagiga ega bo‘lamiz

$$m_1 v_1 = -m_2 v_2. \quad (3.31)$$

m_1 va m_2 massalar raketadan uning tarkibiy qismlari ajralishida yuzaga keladi: yoqilg‘ining yonishi natijasida hosil bo‘lgan mahsulotlar tizimning umumiy massasidan gaz oqimi ko‘rinishida chiqib kamayadi.

Faraz qilaylik massasi m bo‘lgan raketa Yerga nisbatan v , gazlar esa raketa korpusiga nisbatan u tezlikda, yani Yerga nisbatan $v - u$ tezlikda oqadi. dt vaqtda raketani dm massali gaz tashlab ketadi, va raketaning Yerga nisbatan tezligi dv ga ortadi, biroq tizimning umumiy impulse o‘zgarmay qoladi(3.11-rasm):

$$m v = (m - dm)(v - dv) + (v - u)dm.$$



3.11-rasm.

Ifodadagi $dmdv$ hadni ikkinchi tartibli cheksiz kichikligi uchun hisobga olmasak, quyidagiga ega bo‘lamiz

$$mdv - udm = 0.$$

Buni v vektor yo‘nalishiga proyeksiyalasak bu tenglik quyidagi ko‘rinishni oladi

$$mdv + udm = 0. \quad (3.32)$$

O‘zgaruvchilarini ajratib integrallasak, quyidagini olamiz

$$\int_0^v dv = -u \int_{m_0}^m \frac{dm}{m},$$

bundan

$$v = u \ln \frac{m_0}{m}. \quad (3.33)$$

K.E. Siolkovskiy tomonidan olingan bu formuladan ko‘rinadiki, birinchi kosmik tezlik (taxminan 7,9 km/s) ga erishish uchun raketaning yoqilg‘i bilan birgalikdagi boshlang‘ich massasi m_0 uning orbitadagi oxirgi (yoqilg‘isiz) m massasidan o‘nlab marta katta bo‘lishi kerak. Bundan ko‘rinadiki, m_0 massa u tezlikka bog‘liq bo‘ladi. u tezlik esa, yoqilg‘i tarkibi, soploning tuzilishi va boshqalar bilan aniqlanadi. Bundan esa, tezlashtiriladigan massani kamaytirish maqsadida ishlatib bo‘lingan qismlarni tashlab yuborish zaruriyati kelib chiqadi.

(3.32) formuladan quyidagi munosabat ham kelib chiqadi

$$m \frac{dv}{dt} = -u \frac{dm}{dt}.$$

Bilamizki, bu tenglikning chap tomoni kuchni ifodalaydi, demak o‘ng tomoni ham kuch o‘lchamligiga ega bo‘ladi. U *reaktiv kuch* deb ataladi:

$$\mathbf{F}_r = u \frac{dm}{dt}.$$

$\frac{dm}{dt}$ ko‘paytma *yoqilg‘i sarfining sekunddagi massasi* deb ataladi. Agar, tizimga reaktiv kuchdan tashqari tashqi \mathbf{F} kuch ham tasir qilsa, masalan, havoning qarshilik kuchi, u holda

$$\mathbf{F}_r = \mathbf{F} - u \frac{dm}{dt}. \quad (3.34)$$

Bu *Mesherskiy tenglamasi* bo‘lib, o‘zgaruvchan massali jismning harakatini ifodalaydi va raketa texnikasida keng qo‘llaniladi.

Tarixga nazar

Birinchi reaktiv samolyot nemislar tomonidan 1939 yilda uchirilgan. Rossiyada Ikkinchi jahon urushigacha boshqarilmaydigan reaktiv snaryadlar qiruvchi samolyotlarga o‘rnatilgan. 1941 yilda avtomobil shassisiga o‘rnatilgan ko‘p marta zaryadlanadigan qurilma qurollanishga qabul qilindi, uni “gvardeyskiy minomyot” (Katyusha) deb atashgan. Uning birinchi marta jangavor qo‘llanilishi 1941 yil 14 iyulda amalga oshirilgan. Bunga o‘xshash zalp bilan o‘t ochuvchi tizimlar hozirgi vaqtda ham takomillashtirilmoqda (“Grad”, “Uragan”, “Smerch” va boshqalar).

Reaktiv dvigatellar gaz hosil bo'lishi usuli bilan farqlanadilar. Samolyot va raketalarning poroxli reaktiv dvigatellari (PRD), xuddi o'qotar quroldek, yoqilg'isi yonuvchan, va oksidlovchi qismlardan tarkib topadi.

Suyuqlikli reaktiv dvigatel (SRD) g'oyasi 1920 yillardayoq Rossiyalik muxandis F.A. Tsander(1887-1933 yillar) tomonidan aytilgan va uning o'zi tomonidan 1930 yillarda benzin va kislorodda amalga oshirilgan.

Zamonaviy suyuqlikli reaktiv dvigatel(SRD)lar yoqilg'isi kerosin yoki spirtidan tashkil topadi va oksidlovchi – tarkibida kislorod bo'lgan modda alohida beriladi. Aynan PRD va SRDlar kosmik uchishlar haqidagi orzularni real loyihalarga aylantirdi.

Havo-reaktiv dvigatellar(HRD)da oksidlovchi sifatida havo kislorodidan foydalaniladi. To'g'ri oqimli HRDda atmosfera havosi dvigatel tezligining bosimi bilan siqiladi, shuning uchun tezlik bo'lmasa bunday samolyot ucha olmaydi. Turbo-reaktiv dvigatel(TRD) bunday kamchilikdan xoli, uning kompressori havoni so'radi va siqadi. Tezlik $\sim 2M$ (bu yerda M - Max soni bo'lib, jism tezligining havo tezligiga nisbati bilan aniqlanadi)ga yetganda kompressorga ehtiyoj qolmaydi chunki, qarshi tomondan esayotgan shamolning bosimi yetarli darajada katta bo'ladi.

Zamonaviy raketa texnikasi-“yer-havo”, “havo- yer”, -“havo-havo”sinfidagi taktik va strategik qurollar asosi hisoblanadi. Yerdan, suv ustidan va suv ostidan uchirish mumkin bo'lgan qit'alararo ballistik raketalar eng dahshatli qurol hisoblanadi. So'nggi yillarda, portativ tizimlar: tanklarga qarshi boshqariladigan raketalar(TQBR) va ko'chma zenit-raketa majmualari (KZRM) ancha keng tarqalmoqda.

Impuls saqlanishi qonunining ZJT da namoyon bo'lishi va qo'llanilishi faqatgina raketa texnikasi bilan cheklanib qolmaydi.

Amaliyotdan misollar

1.Termoyadro yoqilg'isini qizdirish uchun odatdagi yadro zaryadi portlashi yordami bilan uning hajmli siqilishi amalga oshiriladi. Portlashning rentgen nurlari qo'rg'oshin qobiqni bug'lantiradi va u radial ravishda tarqalib, markazga intiluvchi reaktiv kuchni hosil qiladi. Adiabatik siqish (bir necha ming marta) termoyadroviy yoqilg'ining $\sim 10^7$ K temperaturagacha qizishiga olib keladi, bu sintez reaksiyasining boshlanishi uchun yetarli hisoblanadi.

Xuddi shunday texnologiya boshqariladigan termoyadro reaksiyalar loyihalarida ham qo'llaniladi. Turli tomondan o'nlab quvvatli lazerlarning nurlari

diametri ~ 1 mm bo'lgan, deuteriy va tritiy aralashmasini o'z ichiga olgan qobiqda fokuslangan. Bir zumda bug'lanib ketgan qobiq aralashmaning siqilishiga va qizib ketishiga olib keladi.

2. Qurol snaryadning uchish yo'nalishiga qarama-qarshi impuls oladi. Bunday orqaga tepish energiyasi snaryad chiqarilgandan keyin ham to'planadi: stvoldan chiqayotgan porox gazlari snaryadga, stvoldan bir oz masofada ham ta'sir o'tkazishda davom etadi. Qo'lda ushlab turiladigan qurollarda zatvorning massasi o'qning massasidan ancha katta. Shuning uchun, orqaga tepilganda, hali o'q stvolda bo'lganida u teskari yo'nalishda gaz chiqishining oldini olish uchun yetarlicha sekin harakat qiladi.

Tepish energiyasi (~20 J) uzoq davom etgan otishma paytida odamning charchashiga olib keladi. Artileriyada, odatda, tepish energiyasi snaryadning stvol og'zidagi energiyasining ~ 3% ni tashkil qiladi. Bu juda katta energiya, ammo to'p o'rnatilgan stanok uni o'chirishga imkon beradi va hatto zaryad olish uchun uning bir qismidan foydalaniladi. Qolgan energiya isrof qilinadi, bu esa qurol FIK kamayishiga olib keladi. Masalan, minamyotda barcha tepish energiyasi amortizator yordamida so'ndiriladi. Artileriyada orqaga tepish puflash tormozi yordamida kamayadi. Bunda stvoldan oqib chiqadigan gazlar ko'ndalang bo'rtmalarga uriladi, va chiqish yo'nalishini o'zgartiradi va maxsus kanallar orqali chiqariladi.

Orqaga tepmaydigan qurollarda (bu g'oya Birinchi Jahon urushi paytida paydo bo'lgan), orqaga tepishga sabab bo'lgan porox gazlarining bir qismi snaryadning harakat yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalishda olib chiqariladi. Bu oldinga yo'naltirilgan reaksiya kuchini yaratadi. Bunday qurollarga noqulay orqaga chekinadigan qurilma kerak emas. Xuddi shu tamoyil zamonaviy tankga qarshi granata otish moslamalarida qo'llaniladi.

Energiya va impulsning saqlanish qonunlari doimo bajariladi. Agar ularning "buzilishi" topilgan bo'lsa, demak, bu hisobga olinmagan hodisalar yoki jismlarni qidirish uchun turtki bo'lib xizmat qiladi. Energiya va impulsning saqlanish qonunlari (nazariya) *yordamida* bashorat qilish mumkin. Masalan, Neptun(1846yil) sayyorasi va neytrino zarralari mavjudligini energiya va impulsning saqlanish qonunlari yordamida taxmin qilindi. Boshqa tomondan, agar saqlanish qonunlari har qanday jarayonlarni taqiqlasa, unda ular hech qachon sodir bo'lmaydi.

3.6. Zarb

Saqlanish qonunlari har qanday zarbalar natijasini belgilaydi – pressning ishlov beriladigan qismga, snaryadning tankga, o‘qlarning nishonga va hokazolarga. Gaz molekulalarining sirtga ta’siri bosim hosil qiladi, ularning bir-biriga ta’siri zichlik va temperaturani tenglashtirishga, shuningdek kimyoviy reaksiyalarga, qo‘zg‘alish, ionlanish va boshqalarga olib keladi.

Zarb deb, jismlarning (zarralarning) qisqa muddatli o‘zaro ta’siriga aytiladi, bunda o‘zaro ta’sir kuchlari tashqi kuchlarga qaraganda ancha katta bo‘ladi.

Demak, to‘qnashgan zarralar sistemasini yopiq deb hisoblash mumkin.

Agar zarralar o‘zlarining inertsiya markazlarini bog‘laydigan chiziq bo‘ylab bir-biriga yaqinlashsa, bunday zarba markaziy zarba deyiladi. Zarbning natijasi uning turiga bog‘liq.

To‘qnashgan jismlar zarbdan so‘ng, shakli va ichki holatini saqlab qolgan holda, har tomonga uchib ketsa, bunday zarba elastik to‘qnashuv deyiladi.

Bunday ta’sir paytida (masalan, billiard sharlari to‘qnashganda) jismlarning nisbiy harakatining kinetik energiyasi, ularning elastik deformatsiyasining potentsial energiyasiga to‘liq aylanadi va so‘ngra jismlarning shaklini tiklash bo‘yicha ish bajaradi.

Faraz qilaylik massasi m_1 bolgan zarracha v_{10} tezlikda, m_2 bo‘lgan zarracha esa v_{20} tezlik bilan harakatlanmoqda (2.12-rasm, a). Ma’lumki elastik zarb ta’siri paytida mexanik energiya sarf bo‘lmaydi. Shu sababli, bunda mexanik energiyaning va impulsning saqlanish qonunlari bajariladi:

$$\begin{aligned} m_1 v_{10} + m_2 v_{20} &= m_1 v_1 + m_2 v_2, \\ \frac{m_1 v_{10}^2}{2} + \frac{m_2 v_{20}^2}{2} &= \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}, \end{aligned} \quad (3.35)$$

bu erda v_1, v_2 - zarrachalarning zarbadan keyingi tezligi (2.12-rasm, b). Yuqoridagi tenglamalar tizimini echib, quyidagini olamiz

$$\begin{aligned} v_1 &= \frac{1}{m_1 + m_2} [2m_2 v_{20} + (m_1 - m_2) v_{10}], \\ v_2 &= \frac{1}{m_1 + m_2} [2m_2 v_{10} + (m_2 - m_1) v_{20}]. \end{aligned} \quad 3.36)$$

$m_1 = m_2$ bo'lganda $v_1 = v_{20}$, $v_2 = v_{10}$ ni olamiz, ya'ni jismlar tezliklarini almashadilar, masalan, bunday holat elastik sharlarning markaziy to'qnashuvidagi zarbasi paytida kuzatiladi (bunday zarba laboratoriya amaliyotida o'rganiladi). Agar zarracha devorga yoki metall quymasiga - tankning zirxiga urilsa, bunday holda $m_1 \ll m_2$, $v_{20} = 0$. U holda $v_2 \approx 0$, $v_1 = -v_{10}$, ya'ni, devor (yoki tank zirxi) deyarli harakatsiz bo'lib qoladi, zarracha esa, qanday tezlikda urilgan bo'lsa, xuddi shunday miqdori bir xil kattalikdagi va yo'nalish qarama-qarshi bo'lgan tezlikda qaytadi. Bularni hisobga olib, impulsning saqlanish qonunidan quyidagini olamiz

$$m_1 v_{10} = -m_1 v_{10} + p_{\text{dev}}$$

bundan devor olgan impuls:

$$p_{\text{dev}} = 2m_1 v_{10} \quad (3.37)$$

Keling, endi zarrachalarning "yopishib qolish" holatini ko'rib chiqaylik (2.12-rasm, v).

Jismlarning nisbiy harakatining kinetik energiyasi tizimning ichki energiyasiga aylanadigan to'qnasuv, elastik bo'lmagan to'qnasuv deyiladi.

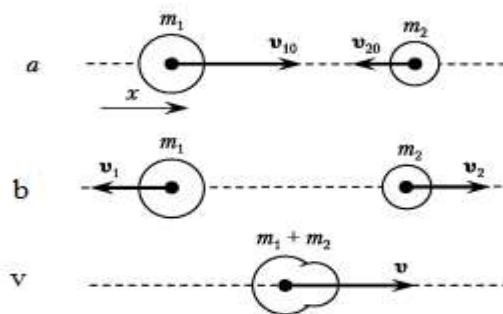
Albatta, mutlaqo elastik bo'lmagan to'qnasuv, shuningdek, mutlaqo elastik to'qnasuvlar ham mavjud emas: bir turdagi zarbada boshqasining elementlari mavjud bo'lishi mumkin.

(2.30) formulaga asoslanib, quyidagini olamiz

$$m_1 v_{10} - m_2 v_{20} = (m_1 + m_2) v$$

Bu tenglikni v_{10} vektor yo'nalishi bo'yicha proektsiyalab va v vektorning v_{10} vektor bilan bir tomonga yo'lganligini hisobga olasak, quyidagiga ega bo'lamiz

$$m_1 v_{10} - m_2 v_{20} = (m_1 + m_2) v, v = \frac{(m_1 v_{10} - m_2 v_{20})}{m_1 + m_2}. \quad (3.38)$$



3.12-rasm.

$\vartheta > 0$ yoki $\vartheta < 0$ ekanligiga qarab ϑ vektor yoʻnalishi haqida taxmin qilish notoʻgʻri.

Koʻp hollarda, ayniqsa harbiy ishlarda, jismlarning nisbiy harakati energiyasining ichki energiyaga aylanadi qismi muhim. $v_{20} = 0$ (bu, odatda, toʻgʻri boʻladi) ekanligini hisobga olib, (3.38) formuladan tizimning toʻqnashuvdan keying tezligi va energiyasi uchun quyidagilarni olishimiz mumkin:

$$\vartheta = \frac{m_1 \vartheta_{10}}{m_1 + m_2}; E = \frac{m_1 \vartheta_{10}^2}{2(m_1 + m_2)}. \quad (3.39)$$

Bulardan qidirilayotgan energiya

$$\Delta E = E_0 - E = \frac{m_1 \vartheta_{10}^2}{2(m_1 + m_2)} = \frac{E_0}{1 + m_1/m_2}. \quad (3.40)$$

Koʻrib turganingizdek, ΔE qancha katta boʻlsa, snaryadning boshlangʻich energiyasi E_0 shunchalik yuqori boʻladi va uning massasi m_1 , nishonning massasi m_2 bilan taqqoslaganda ancha kichik boʻladi $m_2 \gg m_1$ boʻlganda $\Delta E \approx E$ boʻladi, yaʼni snaryadning energiyasi nishonni toʻliq deformatsiyashga sarflanadi. Nishonga oʻq yoki zirxni teshuvchi snaryad urilganida aynan shu sodir boʻladi (laboratoriya amaliyotida oʻq uzun osmalarga osilgan nishonga tiqilib qoladi; elastik boʻlmagan toʻqnashuv qonunlaridan foydalanib, oʻq tekkandan keyingi nishonning ogʻishi boʻyicha oʻqning tezligini aniqlashingiz mumkin).

Agar m_2 massa kichik boʻlsa, bunday holda nishonning deformatsiyasi ham kichik boʻladi. $m_2 \ll m_1$ chegarasida $\Delta E = 0$. Bu shuni anglatadiki, nishon snaryad tomonidan “qasmrab olinadi” va u bilan birgalikda uchadi. Bunday holda, nishonni yakson qilish ehtimoli uning materialiga va tuzilishiga bogʻliq boʻladi. Nishonga taʼsir qiluvchi kuchning moduli: $F = \Delta p_2 / \Delta t$, bu erda $\Delta p_2 = m_2 \vartheta$ nishon impulsi oʻzgarishining moduli. Agar bu kuch nishonda uning mustahkamlik chegarasidan

kattaroq kuchlanish hosil qilsa, bunday holda nishon kichik bo'lsa ham yakson qilinadi, masalan, harakatlanayotgan avtomobilning old oynasiga urilgan hasharot bilan xuddi shunday hodisa sodir bo'ladi.

(2.40) formula barcha turdagi hodisalarning, kosmik va mahalliy masshtablardagi energiyaviy natijasini ifodalaydi.

Amaliyotdan misollar

Asteroidning Yerga elastik bo'lmagan urilishida, Xirosimaga tushgan yadro bombasining portlashi natijasida ajralgan energiyadan katta energiya chiqarishi mumkin va global miqyosdagi oqibatlarga olib keladi. Bolg'alach, shtamplash, poydevor qozig'ini qoqish yoki yo'l-transport hodisasi paytida sezilarli darajada kamroq, ammo texnologik jihatdan muhim energiya ajralib chiqadi. Harbiy harakatlarda, bunday "hodisalar" ba'zan qasddan amalga oshirilgan: ikkinchi Jahon urushi paytida sovet uchuvchilari va yapon kamikadzelari halokatga uchragan samolyotlarini dushman kolonnasi ustiga yo'naltirishgan. Harbiy texnika tuzilmalarining mustahkamligi qurollarning yakson etuvchi ta'siriga chidamliligini, ag'darilishlar, to'qnashuvlar va hokazolarda xavfsizlikni belgilaydi.

Qadim zamonlardan buyon nishonga tegadigan elastik bo'lmagan zarbalar qurol yordamida, tosh, qo'rg'oshin va quyma temirlarni uloqtirish orqali amalga oshirilgan. Hozirgi vaqtda kinetik qurol-yarog'lar, o'qlar, kalibrlangan zirxni teshuvchi snaryadlar, elektromagnit qurollarning snaryadlari. XVI asrda portlovchi snaryadlar ishlatila boshladi.

Porox bilan to'ldirilgan ichi kovak cho'yan yadrolar(olov olish uchun trubkasi bilan), hozirgi davrda minalar, kassetali bombalar, granatalar, torpedalar va yadro qurollari shaklini oldi.

O'qning teshib o'tish ta'siri uning kalibriga, massasiga, shakli va tuzilishiga shuningdek, teshib o'tiladigan muhit materialiga bog'liq. Tez oqim ta'sirida, u ba'zan kutilmagan xususiyatlarni namoyish etadi, masalan, suyuqlik o'zini qattiq va mo'rt shisha kabi tutadi, zarbalarda parchalanadi. Shu bilan birga shisha o'qning qobig'ini deyarli butunlay "yechib olishga" qodir, ayniqsa uchli o'q, uchib ketgan qismida faqat kichik massani qoldirish. To'mtoq pistolet o'qlari past tezlikda uchayotganida bunday bo'lmaydi.

Yengil zirx qoplangan samolyotni urib tushirish uchun energiyasi 1000 J ga teng bo'lgan o'q kerak, odamning mag'lubiyati uchun 80 J energiyali o'q yetarli bo'ladi.

Merganlar miltig'i o'qining shikastlovchi ta'siri tanasining bosh qismida biroz seziluvchi yon tomonga qiyshaytirib qo'yilgan po'lat yadrosi bilan kuchayadi. Chunki u tananing yumshoq to'qimalariga kirganda yon tomonga burilib uni titib tashlaydi va unga katta shikast yetkazadi. O'qning teshib o'tish ta'siri 2,5 sm qalinlikdagi bir-biridan 2,5 sm masofada joylashgan qarag'ay taxtalari yordamida aniqlanadi. Masalan, snayper miltig'ining o'qi 100 metr masofadan 36 ta taxtaga qadar kirib boradi. Snaryadlar nishonni zarb bilan, portlash gazlari va snaryad parchalari bilan shikastlaydi.

3.7. Relyativistik dinamika

Kinematikaga maxsus nisbiylik nazariyasi (MNN) tomonidan kiritilgan tuzatishlar u bilan bog'liq bo'lgan dinamikaga ta'sir qilmasligi mumkin emas. Maksimal chegaraviy tezlikning (yorug'lik tezligi) mavjudligi mexanikaning asosiy qonuni - Nyutonning ikkinchi qonuniga shubha tug'diradi. Unga ko'ra, agar kuch jismga yetarlicha uzoq vaqt ta'sir qilsa, unga har qanday tezlikka erishishiga hech narsa to'sqinlik qilmaydi. Bunday hodisa sodir bo'lmashligi uchun, tezlik ortishi bilan tezlanish kamayishi kerak, ammo doimiy kuch bilan, bu faqat jism massasi oshgan taqdirdagina mumkin bo'ladi.

Bu qanday sodir bo'lishini elastik bo'lmagan to'qnashish misolida baholash mumkin. A.Eynshteyn tomonidan olingan formula quyidagi ko'rinishga ega

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (3.41)$$

Bu erda m_0 - zarrachaning xususiy sanoq tizimidagi massasi bo'lib, unga zarrachaning *tinchlikdagi massasi* deyiladi. Ko'rib turganingizdek, jismning tezligi ortishi bilan uning massasi ham orta boradi, ya'ni massa nisbiy tushuncha, u sanoq tizimiga bog'liq. Bundan - relyativistik impuls va dinamikaning relyativistik qonuni quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$P = m\vartheta = \frac{m_0\vartheta}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, F = ma = \frac{d(m\vartheta)}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0\vartheta}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right). \quad (3.42)$$

(3.42) formuladan ko'rinadiki, turli inertsial sanoq tizimlari(IST)da kuch turli modul va yo'nalishga ega bo'ladi.

$\frac{v^2}{c^2} \ll 1$ bo'lganda, (3.41) ifodani quyidagi qatorga yoyish mumkin:

$$m = m_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \approx m_0 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}\right),$$

bu yerda kamayuvchi qatorning faqat dastlabki ikki hadi taqdim etilgan. Bundan

$$mc^2 = m_0c^2 + \frac{mv^2}{2},$$

ya'ni

$$mc^2 = m_0c^2 + E_k. \quad (3.43)$$

Bunda oxirgi had kinetik energiya bo'lgani uchun, qolgan ikkitasi uning o'lchamiga ega. Bundan tashqari, agar ma'lum bir ISTdagi jism tinch holatda bo'lsa ($E_k = 0$), u holda jism *tinchlikdagi energiyaga* ega:

$$E_0 = m_0c^2. \quad (3.44)$$

Bu MNN ning eng mashhur xulosasi bo'lib, u asrlar davomida energiya jismlarning nisbiy holati bilan (potensial energiya) yoki harakati bilan bog'liq (kinetik) bo'ladi degan ishonchli fikrni rad etdi. Temiryo'l poyezdi g'oyatda katta kinetik energiyaga egadek ko'rinadi, ammo uning tinchlikdagi energiyasi bilan nisbati $\sim (c/v)^2 = 10^{14}$ ga teng. Bundan ko'rinadiki, m_0c^2 g'oyatda katta miqdor: jism energiyasining asosiy qismi jism tezligi bilan emas uning massasi bilan aniqlanadi. Demak, *massa — faqatgina jismning inertlik va gravitatsion o'zarota'sirlari o'lchovi emas, balki uning energiyasi o'lchovi ham.*

A.Eynshteyn tomonidan olingan natijaga ishonish nihoyatda qiyin: hech kim hech qachon bunday (3.44) formula talab qiladigan darajadagi ulkan energiyani sezmagani. To'g'ri, ko'pincha biz energiyaning o'zi bilan shug'ullanmaymiz, uning o'zgarishi bilan shug'ullanamiz. Ba'zi tog'li qishloqlarda futbol o'ynashingiz, temirni toblashingiz, trotil zaryadini portlatishingiz mumkin va bularning barchasi dengiz sathidagi kabi sodir bo'ladi - potensial energiya farqining hech qanday ta'siri sezilmaydi. Ko'rinib turibdiki, shunga o'xshash narsa (3.44) formulada aks etadi va m_0c^2 yashirin energiyani qidirishga undaydi. Ko'p yillar o'tgach ma'lum bo'ldiki, u materiyaning faqat chuqur strukturaviy darajasida o'zini namoyon qilishi va shuning uchun yuqoriroq sathlarda energiya namoyon bo'lishiga ta'sir qilmasligi aniq bo'ldi. Yadro qurollarida amalga oshiriladigan katta halokatlarga mazkur energiya olib keladi. Bu to'g'risida "Atom yadrosi fizikasi"da batafsil bilib olasiz.

XULOSALAR

Konservativ kuchlar ta'sirida bajarilgan ishlar mexanik energiyaga aylanadi va aksincha. Bunday holda, yopiq tizimda to'liq mexanik energiya (kinetik va potensial

energiyalar yigʻindisi) doimiy boʻlib qoladi. Bunda jismlar yopiq tizimining impulsi ham doimiy boʻlib qoladi. Agar ochiq tizimda biron bir yoʻnalishda paydo boʻladigan natijaviy kuch nolga teng boʻlsa, tizim impulsining ushbu yoʻnalishdagi tashkil etuvchisi ham oʻzgarmas boʻladi.

Elastik toʻqnashuvda ikkala saqlanish qonuni ham bajariladi, elastik boʻlmagan toʻqnashuvda esa faqat impulsning saqlanish qonuni bajariladi.

Jism massasi - nisbiy tushunchadir (sanoq tizimiga bogʻliq). U nafaqat harakatsizlik va tortishish oʻzarotaʻsirining oʻlchovidir, shuningdek, jismning energiyasi oʻlchovi hamdir.

Energiya va impulsning saqlanish qonunlari makro va mikroolamlarda qatʻiy bajariladi va koʻplab texnik yechimlar, shu jumladan qurol va harbiy texnika bilan bogʻliq masalalar yechimlari asosida yotadi.

Nazorat uchun savollar

1. 1919 yilda ingliz astrofizigi A. Eddington Quyosh tutilishi paytida Quyosh gardishi yaqinidagi yulduzlarni kuzatdi. Bunday kuzatuv sharoiti yulduzlarning koʻrinadigan holatiga taʻsir qiladimi?

2. Nima uchun raketalar ikki va uch bosqichli qilinadi?

3. Massasi 3 tonna boʻlgan avtomobil 60 km/soat tezlikka ega. Uning kuzoviga bogʻlangan sanoq tizimiga nisbatan kinetikasi energiyasi nimaga teng?

4. Vertolyotda 10 kg yukni 100 m balandlikka koʻtarish orqali 1 kJ dan ortiq ish bajarish mumkinmi? 1 kJ dan kamchi?

5. Avtomobil tezligini ikki baravar oshirganda, boshlangʻich tezlik 20 km/soat va 50 km/soat boʻlgan holatlarda, yonilgʻi sarfi bir xil boʻladimi? Xuddi shu boshlangʻich tezliklarda, uning tezligini 20 km/soatga oshirsakchi?

6. Nega yuqoriga qarab harakatlanayotganda mashina haydovchisi tezlikni uzatmalar qutisidan pastki tezlikka oʻtkazadi va pastga tushayotganda uni oʻchiradi?

7. Yadro reaktorlaridagi neytronlarni sekinlashtirish uchun, neytronlar bilan massasi neytronning massasidan 12 baravar katta boʻlgan uglerod yadrolarining elastik toʻqnashishidan foydalaniladi. Har bir toʻqnashuvda neytron energiyasining qanday qismini yoʻqoladi?

8. Uzun yengil ipga osilgan yogʻoch sharga, karabindan gorizontol yoʻnalishda oʻq uzildi. Qaysi holatda osmaning vertikalidan ogʻishi kattaroq boʻladi: ip materiali poʻlat yoki rezina boʻlganda?

9. Oʻzgarmas tezlikda harakatlanadigan mashina marshrutning uzunligi teng boʻlgan uch sohasidan oʻtadi: qavariq, gorizontol va botiq. Bu sohalardan qaysi birida

yoqilg'i sarfi maksimal? Qaysi birida minimal?

10. Arava novda ishqalanmasdan dumalayapti, uning shakli yo'lning do'nglik va chuqurliklarini simulyatsiya qiladi. Konservativ kuchning ishi potentsial energiyaning sarfiga teng ekanligidan foydalanib, aravaga turli nuqtalarda ta'sir qiluvchi kuchlarning yo'nalishlarini aniqlang. Barqaror va beqaror muvozanat holatlarni aniqlang.

Masala yechish namunalari

3.1. Haydovchi avtomashinalar o'rtasida to'qnashuvning oldini olish uchun oraliq masofasini saqlashi shart. Ommalashgan tavsiyalar: avtomobillar orasidagi metrlardagi masofa l , 9 km/soat dagi tezlikning yarmiga teng bo'lishi kerak: agar tezlik, masalan, 60 km / soat bo'lsa, u holda masofa 30 m va shunga o'xshashlar. Shu tavsiya to'g'rimi?

Yechish. Masofa ikki komponent bilan belgilanadi. Ulardan kichigi tezlikka mutanosibdir, chunki u haydovchi reaksiyasining kechikish vaqtida avtomobilning bosib o'tgan masofasi bilan belgilanadi. Kattaroq komponent - bu avtomobilning tormozlanish masofasi l . U avtomobilning kinetik energiyasi bilan sirpanish ishqalanish kuchi $F_{s.i.}$ ning bajargan ishi tengligidan foydalanib aniqlanadi. Tormozlangan g'ildiraklar gorizontol yo'lda $\frac{m\theta^2}{2} = F_{s.i.}l$ ish bajaradi, bu yerda $F_{s.i.} = k_s mg$. Bu formuladan kelib chiqadiki, $l(x)$ bog'liqlik kvadratlik bo'ladi. Agar tezlik ortsa, masalan, 2 baravar, bunda xuddi shu ishqalanish kuchida tormozlanish yo'li 4 baravar ortadi. Tezlik oshishi bilan ishqalanish koeffitsienti k_s kamayishini hisobga olsak, masofa yanada oshadi.

Javob. Tavsiya noto'g'ri.

3.2. Parashyutchining osoyishta ob-havo sharoitida tushishining barqaror tezligi 5 m/s ga teng. Uning bo'yi 180 sm, vazni 80 kg. Yon tomondan esayotgan shamolning tezligi 4 m/s bo'lsa, Parashyutchining yerga zarbi ta'sirining o'rtacha kuchi qancha?

Berilgan: $h = 180 \text{ sm} = 1,8 \text{ m}$; $m = 80 \text{ kg}$; $v_1 = 5 \text{ m/s}$; $v_2 = 4 \text{ m/s}$.

F_o -?

Yechish. Zarb ta'siri parashyutchining yerga urinishidan boshlanadi odamning inertsiyasi markaz yerga tushguncha davom etadi. Uning bu holati $l_c = 0,5h$ munosabat bilan baholanadi. Zarbning o'rtacha ta'sir kuchining moduli Nyutonning ikkinchi qonuni bilan aniqlanadi.

$$F_{o'} = \frac{\Delta m \vartheta}{\Delta t},$$

bu yerda $\Delta m \vartheta = m \vartheta$ - parashyutchining yerga urinishi paytidagi impulsi, Δt – parashyutchining yerga urinishidan to‘liq tushguncha o‘tgan o‘rtacha vaqt. Bu vaqt davomida tezlik chiziqli ravishda kamayadi deb faraz qilsak, quyidagini olamiz

$$\Delta t = \frac{2l_c}{\vartheta}.$$

Shunday qilib,

$$F_{o'} = \frac{m \vartheta^2}{2l_c} = \frac{m \vartheta^2}{h} = \frac{m(\vartheta_1^2 + \vartheta_2^2)}{h},$$

bu yerda $\vartheta^2 = \vartheta_1^2 + \vartheta_2^2$ ekanligi hisobga olingan.

Son qiymatlarini o‘rniga qo‘yib hisoblasak, $F_{o'} \approx 1,810^3 N$.

Izoh. So‘nggi formulani parashyutchining kinetik energiyasi va kuchning ishi formulalaridan ham keltirib chiqarish mumkin.

3.3. Orqaga qaytish moslamasi bilan birgalikdagi massasi 2400 kg quroldan, massasi 25 kg bo‘lgan snaryad, 800 m/s boshlang‘ich tezlik bilan otildi. Porox gazlarning massasi 3,8 kg ni tashkil etadi. Agar qaytish uzunligi 1 m masofa bilan cheklangan bo‘lsa, orqaga qaytarish moslamasidagi o‘rtacha hisoblanilgan tormoz kuchini aniqlaylik.

Berilgan: $M = 2400 \text{ kg}$; $m_c = 25 \text{ kg}$; $\vartheta_c = 800 \text{ m/s}$; $m_{pg} = 3,8 \text{ kg}$; $l = 1 \text{ m}$.

F_t - ?

Yechish. Orqaga qaytarish moslamasining ishi uning kinetik energiyasining kamayishi hisobiga bajarilishi kerak:

$$F_t \cdot l = \frac{M \vartheta_{oqm}^2}{2},$$

bundan

$$F_t = \frac{M \vartheta_{oqm}^2}{2l}.$$

Qurolning orqaga qaytarish moslamasining tezligini impulsning saqlanish qonuni asosida topish mumkin

$$M \cdot \vartheta_{oqm} = m_c \cdot \vartheta_c + m_{pg} \cdot \vartheta_{pg},$$

bu yerda ϑ_{pg} – porox gazlarining tezligi, bu birinchi yaqinlashishda zatvordagi noldan stvol tumshug‘idagi o‘q tezligigacha chiziqli ravishda ortadi ($\vartheta_{pg} = \frac{0 + \vartheta_c}{2} = \frac{\vartheta_c}{2}$).

Shuning uchun impulsning saqlanish qonuni tenglamasi quyidagi shaklni oladi

$$M \cdot \vartheta_{oqm} = m_c \cdot \vartheta_c + m_{pg} \cdot \frac{\vartheta_c}{2} = (m_c + 0,5m_{pg}) \cdot \vartheta_c.$$

Bundan

$$\vartheta_{oqm} = (m_c + 0,5m_{pg}) \cdot \frac{\vartheta_c}{M},$$

$$F_t = \frac{(m_c + 0,5m_{pg})^2 \vartheta_c^2}{2Ml}.$$

Masala shartida berilgan kattaliklarning son qiymatlarini formuladagi joyiga qo'yib hisoblasak, quyidagini olamiz

$$F_t = \frac{(25 \text{ kg} + 0,5 \cdot 3,8 \text{ kg})^2 \left(800 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 2400 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m}} \approx 96000 \text{ N} \approx 96 \text{ kN}.$$

3.4. Razvedka sun'iy yo'ldoshini aylana orbitaga uchirayotgan raketadan ajralayotgan gazning chiqish tezligi 2500 m/s ga teng. Uning boshlang'ich massasi oxirgi massasidan necha marta kattaroq bo'lishi kerak?

Berilgan: $u = 2500 \text{ m/s}$.

$$\frac{m_0}{m} - ?$$

Yechish. Toppish talab etilayotgan massa nisbati Tsiolkovskiylar formulasi bilan aniqlanadi:

$$\frac{\vartheta}{u} = \ln \frac{m_0}{m},$$

bu yerda $\vartheta = 7900 \text{ m/s}$, ya'ni raketa aylana orbitaga chiqishi uchun unga birinchi kosmik tezlik berish kerak.

Masala shartida berilgan raketadan ajralayotgan gazning chiqish tezligi kattaligi va birinchi kosmik tezlikning son qiymatlarini formuladagi joyiga qo'yib hisoblasak, quyidagini olamiz

$$\frac{m_0}{m} \approx 24.$$

3.5. Yuk uning ta'sirida 0,5 sm pastga tushgan prujinali platformada yotadi. Xuddi shu yuk 10 sm balandlikdan tushganda prujinali platform qancha pastga tushadi?

Berilgan: $l = 0,5 \text{ sm}$; $h = 10 \text{ sm}$.

$$l_1 - ?$$

Yechish. Birinchi holda, yukning og'irligi elastik kuch bilan muvozanatlashadi

$$mg = kl,$$

bu yerda m - jismning massasi, k -prujinaning qattiqligi. Yuk tushganda, uning tortishish potentsial energiyasi prujinaning elastik deformatsiya energiyasiga aylanadi:

$$mg(h + l_1) = \frac{kl_1^2}{2}.$$

Birinchi ifodani bunga qo‘ysak, quyidagi tenglamani olamiz

$$l_1^2 - 2ll_1 - 2lh = 0.$$

Bu kvadrat tenglamani yechib, quyidagini topamiz

$$l_1 = -l \pm \sqrt{l^2 + 2lh}.$$

O‘ng tomondagi ikkinchi had mutlaq qiymatda birinчисidan kattaroq bo‘lgani uchun,” - “ belgisi o‘zini fizik ma’nosini yo‘qotadi.

Masala shartida berilgan kattaliklar son qiymatlarini qo‘yib hisoblasak,

$$l_1 = 3,7 \text{ sm ni olamiz.}$$

Eslatma. Masalani yechish jarayonining borishi shuni ko‘rsatadiki, masalalarning aksariyati oxirigacha umumiy shaklda echilishi kerak, keyin birinchi qarashda qisqartirilishi zarur bo‘lgan noma’lum kattaliklar qisqartiriladi (bu holda m va k).

Mustaqil echim uchun masalalar

3.6. Agar o‘qining massasi 7,9 g bo‘lgan avtomatning otish tezligi 715 m/s bo‘lganda, minutiga 600 o‘q otish tezligiga ega bo‘lsa, u yelkaga qanday o‘rtacha kuch bilan tepadi?

3.7. Agar shikastlash uchun 79 J energiya yetarli bo‘lsa, og‘irligi 7,9 g bo‘lgan, 6,9 m/s tezlikda uchib kelayotgan o‘q odamni shikastlashidan qanday qalinlikdagi daraxt himoya qilaoladi. Daraxtning o‘q harakatiga o‘rtacha qarshilik kuchi 10 kN.

3.8. Og‘irligi 3,5 tonna bo‘lgan vertolyot havoda muallaq turibdi. Rotor havo oqimini qanday tezlikda pastga qarab otadi, uning diametrini, 18 m bo‘lgan rotor diametriga teng deb hisoblang? Havoning zichligini 1,2 kg/m³ ga teng deb qabul qiling.

3.9. Massasi 40 kg bo‘lgan, 600 m/s tezlik bilan gorizontol uchayotgan snaryad ikki qismga bo‘linadi. Massasi 30 kg bo‘lgan parcha gorizontol yo‘nalishda 900 m/s tezlikda uchadi. Ikkinchi parchaning yo‘nalishini va teligining modulini aniqlang.

3.10. Gorizontol yo‘lda o‘z inertsiyasi bilan harakatlanayotgan avtomobil (muftasi ajratilgan holda) to‘xtaguncha 20 m yo‘lni bosib o‘tdi. Bunda unga, og‘irligining 10% ga teng bo‘lgan qarshilik kuchi ta’sir qildi. Avtomobilning boshlang‘ich tezligi qancha bo‘lgan?

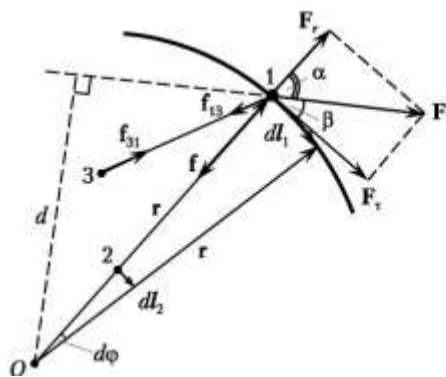
4-BOB. AYLANMA HARAKAT

4.1. Aylanma harakat kinematikasi

Avvalgi boblarda ko‘rib chiqilgan mexanika qonunlarining barchasi harakati davomida zarralari bir xil traektoriyalarni chizadigan, bir xil tezlik va bir xil yo‘l bosadigan, jismlarning harakatiga, ilgarilanma harakatga taalluqlidir. Jismlar harakatining yana shunday bir xil shakli ham mavjudki, unda trayektoriyalarining shakli bir xil - aylanalar - turli uzunliklarga (radiuslarga) ega. Bunday harakat aylanma harakat deb nomlanadi. Ilgarilanma harakatdan farqli o‘laroq, u fazoda cheklangan, bu ba’zi hollarda foydali bo‘ladi: metr o‘lchovlarida energiya olish mumkin, buning uchun ilgarilanma harakatda bir necha kilometr yo‘l bosish talab etiladi. Aylanma harakat, xususan, zamonaviy zaryadlangan zarrachalar tezlatgichlarini yaratishga imkon berdi va unda ajoyib natijalar olingan. Bu to‘g‘risida “Atom yadrosi fizikasi”da batafsil bilib olasiz. Aylanish tabiatda keng tarqalgan: Yer Quyosh atrofida va o‘z o‘qi atrofida aylanadi, Oy - Yer atrofida aylanadi va boshqalar. Texnikada g‘ildiraklar va dvigatellar maxoviklari, kemalar va vertolyotlarning vallari va parmaları, otish paytida - snaryadlar va o‘qlar aylanadi.

Erkin qattiq jism uchun aylanish markazi uning inertiya markazidir, erkin bo‘lmagan jismda esa uning ichida yoki tashqarisida joylashgan qo‘zg‘almas nuqta aylanish markazi bo‘ladi. Agar jismda ikkita qo‘zg‘almas nuqta bo‘lsa, u holda ular orqali o‘tadigan o‘qqa nisbatan aylanish sodir bo‘ladi. Bu ikki nuqtalar orqali o‘tadigan o‘qqa aylanish o‘qi deyiladi. Bunday holda jismning barcha zarralarining aylanish markazlari bu o‘qda yotadi.

Agar ilgarilanma harakati paytida jism zarralarining ko‘chishi bir xil bo‘lsa, aylanma harakat paytida u boshqacha bo‘ladi. Buni 4.1.-rasmdan ham ko‘rish mumkin.



4.1.-rasm.



4.2.-rasm.

buni jismning O aylanish o'qiga perpendikulyar bo'lgan kesimida ko'rish mumkin:

1-zarrachaning dl_1 ko'chishi 2-zarrachaning dl_2 ko'chishidan katta. Shu bilan birga, ularning *radius - vektorlarining* burilish burchagi $d\varphi$ va shuningdek burchak tezligi ω ham bir xil bo'ladi:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}. \quad (4.1)$$

O o'q atrofida aylanish ikki yo'nalishga ega bo'lishi mumkin, ularning aylanish markazi cheksiz bo'lishi mumkin. Shuning uchun, burchakli tezlik nafaqat moduli (4.1) bilan, balki o'ng parma qoidasi bilan belgilanadigan yo'nalish bilan ham tavsiflanadi: agar parmaning o'ng dastasini jismning aylanishi yo'nalishi bo'yicha aylantirilsa, u holda parma o'qining ko'chishi ω vektorining yo'nalishini ko'rsatadi(4.2-rasm).

Jismning burilish burchagini (1.8) ga o'xshash (4.1) ifodani integrallash yo'li bilan aniqlanadi:

$$\int_{\varphi_0}^{\varphi} d\varphi = \int_0^t \omega dt, \quad (4.2)$$

bu yerda φ_0 - $t = 0$ bo'lgandagi boshlang'ich burchak. Masalan, $\omega = const$ bo'lganda (4.2) formuladan quyidagini olamiz

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t. \quad (4.3)$$

Jismning to'liq bir marta (2π ga) aylanishi uchun ketgan vaqt T davr deyiladi, vaqt birligi ichida aylanish soni ν aylanish chastotasi deyiladi. Ularning orasidagi bog'liqlik aniq:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}. \quad (4.4)$$

Ushbu ifodalardan ω burchak tezligi nima uchun *doiraviy*, yoki *tsiklik* chastota deyilishi tushunarli.

O'zgaruvchan burchak tezligi burchak tezlanishi ε bilan tavsiflanadi. U chiziqli tezlashishga o'xshash tarzda aniqlanadi:

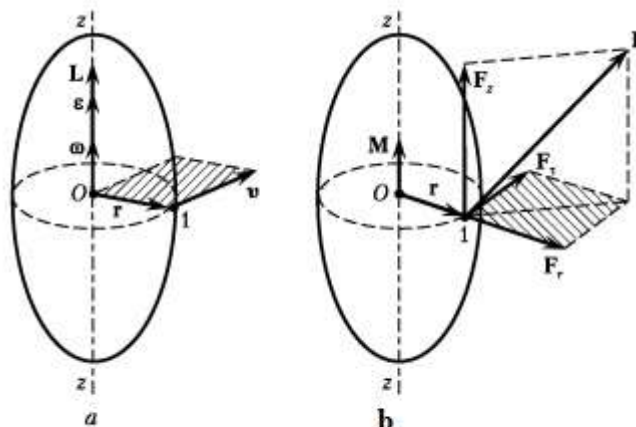
$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}. \quad (4.5)$$

ω qattiq jismning barcha zarralari uchun bir xil, u holda ε ham qattiq jismning barcha zarralari uchun bir xil. $\omega = const$ bo'lsa, $\varepsilon = 0$ bo'ladi, ammo bu hech qanday tezlanish yo'q degani emas: aylanish sodir bo'lishining o'zi normal tezlanish mavjudligini anglatadi.

(4.5) formuladan ko‘rinib turibdiki, $d\omega > 0$ bolsa, ε vektori ω vektori bilan bir xil yo‘nalgan (3.3-rasm, a) va $d\omega < 0$ bo‘lsa, ε vektori ω vektoriga yo‘nalgan bo‘ladi.

(4.1) formulaga $dr = rd\varphi$ tenglikni qo‘yib (4.1-rasmga qarang), chiziqli va burchak tezliklar o‘rtasidagi bizga malum bo‘lgan munosabatni olamiz:

$$\vartheta = \omega r. \quad (4.6)$$



4.3-rasm

Amaliyotdan misollar

1. (4.6) formulaga muvofiq, dastgoh shpindelining burchak tezligi kesuvchi, parmaloqchi va silliqlovchi qismlarining detal yuzasi bilan aloqa qilish nuqtalarida ishlov berishning chiziqli tezligini va burilish burchagi tezligini aniqlaydi. G‘ildiraklarning burchak tezligi avtomobilning chiziqli tezligini aniqlaydi.

2. Qadimgi davrlardan boshlab (4.6) formuladan palaqmon va katapult bilan snaryadlarni otish uchun intuitiv ravishda foydalanib kelingan. 1908 yilda rus muhandisi B.N.Bezobrazov mazkur printsipti vertikal g‘ildiraklari aylanayotganda tangensial ravishda otiladigan snaryadlarga ega markazdan qochirma to‘p shaklida ishlab chiqdi. 1920-1930 yillarda amerikaliklar va yaponlar xuddi shu g‘oyani pulemyotlarda qo‘llashga harakat qilishdi, ammo buning uchun kuchli dvigatellar va katta radiusli otiladigan gardish talab qilingan. Bunday qurol katta hajmli bo‘lib, otishning aniqligi va o‘qlarning g‘ujligini ta’minlamaydi.

(3.6) formulada ϑ, ω va r kattaliklarning modullari ko‘rinadi. Tegishli vektorlarni bog‘laydigan matematik operatsiyaga vektor ko‘paytma deyiladi.

$$\vartheta = [\omega, r], \quad \vartheta = \omega \cdot r \cdot \sin\varphi, \quad (4.7)$$

bu yerda ikkinchi ifoda ϑ vektorining modulini aniqlaydi, φ esa ω va $\cdot r$ vektorlari orasidagi burchak. (4.7) formuladan ko‘rinadiki, (4.6) formula faqatgina $\varphi = \frac{\pi}{2}$ bo‘lgan xususiy holnigina aks ettiradi.

(3.7) munosabatlarga muvofiq ϑ vektorining yo‘nalishi o‘ng parma qoidasi bilan belgilanadi: *parmaning dastasi ω burchak tezligi vektoridan r radius-vektorga tomon aylantirilsa, uning o‘qining harakati ϑ vektor yo‘nalishini ko‘rsatadi.*

Shunday qilib, 4.3-rasmda 1 zarrachaning radius-vektori z aylanish o‘qi bilan $\frac{\pi}{2}$ burchakni tashkil etadi - zarracha z aylanish o‘qida joylashgan O markazi atrofida aylanadi. Uning chiziqli tezligining ϑ vektor traektoriyaga (rasmda uzuq-uzuq chiziq bilan ko‘rsatilgan) urinma ravishda yo‘naladi, ω burchak tezligi vektorining yo‘nalishi esa yuqorida tavsiflangan *o‘ng parma* qoidasi bilan aniqlanadi.

Burchak va chiziqli tezlanishlarni miqdoriy jihatdan bog‘lash uchun (1.13) formulaning o‘ng tomonidagi birinchi hadga (4.6) ifodani qo‘yamiz. U holda, tezlanish modullarini bog‘lovchi $a_{\tau} = \varepsilon \cdot r$ ifoda hosil bo‘ladi. Mazkur vektorlar orasidagi bog‘liqlik vektor ko‘paytma bilan ham aniqlanishi mumkinligiga ishonish qiyin emas:

$$a_{\tau} = [\varepsilon, r]. \quad (4.8)$$

4.2. Jismning aylanma harakati dinamikasi

Tinch turgan maxovikga ta’sir chizig‘i uning aylanish o‘qi orqali o‘tadigan kuch qo‘yamiz, bunday holda maxovik tinch holatda qoladi. Endi biz kuchni mazkur yo‘nalishga nisbatan burchak ostida yo‘naltiramiz (maxovik tekisligida), bunday holda u aylanadi. Farq nimada ekanligini tushunish uchun chizma tekisligida joylashgan O aylanish markaziga qattiq bog‘langan 1-zarrachani ko‘rib chiqamiz. Bu zarrachaga chizma tekisligida F kuch ta’sir qiladi (4.1-rasmga qarang).

Kuchning zarracha *radius-vektori r* bo‘ylab yo‘nalgan F_r tashkil etuvchisi uning markaz bilan bog‘lanishining faqat f elastik reaksiyasini keltirib chiqaradi, zarrachaning dl_1 ko‘chishi kuchning F_{τ} tashkil etuvchisi ta’sirida sodir bo‘ladi.

Qo‘yilgan kuch quyidagi ishni bajaradi

$$\partial A = Fdl = F(\cos\beta)dl = F(\sin\alpha)dl = rF(\sin\alpha)d\varphi, \quad (4.9)$$

bu erda $dl = rd\varphi$ tenglik hisobga olingan. (4.9) formulani (3.2) formulasi bilan taqqoslaylik. Agar $d\varphi$ siljish analogi bo‘lsa, u holda $rF\sin\alpha$ kuch moduli analogi

vazifasini bajaradi (aniqrog'i kuchning siljish bo'yicha proektsiyasi). U *aylanish markaziga nisbatan kuch momentining moduli deb ataladi* (kuch momenti tushunchasi Arximed tomonidan kiritilgan):

$$M = rF \sin \alpha = F \cdot d \quad (4.10)$$

bu erda $d = r \cdot \sin \alpha$ (4.1-rasmga qarang) - *aylanish markazidan kuch ta'sir chizig'igacha bo'lgan eng qisqa masofa. Bunga kuch yelkasi deyiladi.* (4.10) formula \mathbf{r} va \mathbf{F} vektorlarning vektor ko'paytmasining modulini ifodalaydi.

$$\mathbf{M} = [\mathbf{r}, \mathbf{F}], \quad (4.11)$$

bu vektor \mathbf{M} vektor yo'nalishini belgilaydi. Agar zarrachaga bir necha kuch momentlari ta'sir etsa, bunda ularning qo'shib ketishi namoyon bo'ladi.

$$\mathbf{M} = [\mathbf{r}, \mathbf{F}] = [\mathbf{r}, (\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \dots)] = \mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_2 + \dots \quad (4.12)$$

Natijaviy moment har bir kuchlar momentlarining vektor yig'indisiga teng.

Amaliyotdan misollar

1. Jilvir g'ildiragini aylantiruvchi kuch momenti va keskichni charxlash natijasida paydo bo'lgan tormozlovchi kuch momenti qarama-qarshi yo'nalgan.

2. Avtomobil g'ildiragi va valikga bosilgan tang'alarning g'ildirak yer sirtiga tegishidagi reaksiyasi g'ildirakning aylanishiga to'sqinlik qiladigan moment hosil qiladi (2.3-rasmga qarang).

4.3, b-rasmda \mathbf{z} o'q atrofida aylanayotgan jism ko'rsatilgan. Uning 4.1-rasmdan farqli tomoni shundaki, F kuchi bu erda 1 zarrachaning aylanish tekisligida yotmaydi va shuning uchun aylanish o'qiga parallel ravishda qo'shimcha F_z tashkil etuvchisini hosil qiladi. Bu tashkil etuvchi burchakli tezlanishga ta'sir qilmaydi, ammo aylanish o'qini eguvchi kuch momentini hosil qiladi. Masalan, avtomobil g'ildiragi uchun bu turli g'adir-budurliklarda yoki yarimo'qning qiyshayishida yuzaga keladi. F_r komponenti, 3.1-rasmdan ham ko'rinadiki aylanishga ta'sir qilmaydi, chunki uning elkasi nolga teng - u faqat aylanish o'qida yuklama hosil qiladi. Avtomobil g'ildiragi o'qiga ta'sir qiladi, bu kuch avtomobil og'irligining tarkibiy qismidir. Shunday qilib, burchak tezlanish faqat aylanish o'qiga perpendikulyar bo'lgan va aylanish momenti

\mathbf{M} ni hosil qiluvchi F_τ komponentasi bilan aniqlanadi, *bu aylanish o'qiga nisbatan kuch momenti deyiladi*. Uning yo'nalishi (4.11) formula bo'yicha aniqlanadi. Avtomobil g'ildiragiga bunday moment uni o'qqa mahkamlaydigan tirgaklar va murvatlar tomonida ta'sir qiladi.

Kuch momenti zarrachaga kinetik energiya berish ishini bajaradi $E_k = \frac{m\vartheta^2}{2}$. (3.6) formuladan foydalanib, uni $E_k = \frac{(mr^2)\omega^2}{2}$ shakliga o'tkazamiz va unu ilgarilanma harakat uchun E_k formulasi bilan taqqoslaymiz. ω chiziqli ϑ tezlikning analogi bo'lgani uchun massaning analogi sifatida bu erda mr^2 ni olamiz, *bu zarrachaning aylanish markaziga nisbatan inertsiya momenti deb nom oldi*:

$$\mathbf{J} = m\mathbf{r}^2. \quad (4.13)$$

(4.13) formuladan, inertsiya momenti $\mathbf{kg} \cdot \mathbf{m}^2$ bilan o'lchanishi kelib chiqadi.

Shunday qilib, zarrachaning kinetik energiyasi

$$E_k = \frac{J\omega^2}{2}. \quad (4.14)$$

Bunday energiyani olish uchun ifodasi (4.9), (4.10) va (4.14) formulalardan kelib chiqadigan quyidagi ishni bajarish lozim:

$$\delta A = M d\varphi = dE_k = J\omega d\omega. \quad (4.15)$$

Ushbu ifodalarni birlashtirib, zarrachani cheklangan burchak ostida burash bo'yicha ishni topish oson. (4.1) ifodani (4.15) formulaga qo'yib, $M dt = J d\omega$ ni, ya'ni $M = J\varepsilon$ ni olamiz. (4.8) va (4.11) formulalarni taqqoslash \mathbf{M} va $\boldsymbol{\varepsilon}$ bir tomonga yo'nalgan vektorlar ekanligini anglatadi. Shuning uchun, vektor shaklida

$$\mathbf{M} = \mathbf{J}\boldsymbol{\varepsilon}. \quad (4.16)$$

Ushbu ifoda shakl va ma'no jihatidan (2.3) ifodaga o'xshashdir, ammo zarradan jismga o'tishda formulalar o'rtasida farqlar paydo bo'ladi. Ilgarilanma harakati davomida jismning barcha zarralari bir xilda harakatlanadi. Shuning uchun uning massasi (2.3) tenglamaga zarrachalar massalarining yig'indisi sifatida kiradi. Aylanma harakatda massalar emas, balki J inertsiya momentlar qo'shilishi kerak (4.13), ammo ular zarrachalarning radius-vektorlari \mathbf{r} ning aylanish markazlariga nisbatan turli xil joylashganligi tufayli. Ikkinchi farq shundaki, ilgarilanma harakati davomida (2.3) tenglama o'z ichiga kuchlarning vektor yig'indisini oladi va aylanish bilan - ularning momentlari yig'indisi M ni oladi, bu nafaqat modul va yo'nalishlarga, balki kuchlarning qo'yilish nuqtalariga ham bog'liqdir. Aylanayotgan jism uchun dinamika qonunlarini olish uchun, biz uni aylanishda bajarilgan ish natijasida kinetik

olganligidan foydalanamiz. Jismning harakatlanuvchi ixtiyoriy zarralari 1 va 3 ning elementar ishi (4.1-rasmga qarang) quyidagiga teng

$$\delta A = F_1 dl_1 + F_3 dl_3 + f_{13} dl_1 + f_{31} dl_3 \quad (4.17)$$

bu yerda F_1, F_3 — zarrachalarga ta'sir etuvchi tashqi kuchlar; f_{13}, f_{31} — ular orasidagi bog'lanish kuchlari; dl_1, dl_3 — zarrachalarning elementar ko'chishlari. (4.9), (4.10) formulalarga asosan (4.17) ifodani quyidagi ko'rinishga keltiramiz

$$\delta A = (M_1 + M_3) d\varphi + (M_{13} + M_{31}) d\varphi, \quad (4.18)$$

bu erda $d\varphi$ burchagi barcha zarralar uchun bir xil ekanligi hisobga olingan. f_{13} va f_{31} bog'lanish kuchlarining aylanish markaziga nisbatan yelkalar kattaligi teng va qarama-qarshi yo'nalishda bir to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalgan. Shunday qilib, (3.18) tenglikning o'ng tomonidagi ikkinchi hadi har qanday juft zarra uchun nolga teng. U holda butun jism uchun

$$\delta A = d\varphi \sum_i M_i = \omega dt \sum_i M_i, \quad (4.19)$$

bu erda o'ng tomonda tashqi kuchlar momentlari modullari yig'indisi ko'rsatilgan.

Ularning ishi jismning kinetik energiyasini oshirishga sarflanadi, bu kinetik energiya jism zarralarining kinetik energiyalari yig'indisiga teng. (4.13), (4.14) formulalar asosida aylanma harakat qilayotgan jismning kinetik energiyasi uchun quyidagini olamiz

$$E_k = \frac{\omega^2}{2} \sum_i m_i r_i^2 = \frac{J\omega^2}{2}, \quad (4.20)$$

bu yerda

$$J = \sum_i m_i r_i^2 \quad (4.21)$$

Ushbu summa jismning aylanish o'qiga nisbatan inertsiya momenti deb ataladi.

(3.20) formuladan quyidagi kelib chiqadi

$$dE_k = J\omega d\omega. \quad (4.22)$$

(4.19) va (4.22) formulalardan quyidagini olamiz

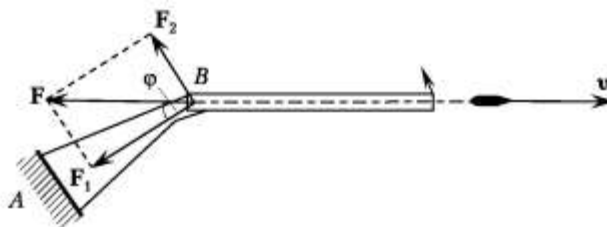
$$\varepsilon = \frac{M}{J}, \quad (4.23)$$

bu erda $\mathbf{M} = \sum_i \mathbf{M}_i$ va ε vektor miqdorlar sifatida belgilanadi, chunki ko'pincha ular bir tomonga yo'naladi. (4.23) formula - bu aylanma harakat dinamikasining asosiy qonunidir: *jismning burchakli tezlashishi tashqi kuchlarning aylanish o'qiga nisbatan momentlari yig'indisiga to'g'ri proporsional va jismning shu o'qga nisbatan inertsiya momentiga teskari proporsionaldir.*

Ushbu qonun Nyutonning ikkinchi va uchinchi qonunlari natijasida olingan. Jismlar uchun inertsia momenti harakat paytida o'zgar olmaydi. Shakli bo'yicha bu Nyutonning ikkinchi qonunining analogidir.

Amaliyotdan misollar

1. Yengil qurollar geometriyasida stvol tomon yo'naltirilgan ko'z va tayanch to'xtash joyi (o'q otuvchining yelkasi) har xil balandlikda ekanligi hisobga olinadi (4.4-rasm). Qaytish kuchi F zatvoriga (va qo'ndoqqa) ta'sir qiladi, uning proektsiyasi $F_1 = F \cdot \cos\varphi$ yelkaga zarbni (orqaga qaytarishni) aniqlaydi va $F_2 = F \cdot \sin\varphi$ proektsiyasi esa, tayanch to'xtash joyining A nuqtasiga nisbatan kuch momenti hosil qiladi. Bu o'qni yuqoriga silkitishga olib keladi, natijada otish aniqligiga ta'sir qiladi va qurolni ishlatish paytida mo'ljalga olishda hisobga olinadi.



4.4-rasm

2. Ayni paytda ortiqcha energiyani maxovikni aylantirish uchun ishlashga yo'naltirilishi mumkin va agar kerak bo'lsa, uni tizimga qaytarish mumkin. *Ushbu texnologiya rekuperatsiya deb ataladi.* U transport, energetika va boshqalarda ishlatiladi.

(4.23) formuladan ko'rinib turibdiki, aylanma harakat paytida jism inertligining o'lchovi J inertsia momentidir. To'g'ri geometrik shakldagi bir jinsli jismlar uchun

uni hisoblash nisbatan sodda.

1. Massasi m bo'lgan yupqa devorli trubka (yoki halqa) boshqa barcha jismlardan shunisi bilan farq qiladiki, uning zarralari simmetriya o'qiga nisbatan teng radiusli vektorlarga ega (4.5-rasm, a). Shuning uchun

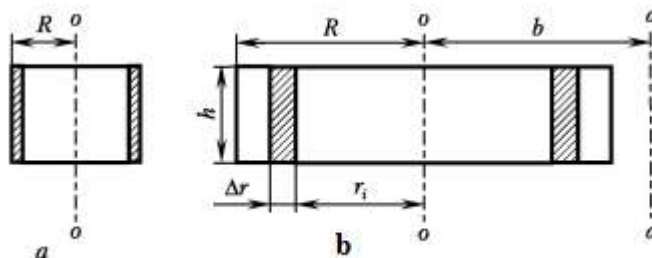
$$J = R^2 \sum_i m_i = mR^2. \quad (4.24)$$

2. Agar materialining zichligi ρ bo'lgan bir jinsli gardish (disk) aylansa, u holda uni gardishining kengligi Δr bo'lgan i ta bir xil halqalar to'plami sifatida ifodalash mumkin (4.5-rasm, b). (4.24) formulaga muvofiq $J_i = m_i r_i^2$ bo'ladi, bu yerda

$m_i = 2\pi\rho hr_i\Delta r$. Agar $\Delta r \rightarrow dr$ limitga o'tish va barcha halqalarning inertsiya momentlarini qo'shish (integrallash) natijasida quyidagini olamiz

$$J = 2\pi\rho h \int_0^R r^3 dr = \frac{\pi\rho h R^4}{2} = \frac{mR^2}{2}, \quad (4.25)$$

bu yerda m -gardishning massasi.



4.5-rasm

3. Agar aylanish o'qi ularning inertsiya markazidan otsa, boshqa shakldagi bir jinsli simmetrik jismlar uchun ham shunga o'xshash hisoblashlar asosida inertsiya momentlarini topish oson. Masalan, massasi m va uzunligi l bo'lgan to'g'ri ingichka sterjen perpendikulyar o'qiga nisbatan $J = \frac{ml^2}{12}$ inertsiya momentiga ega; bir jinsli sharning markazidan o'tgan o'qiga nisbatan inertsiya momenti $J = \frac{2}{5}mR^2$ va boshqalar.

Aylanish o'qi har doim ham jismning inertsiya markazidan o'tmaydi. Bunday hollarda **Shtayner teoremasi** qo'llaniladi: *agar jismning og'irlik markazidan o'tgan o'qga nisbatan inertsiya momenti J_o ga teng bo'lsa, uning ushbu o'qga parallel bo'lgan boshqa har qanday o'qga nisbatan inertsiya momenti J_a quyidagi ifoda bilan aniqlanadi*

$$J_a = J_o + mb^2, \quad (4.26)$$

bu yerda b - o'qlar orasidagi masofa(4.5-rasm b ga qarang).

Agar jism bir jinsli bo'lmasa yoki simmetrik bo'lmagan shaklga ega bo'lsa, unda (4.25) tipdagi integrallashni amalga oshirish noqulay bo'ladi. Bunday hollarda, inertsiya momenti bunday harakatlarning shunga bog'liq bo'lgan xususiyatlarini o'lchash orqali eksperimental ravishda aniqlanadi, masalan tebranishlar. Tirsakli vallar, tishli bloklar, kema va samolyot vintlari va boshqalarning inertsiya momentlarini aniqlash uchun ham shunga o'xshash usullardan foydalaniladi (laboratoriya amaliyotida trifilyar osmalar platformasida yotgan qismning tebranishlari o'rganiladi). (4.21) formuladan ko'rinadiki, teng massali zarrachalarning radius-vektorlari qancha katta bo'lsa, jismning inertsiya momentida ularning hissasi shunchalik katta bo'ladi.

Amaliyotdan misollar

1. Avtomobilning tirsakli valiga o'rnatilgan maxovik - bu nisbatan ingichka disk bo'lib, uning chetlida massiv «toj» mavjud. Massaning qayta taqsimlanishi tufayli u inertsia momentini kuchaytiradi va shuning uchun tsilindrlarning ishlashidagi pauzalar paytida u valning harakatini inertsia bilan qo'llab-quvvatlaydi, bu porshenlarni o'lik nuqtalardan olib chiqish, ishchi aralashmani siqish va hakoza ishlarni bajarish imkonini beradi. Bu yuqorida aytib o'tilgan rekuperatsiyaning odatiy namunasidir. Bunday maxovikdan velosipedning yurish silliqqligini yaxshilash uchun rus ixtirochisi I.P. Kulibin (1735-1818) tomonidan ishlatilgan.

2. Ba'zi poyga mashinalarida dvigatel old tomonda yoki orqa tomonda emas, o'rtada joylashgan. Bunday holda, mashinaning inertsia markaziga nisbatan inertsia momenti kamayadi, bu burilish paytida kamroq aylanish momentini talab qiladigan katta manevrlikni ta'minlayda.

Materialning bir jinsli emasligi tufayli detalni ishlab chiqarishda noaniqliklar va uning markazlashtiruvchi, markazdan qochiruvchi kuchlari o'qning qarama-qarshi tomonlarida paydo bo'ladi, ular bir-birini to'liq qoplay olmaydi. Bunday disbalans o'qlarga davriy ko'ndalang yuklamani keltirib chiqaradi, mahkamlagichlarni zaiflashtiradi, deformatsiyalar hosil qiladi, hatto tarkibiy halokatga olib kelishi mumkin. Balanslash katta burchak tezligida aylanadigan massiv jismlar uchun juda muhimdir.

4.3. Impuls momenti

Ilgarilanma harakatining muhim o'lchovi bu zarrachaning impulsi \mathbf{p} hisoblanadi.

Aylanma harakat paytida esa, uning analogi **L impuls momenti**, uning impuls bilan bog'lanishi chiziqli va burchak tezliklarning bog'lanishiga o'xshaydi:

$$\mathbf{L} = [\mathbf{r}, \mathbf{p}] = m[\mathbf{r}, \mathbf{v}], \quad (4.27)$$

bu erda \mathbf{r} - zarrachaning aylanish markaziga nisbatan radius-vektori. Bu vektor ko'paytmaning moduli $L = mrv \sin \varphi$, bu erda φ - \mathbf{r} va \mathbf{v} vektorlar orasidagi burchak. Masalan, 4.3-rasm *a*, da ko'rsatilgan holat uchun 1 zarrachaning impuls momenti z o'qi bo'ylab yuqoriga yo'naltirilgan va uning moduli $L = mr^2 \omega = J \omega$ ga teng, chunki $\varphi = \frac{\pi}{2}$. \mathbf{L} va $\boldsymbol{\omega}$ vektorlarning yo'nalishlari mos tushganligi sababli, bu tenglikni vektor shaklida quyidagi shaklda yozish mumkin:

$$L = mr^2 \omega = J \omega .$$

Jismning har bir zarrasi o'zining impuls momentiga ega, *bu impuls momentlarning yig'indisiga jismning aylanish o'qiga nisbatan impuls momenti deyiladi:*

Jismning har bir zarrasi o'zining impuls momentiga ega, *bu impuls momentlarning yig'indisiga jismning aylanish o'qiga nisbatan impuls momenti deyiladi:*

$$L = \omega \sum_i m_i r_i^2 = J \omega \quad (4.28)$$

Jismning aylanish o'qiga nisbatan impuls momenti, uning burchak tezligi bilan aylanish o'qiga nisbatan inertsia momenti ko'paytmasiga teng.

Nyutonning ikkinchi qonunini (2.4) shaklida ifodalash qulayroq. Xuddi shu narsa aylanma harakat dinamikasining asosiy qonuniga nisbatan ham qo'llaniladi, bu harakat paytida inertsia momenti o'zgarganda ham amal qiladi:

$$\sum_i M_i = \frac{d(J\omega)}{dt} = \frac{dL}{dt} . \quad (4.29)$$

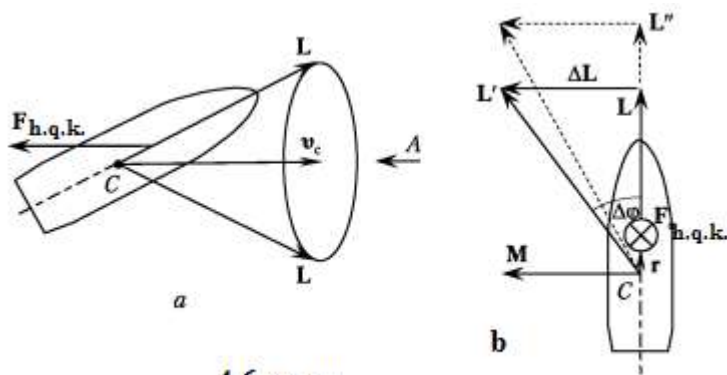
Ushbu formula ko'plab texnik yechimlar uchun asos bo'lib xizmat qiladi, masalan, stvolining ichki sirtiga narezka(soy) qilingan qurollar, ularning stvollarida o'q va snaryadlarga aylanma harakatlar beriladi. Rossiya armiyasining qurol-yarog'larida stvollaridagi narezlarga o'ng tomonga yo'nalish beriladi, bu vintli bog'lanishdagi o'ng rezbagga mos keladi. Ingliz va yapon qurollari stvollaridagi narezlarga chap tomonga yo'nalish beriladi.

Amaliyotdan misollar

1. Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, o'q otish paytida o'q (snaryad) pastdan turtki oladi. Bundan tashqari, uning inertsia markazi C havoning qarshilik kuchlari markaziga nisbatan pastga siljiydi. Natijada, snaryad o'qi va uning traektoriyasiga urinma o'rtasida ma'lum bir burchak yuzaga keladi. Shuning uchun havo qarshiligining $F_{h.q.k.}$ kuchi o'q (snaryad) o'qi bo'ylab emas, balki unga ma'lum burchak ostida ta'sir qiladi, uning oqibatlarini 4.6-rasmdan tushinib olish mumkin. Ular o'q otilgan stvol turiga qarab farqlanadi. Silliqliq stvolli quoldan uchib chiqqandan so'ng, o'qga(snaryadga) ta'sir qiluvchi havo qarshiligining $F_{h.q.k.}$ kuchi o'qning C inertsia markaziga nisbatan M momentni hosil qiladi. 4.6-rasm, a da tasvirlangan proektsiyada u o'qni soat strelkasi yo'nalishiga teskari yo'nalishda buradi, va u ag'darilib ketadi, bu hodisa uning uchish uzoqligi va nishonga tegishining aniqligiga ta'sir qiladi.

Faraz qilaylik endi snaryad (o'q) L impulsi momenti bilan o'z o'qi atrofida aylanib, qurolning narezli stvolidan uchib chiqsin, (4.6-rasmga qarang). Havo qarshiligining $F_{h.q.k.}$ kuchi bu yerda ham aniq xuddi shu moment M ni yaratadi, ammo endi u butunlay boshqacha ta'sir qiladi.

(4.29) formuladan kelib chiqadiki, u M vektori bilan bir xil yo'nalgan impuls momentining ΔL o'zgarishini yuzaga keltiradi. U L vektori bilan qo'shilib yangi L' impuls momentini hosil qiladi (4.6-rasm, b) va o'qning L' vektoriga to'g'ri keladigan aylanish o'qi chapga buriladi. Bu mantiqqa zid ko'rinadi: jism F kuchning ta'sir yo'nalishi bo'yicha harakat qilmaydi, balki unga perpendikulyar yo'nalishda harakatlanadi. L vektorining keyingi ΔL o'zgarishi L' vektoriga perpendikulyar bo'ladi va hokazo.



4.6-rasm

$F_{h.q.k.}$ kuchining ta'siri uzluksiz va uning yo'nalishi o'q(snaryad)ga nisbatan o'z o'qining har bir og'ishi bilan o'zgaradi, keyin o'q uchining aylana va uning o'qi konus chizishini tasavvur qilish qiyin emas (3.6, a-rasmga qarang). Konusning uchi o'qning inertsiya markaziga, uning o'qi esa, inertsiya markazining tezlik vektori v_c ga to'g'ri keladi. Har qanday aylantirilgan jismning o'qi o'zini xuddi shunday tutadi, masalan, konus sirtini chizuvchi pildiroq. Ushbu harakat *pretsessiya* deb ataladi.

2. Pretsessiya hodisasi velosipedchilar va mototsiklchilar tomonidan tushunmagan ravishda foydalaniladi, rulni burmasdan, burilish tomonga egilish natijasida, tortishish kuchining buruvchi momenti ΔL vektorini hosil qiladi, va oldingi g'ildirakning aylanish o'qini xuddi shu tomonga buradi.

(4.6, b -rasmdan $dL = Ld\phi$ ekanligi kelib chiqadi. Shu bilan birga, (4.29) formuladan $dL = Mdt$ ekanligini anglash mumkin. Ushbu ikkita tenglikdan biz $Ld\phi = Mdt$ ni olamiz, ya'ni pretsessiyaning burchak tezligi

$$V_{pr.} = \frac{d\phi}{dt} = \frac{M}{L}. \quad (4.30)$$

Pretsessiya snaryad(o'q) o'qining berilgan traektoriyadan og'ishini kamaytirishi bilan diqqatga sazovordir. Bu o'rtacha eng yaxshi suyriklikni beradi, havoning qarshilik kuchini kamaytiradi va uchish uzoqligining va otish aniqligining oshishiga olib keladi. Bundan tashqari, bu holda snaryad nishonga tasodifiy qismi bilan emas, balki bosh qismi bilan uriladi. O'q uchun bu uning kiruvchanlik imkoniyatini, snaryad uchun – bosh qismida joylashgan portlatgich qurilmasi ishlashining ishonchliligini oshiradi.

Savol. Ko'rib chiqilgan effekt snaryadning aylanish tezligiga bog'liqmi?

Javob. Agar ω burchak tezligi oshsa, u holda L impuls momenti ham oshadi (4.6-rasm, b-rasmga qarang). Binobarin, xuddi shu kuch momenti M bir xil ΔL o'zgarishiga nisbatan o'qning kichikroq burilishiga olib keladi, snaryad aylanishi (3.6, b-rasmdagi uzuk-uzuk chiziq) o'qining nisbatan kichikroq og'ishiga olib keladi.

O'q va snaryadlarning stvol kanalidagi ilgarilanma harakatining tezligi juda katta (200 dan 3000 m/s gacha), bundan tashqari ular juda katta aylanish tezligiga ham ega bo'ladi, masalan, Kalashnikov avtomatida o'q -3000 ayl/s chastotada aylanadi.

Savol. Har qanday tartibga solish sarf qilishni talab etadi(termodinamika qonunlar). Ularning snaryadga aylanma harakatni berishdagi sarfi qanday?

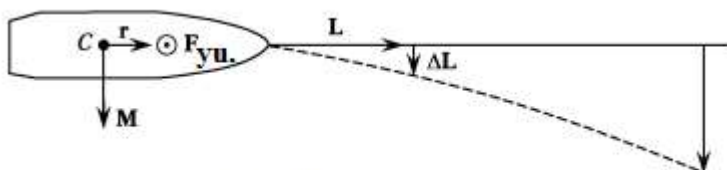
Javob. Stvol ichidagi narezkalar(kemtiklar)da snaryadning katta tezlikda harakatlanishi natijasida ishqalanishning keskin oshishi yuzaga keladi bu energiya yo'qotishlarga va qurol samaradorligining pasayishiga olib keladi, xususan snaryadning boshlang'ich tezligi va uchish uzoqligi kamayadi.

Amaliyotdan misollar

Birinchi Katyushalarning snaryadlari $\sim 8,5$ km masofaga otilgan. Bularda snaryadlarning katta sochilishi tufayli 1943 yilda modernizatsiya qilingan versiyada snaryadlarga aylanma harakat berildi. Biroq, bu stvoldagi narez(kemrik)lar tufayli emas, balki porox gazlarning bir qismi chiqib ketadigan tanjensial teshiklar yordamida amalga oshirildi. Bunda albatta o't ochish zichligi keskin oshdi, ammo snaryadlarning uchish uzoqligi 7,9 km gacha kamaydi. 1944 yilda paydo bo'lgan nemis reaktiv minomyotlarida ham snaryadlarga simmetriya o'qi atrofida aylanma harakat berishni amalga oshirdilar.

Sarf qilishlarning ikkinchi turi quyidagicha. Butun uchish davomida snaryadga tortishish kuchi ta'sir qiladi va havo qarshiligining yuqoriga qarab yo'nalgan F_{yu} komponentini hosil qiladi. 4.7 – rasm (snaryadning tepadan ko'rinishi) dan, u M kuch momentini va snaryadning aylanish yo'nalishi bo'yicha yo'nalgan ΔL impuls momenti o'zgarishini hosil qiladi. Natijada, snaryad traektoriyadan uning aylanish yo'nalishi bo'yicha chetga chiqadi. Bunga *derivatsiya* deyiladi va u artilleriya otish jadvalarida hisobga olinadi.

Nemis matematigi va astronomi I. Bonenberger (1765-1831) tomonidan ixtiro qilingan giroskopda *pretsessiya* keng qo'llaniladi. Giroskop rotori katta burchakli tezlikda aylanadi va uning aylanish o'qi kardan osmasi tufayli tanasiga bog'langan harakatlanayotgan vositaga nisbatan erkin harakatlana oladi, masalan raketa kabi.



4.7-rasm

Bu raketa tanasining holati o'zgarganda, va giroskop tanasining uning rotorining aylanish o'qiga nisbatan holatini o'zgartiradi. Natijada yuzaga keladigan nomuvofiqlik rulga berilgan tuzatish signaliga aylantiriladi. Ushbu tamoyil raketa navigatsiya tizimlarining, kosmik kemalar, xususan teleskoplar, kemalardagi, samolyotlar, suvosti kemalari avtopilotlarining ishlashi asosida yotadi.

Amaliyotdan misollar

1. Avtopilotning imkoniyatlarini 1989 yilda sodir bo'lgan voqea tasdiqlaydi. Sovet uchuvchisi, qiruvchi samolyot dvigateldagi qasir-qusurni portlash bilan adashtigan va Polsha hududi bo'ylab parvoz paytida katapul'ta qilgan. Shundan keyin samolyot pastga tushib yana balandlikka ko'tarilgan va avtopilot uchun belgilangan yo'lga yotgan. Shunday qilib, u GDR, GFR, Gollandiya, Belgiya hududlari bo'ylab - 900 km masofani bosib o'tgan va Frantsiya-Belgiya chegarasi yaqinida qulagan.

2. Rel'yefi past-balandliklardan iborat bo'lgan yerlarda tank qurolida o't ochishni qo'lda boshqarish qiyin va giroskopdan foydalanish ob'ektni doimo nishonda ushlab turishga imkon beradi. Xuddi shu maqsadlar uchun giroskoplar kemalarning to'lqinlardan chayqalishini so'ndiruvchi stabilizatorlarida, torpedalarning

yoʻnaltiruvchi qurilmalarida, kompaslar, stabilizatorlar va boshqalar sifatida qoʻllaniladi.

3. Giroskoplarning rotorlari gaz turbinalari yoki elektr dvigatellari yordamida aylantiriladi. Portativ zenit-raketa tizimini jangovar holatga keltirish giroskop rotorini aylantiradigan quvvat manbaini ishga tushirishdan boshlanadi. Uning oʻqiga termal (infraqizil) qidiruvchining obʻektivi oʻrnatilgan boʻlib, u nishonni ushlaydi. Obʻektivning optik oʻqi va nishonga yoʻnalish orasidagi burchakning bogʻliqligidan raketani boshqarish tizimining ijrochi mexanizmlariga uzatiladigan boshqaruv signali hosil boʻladi.

4. Shuningdek, integral mikrosxemaga oʻrnatilgan kichkina modellari mavjud. Ular, masalan, baʼzi smartfonlarda mavjud, kompyuter oʻyinlarida avtomashinalar, qurol-yarogʻ va boshqalarni ifodalovchi figuralarning joylashish burchagini oʻzgartirish uchun qoʻlning harakatlanishidan foydalaniladi. Parvoz paytida yoʻnalish olish uchun chivinlar ham tabiiy tebranish gyroskoplari bilan taʼminlangan.

4.4 Impuls momentining saqlanish qonuni

(4.29) formuladan quyidagi kelib chiqadi: agar tenglikning chap tomoni nolga teng boʻlsa, unda $L = J \omega = const$. (4.31)

Ikki jismdan tashkil topgan yopiq tizim uchun

$$J_1 \omega_1 = J_2 \omega_2. \quad (4.32)$$

Bu yana bir (va juda muhim) saqlanish qonunini impuls momentining saqlanish qonunini ifodalaydi. *Agar aylanish oʻqiga nisbatan tashqi kuchlar momentlarining yigʻindisi nolga teng boʻlsa, tizimning ushbu oʻqga nisbatan impuls momenti doimiy boʻlib qoladi.*

Xuddi shu narsa, agar koʻrib chiqilgan aylanish oʻqi boʻyicha kuchlar momentlari proektsiyalarining yigʻindisi nolga teng boʻlsa, ochiq tizim uchun ham amal qiladi.

(4.32) formuladan quyidagi kelib chiqadi: *agar tizimning aylanish oʻqiga nisbatan inertsia momenti oshgan boʻlsa, u holda uning aylanishining burchak tezligi shuncha marta kamayadi va aksincha.*

Amaliyotdan misollar

1. Konkida oʻz oʻqi atrofida aylanayotgan figurachiga faqatgina tortishish kuchi va tayanchning elastik reaksiyasi taʼsir qiladi. Ikkala kuch ham aylanish oʻqi boʻylab yoʻnalgan, shuning uchun ularning aylanish oʻqiga nisbatan momentlari nolga teng. Figurachi qoʻllarini tushirganda, oʻz massasining aylanish oʻqi boʻyicha

taqsimlanishini o'zgartirib, uning inertsiya momenti J kamayadi, ya'ni. $J_2 < J_1$. Bundan tashqari, (4.32) formuladan kelib chiqqan holda, $\omega_2 > \omega_1$, ya'ni burchak tezligi ortadi.

Odamning yelkalarini sharnirlar va uning tanasini aylanadigan ob'yekt bilan almashtirish, biz burchak tezligini barqarorlashtirish uchun tizimni olamiz. Agar tasodifiy hodisa natijasida u ortsa, keyin markazdan qochma kuch ta'sirida mexanik qo'llar ko'tariladi, inertsiya momenti oshadi va burchak tezligi kamayib, belgilangan qiymatga qaytadi. Shunga o'xshash tizimlar aviatsiyada va raketa texnikasida qo'llaniladi.

2. Nima uchun vertolyotning dum qismiga parrak qo'yiladi? Faraz qilaylik $J_{v.t.}, \omega_{v.t.}$ - vertolyot tanasining inertsiya momenti va ko'tarib turuvchi vint o'qiga nisbatan burchak tezligi, J_v, ω_v - vintning o'z o'qiga inertsiya momenti va burchak tezligi. U holda tizimning tinch holatida

$$J_{v.t.} \omega_{v.t.0} + J_v \omega_{v.0} = 0$$

Agar vintni biror ω_v burchak tezlik bilan harakatlantirilsa, u holda quyidagi bajariladi

$$J_{v.t.} \omega_{v.t.} + J_v \omega_v = J_{v.t.} \omega_{v.t.0} + J_v \omega_{v.0} = 0,$$

bulardan quyidagi kelib chiqadi

$$J_{v.t.} \omega_{v.t.} = -J_v \omega_v.$$

Ko'rib turganingizdek, vertolyot tanasi vintning aylanish yo'nalishiga qarama-qarshiyo'nalishda aylanma harakatga ega bo'lishi kerak. Bunda $J_{v.t.} \gg J_v$ bo'lsa, $\omega_{v.t.} \ll \omega_v$ bo'ladi, ammo, vertolyot tanasining juda sekin aylanishi ham, ham uchuvchi, ham o'qchi uchun juda noqulay bo'ladi. Shuning uchun vertolyotning dumida yon tomonida vint bor: u tortish kuchini hosil qiladi, uning yo'nalishi tananing aylanishiga to'sqinlik qiladi, kabinaning fazodagi holatini barqarorlashtiradi.

3. Kosmik stantsiyani yoki «Habbl» kosmik teleskopini yo'naltirish quyosh panellari bilan ishlaydigan bir nechta giroskoplar yordamida amalga oshiriladi. Kosmik kemasi giroskopning aylanish yo'nalishiga teskari yo'nalishda aylanadi. Samolyotlar, kema va boshqalarning zamonaviy giroskoplarining massasi uncha katta emas – bir grammdan o'nlab grammgacha. Bu massa giroskop, uning rotorini aylantiradigan dvigatel va uning quvvat manbai uchun batareyalarning birgalikdagi massalaridan iborat. Biroq, aylanishning yuqori burchak tezligi ularga boshqaruv vazifalarini hal qilish uchun yetarlicha bo'lgan impuls momentini beradi.

Impulsning saqlanish qonuni singari impuls momentining saqlanish qonuni, har doim ham - ham makro, ham mikro olamda (sayyoralar va yulduzlarning paydo bo'lishida, atomlar yadrolarining parchalanishi va boshqalarda) bajariladi. Umuman olganda, nemis matematigi A.M.Nyoter (1882-1935) ta'kidlaganidek, saqlanish qonunlari turlicha simmetriyalarni aks etadi: energiyaning saqlanish qonuni — vaqtning bir jinsliligini, impuls va impuls momoentining saqlanish qonunlari — fazoning bir jinsliligini va izotropligini.

Xulosa sifatida ilgariylanma va aylanma harakatlar formulalarini taqqoslash uchun taqdim etamiz (4.1-jadval).

4.1-jadval

Ilgarilanma harakat	Aylanma harakat
Ko'chish r	Burilish burchagi φ
Tezlik $v = \frac{dr}{dt}$	Burchak tezlik $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$
Tezlanish $a = \frac{dv}{dt}$	Burchak tezlanish $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$
Massa m	Inertsiya momenti $J = \sum_i m_i r_i^2$
Impuls $p = mv$	Impuls momenti $L = [r, p] = m[r, v] = J\omega$
Kuch F	Kuch momenti $M = [r, F]$
Dinamikaning asosiy qonuni $F = ma$	Dinamikaning asosiy qonuni $M = J\varepsilon$
Ish $\delta A = F_r dr$	$\delta A = M_\varphi d\varphi$
Kinetik energiya $E_k = \frac{mv^2}{2}$	Kinetik energiya $E_k = \frac{J\omega^2}{2}$

XULOSALAR

Aylanma va ilgariylanma harakatlar qonuniyatlari o'rtasida o'xshashliklar mavjud: ko'chish, tezlik va tezlanish analoglari quyidagilardan iborat: mos ravishda burilish burchagi, burchak tezligi va burchak tezlashi, massa analogi - inertsiya momenti, kuch analogi - kuch momenti, impuls analogi - impuls momenti va boshqalar.

Aylanma harakatning vektor xususiyatlarining modullari va yo'nalishlari, qoida tariqasida, vektor ko'paytma bilan aniqlanadi va o'ng vint qoidasini qo'llash talab etiladi. Bu aylanma va ilgariylanma harakatlarning xususiyatlarini bog'laydigan formulalarga ham tegishli.

Impuls momentumining saqlanish qonuni - bu tabiatning asosiy qonunlaridan biri bo'lib, u makro va mikro dunyoda qat'iy bajariladi va ko'plab texnik, shu jumladan qurol va harbiy texnika bilan bog'liq masalalar yechimlari asosida yotadi.

Nazorat uchun savollar

1. Oyning doimo bir xil tomoni bilan Yerga qarashi faktini qanday izohlash mumkin?

2. Nima uchun Yer doimo bir xil vaqtda Quyosh atrofida to'liq aylanishni amalga oshiradi?

3. Markazdan qochma kuch (inertsiya) aylanish radiusiga teskari proporsionaldir.

Nima uchun qutb yaqinida jismlar Yerdan uzilmaydi?

4. Nima uchun ba'zi vertolyotlarning umumiy o'qida ikkita rotor bor va ular qanday aylanadi?

5. Qaysi g'ildiraklar - old yoki orqa - mashinaning qattiq tormozlanishida avval blokirovka qilingan bo'lishi kerak? Nima uchun past uzatishdagi tormozlash neytraldagiga qaraganda samaraliroq?

6. Eng kam ish bajarish uchun jismni berilgan burchak tezlikda, qaysi o'qqa nisbatan aylantirish kerak?

7. Nima uchun mashina keskin harakat boshlanganda orqa g'ildiraklarga va «o'tiradi», keskin tormozlanganda esa «cho'qiydi»?

8. Nima uchun qattiq qaynatib pishirilgan tuxum uzoq vaqt aylanadi, ammo xom tuxum tezda to'xtaydi?

9. Aylantiruvchi moment dvigateldan avtomashinaning g'ildiraklariga friksion uzatma nakladkalarini siqish yo'li bilan, qo'zg'aladigan yetaklanuvchi diskning ishqalanuvchi nakladkalarini qo'zg'atuvchi yetaklovchi diskiga bosish orqali uzatiladi. Nakladkalar eskirganligi sababli g'ildiraklarga yetkazib beriladigan quvvat o'zgaradimi?

10. Nima uchun o'qning chiqish yorig'i kirish yorig'idan kattaroq?

Masala yechish namunalari

4.1. Uchi unga perpendikulyar bo'lgan aylanish o'qiga mahkamlangan uzun metal sterjen(yupqa sterjen) uchun Shteyner teoremasi to'g'ri ekanligini isbotlaymiz.

Berilgan: $J_0 = \frac{ml^2}{12}$; $b = \frac{l}{2}$

$J = J_0 + mb^2 = ?$

Yechish. Shteyner teoremasi bu hol uchun quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi

$$J = J_0 + mb^2 = \frac{ml^2}{12} + \frac{ml^2}{4} = \frac{ml^2}{3}.$$

Boshqa tomondan inertsia momentini hisoblasak:

$$J = \int_0^l \rho \pi r^2 l^2 dl = \frac{ml^2}{3}.$$

Javob. Shteyner teoremasi bajariladi.

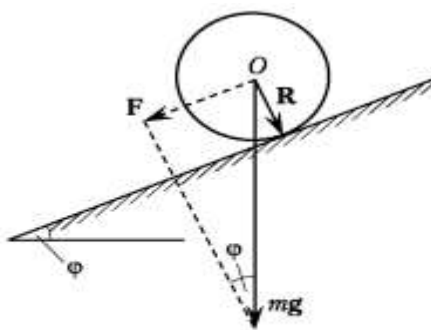
4.2. Qaysi bochka bo‘sh yoki dizel yoqilg‘isi bilan to‘ldirilgani – qiya yuklash platformasidan tezroq qumalaydi? Ishqalanishni hisobga olmag.

Yechish. Bochkalarning ishqalanishsiz dumalashida ularning bosib o‘tgan yo‘llari bir xil va ularning aylanishlar soni bilan aniqlanadi. Shunday qilib, dumalash vaqti ularning burchak tezlanishiga bog‘liq.

$$\varepsilon = \frac{M}{J}$$

Bochkani dumalatish kuchi uning inertsia markaziga qo‘yilgan va tortishish kuchining tarkibiy qismi hisoblanadi (4.9 - rasm): $F = mg \cdot \sin\varphi$. Oniy aylanish o‘qi bochka sirti bilan hosil qilinayotgan bochkaning qiya sirtga tegishish nuqtalari orqali o‘tkazilgan chiziq, u holda dumalanish ishqalanish kuchi momenti

$$M = F \cdot R = mgR\sin\varphi$$



4.9-rasm

Agar biz yon tomondagi ensiz qismlarning inertsia momentini e‘tiborga olmasak, u holda bo‘sh silindrsimon bochkaning uning og‘irlik markazidan o‘tuvchi o‘qqa nisbatan inertsia momenti (simmetriya o‘qiga to‘g‘ri keladi): $J_c = m_1 R^2$. Oniy

aylanish o'qi bu o'qga parallel va unga nisbatan R masofaga siljigan. Shuning uchun Shteyner teoremasiga asosan

$$J_1 = m_1 R^2 + m_1 R^2 = 2m_1 R^2.$$

To'la bochka uchun

$$J_1 = m_1 R^2 + m_1 R^2 = 2m_1 R^2.$$

$$J_2 = \frac{m_2 R^2}{2} + m_2 R^2 = \frac{3}{2} m_2 R^2.$$

Shunday qilib,

$$\varepsilon_1 = \frac{m_1 g R \sin \varphi}{2m_1 R^2} = \frac{g \cdot \sin \varphi}{2R}, \quad \varepsilon_2 = \frac{2m_2 g R \sin \varphi}{3m_1 R^2} = \frac{2g \cdot \sin \varphi}{3R}.$$

Javob. $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$, ya'ni to'la bochka tezroq qumalaydi.

4.3. Modernizatsiyalangan Kalashnikov avtomatining stvolidan uchib chiqayotganda o'qning aylanish chastotasi 3000 s^{-1} ga teng. Stvolning narezli (kertikli) qismining uzunligi 369 mm, narezning qadami 240 mm. Stvolda o'qning harakatlanish vaqti va uning stvoldan uchib chiqish tezligi qancha? Harakatni tekis tezlanuvchan deb hisoblang.

Berilgan: $v = 3000 \text{ s}^{-1}$; $l = 369 \text{ mm} = 0,369 \text{ m}$; $h = 240 \text{ mm} = 0,24 \text{ m}$.
 $\vartheta - ?$ $t - ?$

Yechish. O'qning stvoldan uchib chiqayotgandagi chiziqli tezligi

$$\vartheta = \frac{h}{T} = v h.$$

Boshlang'ich tezliksiz tekistezlanuvchan harakatda

$$\vartheta = at, l = \frac{at^2}{2}, t = \frac{2l}{\vartheta} =.$$

Son qiymatlarini qoy'ib hisoblasak, $\vartheta = 720 \text{ m/s}$, $t = 1,03 \cdot 10^{-3} \text{ s}$.

4.4. Giroskop rotorining o'qi $0,2 \text{ N} \cdot \text{m}$ tashqi kuch momenti ta'sirida gorizontalk tekislikda, 100s da to'la bir marta aylanmoqda (presetsiya). Agar uning inertsiya momenti $3 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ bo'lsa, giroskop rotorining aylanish chastotasini aniqlang.

Berilgan: $M = 0,2 \text{ N} \cdot \text{m}$; $T_{pr} = 100 \text{ s}$; $J = 3 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

$v - ?$

Yechish. Presetsiyaning burchak tezligi

$$\omega_{pr} = \frac{2\pi}{T_{pr}} = \frac{M}{L},$$

bu yerda L - ω burchak tezlikda aylanayotgan, giroskop rotorining impuls momenti:

$$L = J\omega = 2\pi Jv.$$

Shunday qilib,

$$\frac{2\pi}{T_{pr}} = \frac{M}{2\pi Jv}, v = \frac{MT_{pr}}{4\pi^2 J}.$$

Son qiymatlarini qoy'ib hisoblasak, $v \approx 1,7 \cdot 10^4 \text{ min}^{-1}$.

4.5. $25 \text{ N} \cdot \text{m}$ aylantiruvchi momentga ega bo'lgan CT103 starteri aylanishining o'rtacha chastotasi 2000 min^{-1} . 5 soniya davom etadigan dvigatelni ishga tushirish vaqtida u qanday ishni bajaradi?

Berilgan: $v = 2000 \text{ min}^{-1} = 33.33 \text{ s}^{-1}$; $M = 25 \text{ N} \cdot \text{m}$; $t = 5 \text{ s}$.

A - ?

Yechish. Startor tomonidan ishlab chiqilgan quvvat: $P = M\omega$ (ilgarilanma harakatdagi quvvatga o'xshash $= F \cdot v$). $\omega = 2\pi v$ bo'lgani uchun, $P = 2\pi vM$ va bajarilgan ish

$$A = P \cdot t = 2\pi vM \cdot t.$$

Son qiymatlarini qoy'ib hisoblasak, $A \approx 26 \text{ kJ}$ ni olamiz.

Mustaqil yechish uchun masalalar

4.6. Yer o'z o'qi atrofida aylanishi tufayli, uning $\varphi = 60^\circ$ geografik kenglikdagi sirtidagi jismlarning chiziqli tezligi qanday?

4.7. Avtomobil tezlashganda, uning g'ildiraklari $\varphi = \frac{\pi t^3}{50 \text{ rad}}$ qonun bo'yicha aylanadi. Ishga tushgandan keyin 80 aylanishni amalga oshirgan paytda, g'ildirakning burchak tezligi va burchak tezlanishi qanday?

4.8. 9,6 g og'irlikdagi 7,62 mm kalibrli o'q Kalashnikov avtomatining stvolidan uchib chiqib, o'z o'qi atrofida 3400 s^{-1} chastotada aylanmoqda. Uning aylanish o'qiga nisbatan inertsia momenti va impuls momenti qanday? O'qni bir jinsli silindr deb hisoblang.

4.9. Tirsakli valning aylanish tezligi 900 min^{-1} bo'lgan MAN avtomashinasining dvigatelining maxovigi $42 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ impuls momentiga teng. Uni qo'shimcha ravishda 2400 min^{-1} ga qadar aylantirish uchun qanday ish bajarish kerak?

2-BO‘LIM. MOLEKULYAR FIZIKA VA TERMODINAMIKA

5-BOB. MOLEKULYAR FIZIKA

5.1. Klassik statistika tamoyillari

Qadimgi yunonlar materiya atomlardan iborat deb taxmin qilishgan, ammo bu taxminning ilmiy asoslanishi faqat XVII - XVIII asrlarda ximiyaviy reaksiyalarni o‘rganish bilan mumkin bo‘ldi.

Faraz qilaylik ma‘lum bir vaqt ichida barcha gaz molekulalarining koordinatalari va impulslari, ya‘ni tizimning mikroholati ma‘lum bo‘lsin. U holda dinamikaning qonunlari buni keyingi vaqt uchun hisoblashga imkon beradi, so‘ngra undan keyingi va boshqalar. Bu frantsuz matematigi P. Laplasning (1749-1827) koinot taqdirini oldindan belgilash haqidagi goyasining asosini tashkil etdi: uning hozirgi holati - avvalgisining natijasi va kelajakdakisining asosidir. Bunday hisoblash, xususan, gaz holatining parametrlarini - uning hajmi V , bosim P va temperatura T ni baholashga imkon beradi.

Ular Yer atmosferasini nazorat qilish, samolyot qanotining ko‘tarilish kuchini hisoblash, transport vositalari, raketalar, snaryadlar va boshqalarning harakatiga havoning qarshiligini hisoblashda muhim.

Biroq, vazifa juda ko‘p miqdordagi molekulalar bilan murakkablashadi. Bir mol moddada, italiyalik fizik va ximik olim A. Avogadro (1776-1856) tomonidan aniqlangan va uning nomi bilan Avogadro soni deb ataluvchi : $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} mol^{-1}$ molekula mavjud.

Ushbu ulkan sonni tasavvur qilish uchun ba‘zida ular obrazlarga murojaat qilishadi. Tasavvur qiling, Suqrot ichishga majbur bo‘lgan zaharli idishdagi barcha molekulalar, Er yuzasida teng taqsimlanganda, har bir idishdagi choyda bu idishdan bir nechta molekulalarni o‘z ichiga oladi.

Shuncha zarralar bilan dinamik hisob-kitoblarni tasavvur qilib bo‘lmaydi. Hatto uchta o‘zaro ta‘sir qiluvchi jismlar uchun harakat qonunlarini topish juda qiyin va

shuning uchun fizika tajribalar bilan boshlandi. Tajribalarning yordami bilan tizim holatining parametrlarini frantsuz fizigi B. Klapeyron (1799-1864) va rus ximigi D. I. Mendeleev (1834 - 1907) tomonidan olingan empirik tenglama bilan quyidagi ko‘rinishda bog‘lash mumkin:

$$P \cdot V = \nu R \cdot T \quad (5.1)$$

bu yerda $\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}$ – modda miqdori mollarda; $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ -molyar gaz doimiysi. Bu tenglamani quyidagi ko‘rinishdagi tenglama bilan ham ifodalashimiz muumkin

$$P = \frac{N}{V} \cdot \frac{R}{N_A} T = nkT, \quad (5.2)$$

bu yerda $n = \frac{N}{V}$ –molekulalar konsentratsiyasi; $k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot \frac{10^{-23} \text{ J}}{\text{K}}$ – Bol’tsman doimiysi bo‘lib, avstraliyalik fizik-nazariyotchi L. Bol’tsman (1844 - 1906) sharafiga shunday nomlangan. (4.2) formuladan izotermik, izobarik va izoxorik jarayonlar tenglamalari, shuningdek A. Avogadro, D. Dalton (1766-1844) va boshqa qonunlar kelib chiqadi.

Shunga qaramay, fan nazariyasiz rivojlana olmaydi, shuning uchun nemis fiziklari A. Krenig (1822-1879) va R. Klauzius (1822-1888) tyomonidan gazning harakatini tushuntirish uchun molekulyar kinetik nazariya (MKN) ni taklif qilingan. Bu *ideal gazning* quyidagi *xususiyatlariga* asoslanadi:

- 1) molekulalar orasidagi masofa ularning kattaligidan ancha katta (shuning uchun molekulalar egallagan hajm gaz hajmidan ancha kam);
- 2) molekulalarning o‘lchamidan katta masofada molekulalar o‘rtasida o‘zaro ta’sir yo‘q, ammo ular bir – biri bilan elastik to‘qnashadilar;
- 3) molekulalarning harakati betartib, xaotik, ularning koordinatalari va tezliklarining yo‘nalishlari teng ehtimolli.

Real gaz past molekulyar konsentrasiyalarda va nisbatan yuqori temperaturalarda ideal gazga yaqin.

Bunday model EHM yordamida har qanday vaqtda molekulalarning har biri harakatini hisoblash g'oyasini tugdiradi. Bu shuni anglatadiki, tizim dinamik qonunlarga bo'ysungan holda zarrachalar ham o'zlarini shularga bir ma'noli tutadi. Ammo, agar bunday hisob-kitob muvaffaqiyatli bo'lsa, uni amalga oshirishga ham vaqtimiz yetmaydi, demak bu g'oya ma'nosini yo'qotadi: normal sharoitda bitta molekula sekundiga $\sim 10^9$ to'qnashuvni amalga oshiradi va 1 sm^3 da $\sim 10^{19}$ molekula bor. Bu shuni anglatadiki, molekulalarning zarblari bir zumda molekulalarning avvalgi holatini xotiradan o'chiradi va molekulyar betartiblikka olib keladi. Demak bu yerda butunlay boshqacha yondashuvlar talab qilinadi.

Agar siz tangani N marta tashlasangiz, undan N_p marta «orqasi», chiqadi va $W = \frac{N_p}{N}$ qiymati har qanday bo'lishi mumkin. Ammo, agar N ko'paytirilgan bo'lsa, unda W ning qiymati 0,5 ga intiladi - bu «orqasi» tushish ehtimolini tavsiflaydi. Shunday qilib, hodisa ehtimoli ko'plab sinovlarda uning takrorlanishining kutilayotgan chastotasini belgilaydi.

Voqealar ehtimolini baholashga asoslangan qonuniyatlar statistik qonuniyatlar deyiladi. Ular molekulalar tizimiga ham tegishli. Kema to'rtta molekulani o'z ichiga olsin. Ularning mumkin bo'lgan kombinatsiyalari idish hajmining yarmini egallashi taqsimoti 5.1-rasmda tasvirlangan. Bu yerda agar chap yarmida 1, 3 raqamlari bo'lgan molekulalar bo'lsa, va o'ng yarmida 2, 4, raqamlari bo'lgan molekulalar, bu tizimning bitta mikroholati, aksincha bo'lsa boshqa bir narsa. Bundan farqli o'laroq, tizimning makroholati ularning raqamlaridan qat'i nazar, faqat idishning har bir yarmidagi molekulalar soni bilan belgilanadi. Demak, shunisi aniq: uning berilgan makroholatida molekulalar tizimining qancha ko'p mikroholatlari mumkin bo'lsa, uning ehtimoli shunchalik katta bo'ladi, unga *statistik vazn* deyiladi.

						6													
						34	12												
						24	13												
						4							4						
		234	1	23	14	1	234												
		134	2	14	23	2	134												
		124	3	13	24	3	124												
1							1												
1234	123	4	12	34	4	123	1234												

5.1.-rasm

5.1-rasmdan shu kelib chiqadiki, molekullarning taqsimlanishi ehtimoli yuqoriligi idishning hajmi bir xil bo'lganda, idishdagi molekular soni qancha ko'p bo'lsa, bashorat shuncha aniqroq bo'ladi. Taqdim etilgan holatda, idishning chap yarmida yetishmovchi bitta molekula aniq tenglikka nisbatan bir yarim baravar kam uchraydi.

Ammo, to'rtta molekula emas, masalan, 10^4 molekula bo'lsa, (normal sharoitda bu juda kam), hatto 5% lik xatolik 10^{22} marta sodir boladi, bu normal taqsimotdan kamroq. Bu shuni anglatadiki, statistik betartiblik, ba'zi jihatdan, materiyaning mavjud bo'lishining juda aniq shakli. Bu *zaruriy va tasodifiy dialektik birlikni, shuningdek miqdorning sifatga o'tish qonunini* namoyon etadi, *juda katta tartibsizlik yangi tartibga olib keladi.*

Statistik qonuniyatlar tahlil qilishdagi ancha kuchli vositalardan biridir masalan, qandaydir fizik miqdorni o'lchashda. Ko'pgina tasodifiy omillarning ta'siri tufayli uning aniq qiymatini olishning iloji yo'q, ammo o'lchovlar sonini ko'paytirish va natijalarni statistik usullar bilan qayta ishlash orqali unga yaqinlashish mumkin. Bunday usullardan laboratoriya praktikumlarida foydalaniladi.

Molekulalar harakatining tasodifiyligi, molekular tomonidan istalgan zarraga uzatiladigan impulslar, tegishli tartibsizlikka olib keladi. Agar uning o'lchami katta ($> 5 \cdot 10^{-6}m$) bo'lsa, uning sirtiga uriluvchi molekular soni juda katta, va shuning uchun impulslarning vektor yig'indisining noldan chetga chiqishi, xuddi molekular konsentratsiyasining normal taqsimotdan chetlashishiga o'xshash kam ehtimolliklidir.

Agar zarracha kichik bo'lsa, unda hosil bo'lgan impulslar xaotik ravishda vaqt o'tishi bilan o'zgaradigan zarrachalarning xaotik harakatini keltirib chiqaradi, bu harakat, mikroskop orqali o'simlik gulchagining harakatini kuzatgan ingliz botanigi R. Braun(1773-1858)ning sharafi bilan Brown harakati deb nomlangan. Bu hodisa molekullarning xaotik (issiqlik) harakatlanishining ko'rgazmali isboti bo'lib, molekulyar kinetik nazariya(MKN)ning asoslaridan biri hisoblanadi.

5.2. Bosim va temperatura

Shunday qilib, gaz *o'z-o'zidan* molekullarning bir xil kontsentratsiyasini, shuningdek bosim temperaturasini belgilaydi, va bu holatdan chetga chiqishi ehtimoldan yiroq.

Parametrlari fazoda va vaqt ichida doimiy bo'lgan tizim holati *issiqlik muvozanati* deyiladi.

Issiqlik muvozanatida molekullarning tezliklari (energiyalari) ham bir xil bo'lishi kerakdek tuyuladi, ammo bu unday emas. Ularning har biri ketma-ket zarbalarda o'zlarining energiyasini beradi, uni nolga qadar kamaytiradi. Boshqalari, aksincha, har bir zarba bilan energiya oladu, ularda energiyaning miqdori ortib boradi. Juda yuqori miqdorlarga qadar energiyasi ortishi mumkin. Biroq, bunday holatlar kamyob hisoblanadi, aksariyat molekullar ta'sirida energiya beradi va oladi va juda kichik va juda katta tezliklarga ega bo'ladilar. Demak, ma'lum bir tezlik bilan harakatlanayotgan molekullar sonining uning tezligi modulga bog'liqligi qo'ng'iroq shaklidagi ko'rinishga ega bo'lishi kerak.

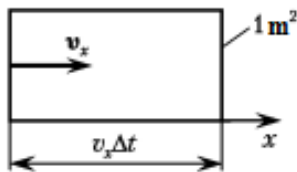
R. Klauzius tomonidan hisoblangan gaz bosimi ham molekullarning impulsiga bog'liq. Hisoblash MKN asoslari va dinamika qonunlari majmuasiga asoslangan va juda ajoyib natija beradi. (1.35), (1.36) va (2.40) formulalar asosida, bitta molekulaning ta'siri natijasida paydo bo'lgan, x o'qiga perpendikulyar ravishda idish devoriga ta'sir qiluvchi kuch quyidagiga teng bo'ladi

$$F = \frac{2m\vartheta_x}{\Delta t}, \quad (5.3)$$

bu erda ϑ_x - boshqa har qanday y - va z -komponentlar uchun molekulyar tezlikning x -komponenti.

Idish devoridan maksimal masofada joylashgan molekula t vaqt ichida 1 m^2 yuzaga ega devor qismiga bunday ta'sirlardan qanchasini sodir etishini taxmin qilaylik. ϑ_x tezlikdagi molekula idish devoriga yetguncha o'tadigan Δt vaqt ichida $\vartheta_x \Delta t$ maksimal masofani bosib o'tadi (5.2-rasm). Shunday qilib, ϑ_x tezlikdagi molekulalarning idish devoriga t vaqtdagi urilishlarining umumiy soni, silind ichidagi molekulalarning soniga teng. Agar ularning konsentratsiyasi dn_{ϑ_x} bo'lsa, ulardan $\frac{dn_{\vartheta_x}}{2}$ tasi x o'qi yo'nalishi bo'yicha harakat qiladi (5.2-rasmga qarang) va teskari yo'nalishda ham bir xil miqdordagi, ya'ni, $dN_{\vartheta_x} = dn_{\vartheta_x} \cdot \frac{\vartheta_x \Delta t}{2}$ molekula harakat qiladi va ular idish devoriga ko'rsatadigan bosim:

$$dp_{\vartheta_x} = \frac{2m\vartheta_x dN_{\vartheta_x}}{\Delta t} = m\vartheta_x^2 dn_{\vartheta_x}.$$



5.2-rasm

Umumiy bosimni topish uchun bu ifodani barcha ϑ_x lar uchun integrallash kerak.

$$p = \int_{\vartheta_x=0}^{\infty} m\vartheta_x^2 dn_{\vartheta_x} = 2n \left(\frac{1}{2} \int_{\vartheta_x=0}^{\infty} \frac{m\vartheta_x^2}{2} dn_{\vartheta_x} \right),$$

$$(5.4)$$

bu ifoda $2n$ ga ko'paytirish va bo'lish natijasida hosil qilindi. Qavs ichidagi ifoda x koordinata bo'yicha ilgarilanma harakatning o'rtacha energiyasiga ega bo'lamiz.

Madomiki $\vartheta^2 = \vartheta_x^2 + \vartheta_y^2 + \vartheta_z^2$, u holda o'rtachalab, olamiiz

$\vartheta_{oi}^2 / 3 = \vartheta_{xoi}^2 = \vartheta_{yoi}^2 = \vartheta_{zoi}^2$, u holda,

$$p = 2n \frac{m\vartheta_{xoi}^2}{2} = \frac{2}{3} \frac{m\vartheta_{oi}^2}{2} = \frac{2}{3} nE_{oi}, \quad (5.5)$$

bu yerda $E_{o'}$ - molekular xaotik ilgarilanma harakatining o'rtacha energiyasi. (5.5) formula bilan aniqlanadigan bosim devorga ham, gaz ichidagi har qanday jismga ham, gazning ba'zi qismlari tomonidan boshqasiga va hokazolarga ta'sir qiladi, ya'ni *gazning ichki bosimi* bo'lib, bu Paskal qonuniga muvofiq barcha yo'nalishlar uchun bir xil bo'ladi.

(5.5) formula MKN ning juda jiddiy yutug'idir. U faqatgina tajriba natijasida olingan $p \sim n$ bog'lanishnigina emas, shuningdek, uzoq vaqt davomida tushunarsiz bo'lib kelgan «*temperatura*» (lotincha temperatura - aralash) tushunchasining ma'nosini ochib beradi. Mazkur atama issiqlik ta'siriga ega bo'lgan dorilarni aralastirishdan kelib chiqqan.

Termometrning prototipi G. Galiley tomonidan ixtiro qilingan va X. Gyuygens va R. Guk uning shkalasining doimiy nuqtalari sifatida - muzning erish va suvning qaynash temperaturasini taklif qilishgan. XVII asrda nemis fizigi D. G. Farengeyt (1686-1736) spirtli va simobli termometrlarni yaratdi, ammo termometrning nimani o'lchashi noma'lum bo'lib qoldi. Termometrlar hali ham temperaturaning o'zini emas, balki unga bog'liq bo'lgan termometrik parametrlarni, masalan, simob yoki gaz ustunining hajmini o'lchaydi, ya'ni, temperatura o'lchovlari bilvosita o'lchashlardir.

Boshqa tomondan, temperaturaning fizik ma'nosini tushunmaslik uni ishlatishga to'sqinlik qilmadi. Agar $t \sim 39^{\circ}\text{C}$ da odam kasal bo'lib, $t \sim -39^{\circ}\text{C}$ da simob muzlaydi, u holda termometr uning bo'linishi nimani anglatishiga qaramay foydalidir. Rus faylasufi va publitsisti D.I.Pisarevning (1840-1868) so'zlari bu erda o'rinli: "Illyuziyalar va so'zlar yo'q bo'lib ketadi, faktlar qoladi". MKN temperaturaning ma'nosini tushunish shaklidagi muhim fakti oshkor qildi. (5.4) va (5.5) formulalarni (5.2) tenglama bilan taqqoslash natijasida quyidagi munosabatlar kelib chiqadi.

$$\frac{m\theta_{xo'}^2}{2} = \frac{1}{2}kT, \quad (5.6)$$

$$E_{ko'} = \frac{m\theta_{o'}^2}{2} = \frac{3}{2}kT, \quad (5.7)$$

Ushbu ajoyib ifodalar shuni ko'rsatadi: *absolyut temperature — bu molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasining o'lchovi.*

$T = 0$ uchun $E_{kor} = 0$, ya'ni molekulalarning har qanday harakati to'xtaydi (ancha keyin - kvant fizikasida - bu shunday emasligi aniqlandi). (5.6), (5.7) ifodalar ham turli yo'nalishdagi molekulalar harakat energiyasini taqqoslashga imkon beradi. Umuman olganda, *har qanday jismning mustaqil harakatlari soni i (uning mustaqil koordinatalari) erkinlik darajasi deb ataladi.* Masalan, bir atomli molekulani zarracha sifatida ko'rib chiqsak, uchta erkinlik daraja ega - uchta, masalan, dekart, koordinatalar. (4.6) formuladan ko'rinib turibdiki, ularning har biriga o'rtacha $kT/2$ energiya to'g'ri keladi. Agar molekula ikki atomli bo'lsa (gantel kabi), unda uning inertsiya markazi xuddi shu uchta mustaqil koordinatalar bo'ylab harakatlanishi mumkin va atomlarni birlashtirgan o'qning holati uning aylanish erkinligini belgilaydigan ikkita burchak bilan belgilanishi mumkin. Jami $i = 5$. Agar atomlar orasidagi masofa ham o'zgarishi mumkin bo'lsa (masalan, kuchlanish-siqish), unda tebranish erkinligi darajalari qo'shiladi va hokazo. Barcha holatlarda, Klauzius va Kembrijdagi mashhur Kavendish laboratoriyasining asoschisi, taniqli ingliz fizigi J. Maksvell (1831-1879): tomonidan o'rnatilgan umumiy tamoyil (u allaqachon ilgari harakati uchun (5.6), (5.7) formulalarida namoyon bo'lgan), *o'rtacha energiya har bir erkinlik darajalari o'rtasida teng taqsimlanadi, shundan har bir erkinlik darajaga to'g'ri keladigan energiya $kT/2$ ga teng.*

Tebranishning erkinlik darajasi istisno qilinadi, unda bir-biridan mustaqil ikki xil energiya mavjud – kinetic va potentsial, va shuning uchun unda o'rtacha energiya kT ni tashkil qiladi. Shunday qilib,

$$E_{or} = \frac{i}{2}kT. \quad (5.8)$$

Energiyani erkinlik darajalari bo'yicha taqsimlash mexanizmi quyidagilardan iborat, to'qnashuvlar natijasida molekulalar energiyani bir erkinlik darajasidan, ba'zi sabablarga ko'ra ko'proq bo'lganidan, kamroq bo'lgan joylariga o'tkazadi. Masalan,

gaz ichidagi molekular oqimi energiyani bir tomonlama yoʻnalgan harakat natijasida erkinlikning boshqa darajalari boʻylab asta-sekin tarqatib yuboradi.

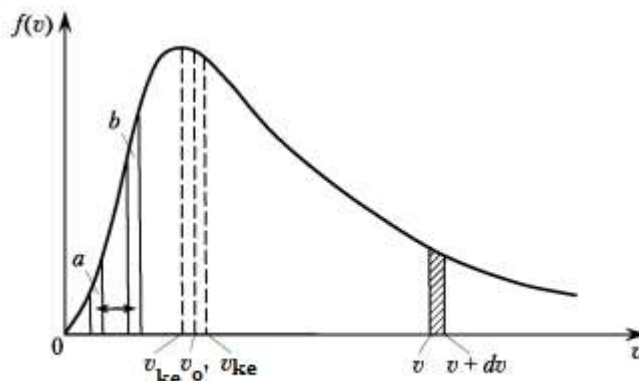
5.3. Maksvell va Boltsman taqsimoti

Molekulalarning tezligi orasida deyarli har qanday qiymatni topish mumkin. «Deyarli» — chunki tezlik tashuvchilar soni juda koʻp boʻlsa-da, bari bir cheklangan. Tahlil qilish uchun v dan $v + \Delta v$ gacha tezliklarning maʼlum diapazonga ega boʻlgan Δn_v molekularni uygʻun birlikdan «kesib olish» qulayroq. Bunda $n = \sum_v n_v$ chekli, $p_v = \Delta n_v/n$ esa belgilangan intervalda tezligi boʻlgan molekularni aniqlash ehtimoli. p_v ning har xil v ga, uning intervalning Δv kengligiga bogʻliqligini istisno qilish kerak, yaʼni, hamma v uchun *birlik* tezlik intervalini koʻrib chiqish:

$$f(v) = \frac{p_v}{\Delta v} = \frac{1}{n} \frac{\Delta n_v}{\Delta v}. \quad (5.9)$$

$f(v)$ funksiyasi *ehtimollik zichligi* deyiladi. Xuddi shu tarzda, masalan, odatdagi zichlik ρ birlik hajmdagi massa bilan aniqlanadi, Δm massa alohida zarrachalar massalarining yigʻindisi boʻlishiga qaramay $\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V}$. $\Delta V \rightarrow dV$ oʻtilganda $f(v)$ funksiyasi 5.3-rasmda koʻrsatilgan shaklga ega boʻladi:

$$f(v) = \lim_{\Delta v \rightarrow 0} \frac{1}{n} \frac{\Delta n_v}{\Delta v} = \frac{1}{n} \frac{dn_v}{dv}. \quad (5.10)$$



5.3 - rasm

Formuladan (5.10) ko‘rinib turibdiki, 5.3-rasmdagi shtrixlangan yuza quyidagiga teng

$$f(\vartheta)d\vartheta = \frac{dn}{n}. \quad (5.11)$$

U tezligi ϑ dan $\vartheta + \Delta\vartheta$ gacha bo‘lgan molekullarning soniga teng. Mos holda, butun egri chiziq ostidagi yuza tezligi 0 dan ∞ gacha bo‘lgan molekullarning ulushini aniqlaydi, shuning uchun u birga tengdir. Har qanday tasodifiy o‘zgaruvchining ehtimollik zichligining unga bog‘liqligi qiymati uning taqsimot funksiyasi deyiladi.

4.3-rasmda tasvirlangan egri chiziq molekullarning tezliklar bo‘yicha taqsimotining funksiyasi. Ideal gaz molekullari uchun uni, fizik hodisalarni tavsiflashga birinchi bo‘lib statistikani kiritgan J. Maksvell nazariy jihatdan olgan. Uning ko‘rinishi

$$f(\vartheta) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \vartheta^2 e^{-\frac{m\vartheta^2}{2kT}}. \quad (5.12)$$

Aynan shu *Maksvell taqsimoti* va 5.3-rasmda ham shu shakl ko‘rsatilgan. Uning maksimal darajasi $\vartheta = \vartheta_{ke}$ tezligiga to‘g‘ri keladi.

Savol. ϑ_{ke} tezligining fizik ma‘nosi nima?

Javob. Bunday tezlik bilan harakatlanadigan molekullarning ulushi maksimal bo‘lgani uchun, bu *eng katta ehtimollikli tezlik*.

Uning qiymatini har qanday ekstremum kabi, funksiyasi (5.12) dan v ga nisbatan hosilani olish va uni nolga tenglashtirish orqali topish mumkin. Natijada, quyidagini olamiz

$$\vartheta_{ke} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}. \quad (5.13)$$

Masalan, 0°C darajadagi vodorod molekullari uchun $\vartheta_{ke} \sim 1500$ m/s. Ko‘p hisob-kitoblar uchun o‘rtacha tezlik ϑ_{or} (yoki $\overline{\vartheta}$) ham muhimdir:

$$\vartheta_{or} = \frac{1}{n} (\vartheta_1 \Delta n_1 + \vartheta_2 \Delta n_2 + \dots + \vartheta_n \Delta n_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \vartheta_i \Delta n_i, \quad (5.14)$$

bu erda ϑ_i tezlikdagi Δn_i molekularlar mavjud deb taxmin qilinadi. Taqsimot funksiyalari ma'nosini hisobga olgan holda, quyidagini topamiz

$$\vartheta_{or} = \frac{1}{n} \int_0^{\infty} \vartheta dn_{\vartheta} = \int_0^{\infty} \vartheta f(\vartheta) d\vartheta = \sqrt{8kT/(\pi m)}, \quad (5.15)$$

bu erda (5.12) munosabat ishlatilgan. Maksvell taqsimoti assimetrik (o'ng shox tekisroq) bo'lgani uchun $\vartheta_{or} > \vartheta_{ke}$. Shu tarzda molekularlar majmuasining boshqa har qanday xarakteristikasining o'rtacha qiymatini topish mumkin, (5.15) ifodadagi integralga, ϑ o'rniga, masalan, ϑ^2 qiymatini qo'yiladi. Bunday integralning ildizi *o'rtacha kvadratik tezligi* ϑ_{kv} deb ataladi. U molekularlar *energiyasining o'rtacha qiymatini* aniqlaydi:

$$\vartheta_{kv} = \sqrt{\int_0^{\infty} \vartheta^2 f(\vartheta) d\vartheta} = \sqrt{3kT/m}. \quad (5.16)$$

Ushbu tezliklarni o'rnatilishida molekularlar to'qnashuvlar katta rol o'ynaydi. To'qnashuvlarning o'rtacha chastotasi molekularning o'rtacha tezligi va ularning diametri d asosida aniqlanishi mumkin:

$$z_{or} = \sqrt{2}\vartheta_{or}\pi d^2 n. \quad (5.17)$$

Bu shuningdek, ketma-ket to'qnashuvlar orasidagi o'rtacha yo'lni belgilaydi, bu *o'rtacha erkin yugurish yo'li* deb ataladi:

$$\lambda_{or} = \frac{\vartheta_{or}}{z_{or}} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}. \quad (5.18)$$

(5.2) formuladan kelib chiqqan holda, $T = \text{const}$ $n \sim p$ va shuning uchun $\lambda_{or} \sim 1/p$. Masalan, normal sharoitda havoda ($p_0 = 760 \text{ mm.sim.ust.} = 101,325 \text{ kPa}$, $T_0 = 273 \text{ K}$) $\lambda_{or} \sim 10^{-7} \text{ m}$.

Maksvelli taqsimoti, harakatlari klassik mexanika qonunlariga bo'ysunadigan o'zaro ta'sir qilmaydigan yoki elastik o'zaro ta'sirlashuvchi zarrachalar tizimlarida issiqlik muvozanatida o'rnatiladi: gazlar, ba'zi suyuqliklar, broun zarralari va boshqalar. To'qnashuvlar paytida molekularlar tezligini doimiy ravishda o'zgartirganiga qaramay, Maksvelli taqsimoti statsionar (vaqt bo'yicha o'zgarmas) u

dinamik muvozanatni saqlaydi. Agar to‘qnashuv natijasida molekulalarning bir qismi tezlikning a elementar oralig‘idan b oralig‘iga o‘tgan bo‘lsa (5.3-rasmga qarang), demak, shu vaqt ichida aynan shuncha qism teskari yo‘nalishda ketadi.

Fizikada odatdagidek, ideallashtirilgan modelni ko‘rib chiqqandan so‘ng, unga o‘zgartirishlar kiritiladi. Atmosfera molekulalari, masalan, Yerning tortishish kuchi maydonida. Bu uning xususiyatlariga ta‘sir qiladimi? Ha, B. Paskal XVII asrdayoq balandlikning oshishi bilan atmosfera bosimi pasayishini aniqlagan.

Vertikal o‘qi h bo‘lgan silindrni xayolan ajratib olaylik. Uning maydoni bilan gorizontal kesmaning 1 m^2 , pastki 1 va ustki 2 asosga ta‘sir etuvchi kuchlari p_1 va p_2 bosimiga teng. Muvozanat holatida $p_1 = p_2 + nmgh$, bu erda o‘ngdagi ikkinchi had silindr ichidagi gazning tortishish kuchi; n - molekulalarning konsentratsiyasi; m - bitta molekulaning massasi. Shuning uchun $dp = p_2 - p_1 = -nmgh = kTdn$, bu erda keyingisi $T = \text{const}$ tenglikni hisobga olgan holda (5.2) formuladan kelib chiqadi. Shunday qilib, $dn/n = -mgdh/kT$. Oxirgi balandliklarning farqi 0 dan h gacha

$$\int_{n_0}^n \frac{dn}{n} = -\frac{mg}{kT} \int_0^h dh, \quad (5.19)$$

bu erda n_0 - $h = 0$ balandlikdagi molekulalarning konsentratsiyasi. Bundan

$$n = n_0 e^{-\frac{mgh}{kT}} = n_0 e^{-\frac{E_n}{kT}}. \quad (5.20)$$

Ko‘rib turganimizdek, n molekulalarning konsentratsiyasi ularning potentsial energiyasining ortishi bilan eksponent ravishda kamayadi. Bunday holda, molekulalarning energiya bo‘yicha Maksvelli taqsimoti barcha balandliklarda saqlanib qoladi.

(5.20) formuladagi oxirgi ifoda yanada umumiy shaklga ega. Endi u faqat tortishish kuchiga taalluqli emas va olingan natijani, masalan, turli xil potentsial maydondagi zarrachalarning har xil turlariga, masalan, elektrostatik maydondagi zaryadlangan zarrachalarga.

(5.20) formula *Boltsman taqsimoti* deb ataladi. Undan uchish apparatlarining aerodinamikasini tahlil qilish uchun foydalaniladi; ularning qoplamasiga termal ta‘sir;

raketalarni uchirishdagi yoqilg‘i sarfi; ichki yonish dvigatellarining tog‘li sharoitlarda ishlashi va boshqalar. Xususiy holda $E_p = mgh$ formula (5.2) ni hisobga olgan holda (5.20) formulaga quyidagi ko‘rinishni berishi mumkin

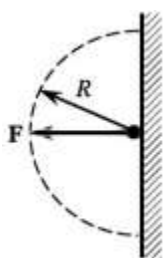
$$p = p_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}. \quad (5.21)$$

Boltsman taqsimotining bu ko‘rinishiga barometrik formulalar deyiladi u atmosfera bosimining balandlikka bog‘liqligini tavsiflaydi. (5.21) munosabatiga asoslanib ishlaydigan asboblarga, *al’timetrlar* deyiladi va masalan, aviatsiyada (aslida formulasi ancha murakkab, chunki balandligi 0 — 10 km gacha ko‘tarilganda havo temperaturasi chiziqli ravishda -50°C gacha pasayadi).

MKN ni ko‘rib chiqishni yakunlab, biz real gazlar va bug‘lar yuzlab atmosfera bosimi yoki kondensatsiya temperaturaga yaqin bo‘lgan temperatura uning dastlabki holatiga mos kelmaydi. Molekulalar egallagan hajm molekulalararo fazo hajmiga mutanosib bo‘ladi. Uning hajmi $V - Nb$ ga teng bo‘ladi, bu erda b - bitta molekulaning hajmi. Bundan tashqari, molekulalarning o‘zaro tortilishi ham ta’sir qiladi.

Agar devorga urilgan molekula boshqa gaz molekulalari tomonidan tortilsa, u holda tortishish kuchi devordan yo‘naltiriladi va shu sababli bosim p kamayadi. Natijalovchi F kuchining moduli (5.4-rasm) molekulalar soniga mutanosib, radiusi R bo‘gan yarim sharda joylashgan molekulalar, ularning ichida o‘zaro tortishish ta’sir qiladi va natijada ularning kontsentratsiyasi: $F \sim n$.

Shuning uchun (5.2) formulaga kiritiladigan tuzatish, bitta molekula bilan bog‘liq: $\Delta p_i \sim n$ va bosim bilan bog‘liq barcha molekulalar tomondan: $\Delta p = n\Delta p_i \sim n^2 = an^2$, bu erda a - mutanosiblik koeffitsienti. Ushbu omillarni hisobga olgan holda *holat tenglamasi* quyidagi shaklni oladi



$$p = \frac{NkT}{V - Nb} - an^2. \quad (5.22)$$

Эта формула называется уравнением Ван-дер-Ваальса по имени нидерландского ученого Й. Д. Ван дер Ваальса (1837—1923, Нобелевская премия 1910 г.) получившего его эмпирическим путем.

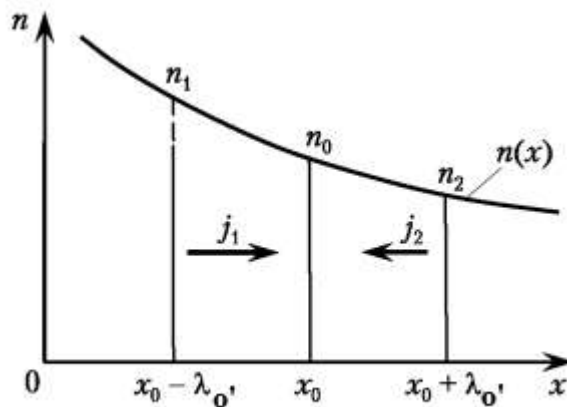
5.4-rasm

5.4. Ko‘chish jarayonlari

Savol. Garajda benzinli idish qopqog‘i ochilgan bo‘lsa, uning hidi idishdan uzoqroqda seziladimi?

Javob. Idish og‘zidan benzin molekulari havoga tarqaladi. Bu shuni anglatadiki, havo — benzinli tizim issiqlik muvozanatiga mos kelmaydi. Xuddi shu narsani radioaktiv bulut yoki zaharli gazlar buluti zarralarining tarqalishi to‘g‘risida ham aytish mumkin. Hozirgi paytda bunday qurol taqiqlangan. Xuddi shu narsa bir jinsli bo‘lmagan suyuqliklarni aralashtirishda ham yuz berishi mumkin va hokazo. Bunday jarayonlar juda keng tarqalgan, har xil hodisalarda muhim rol o‘ynaydi va shuning uchun miqdoriy ko‘rib chiqishni talab qiladi.

Tahlilni soddalashtirish uchun molekularning konsentratsiyasi n ning bitta x koordinata bo‘ylab, $T = \text{const}$ da o‘zgarishini ko‘rib chiqamiz (5.5-rasm).



5.5 - rasm

5.2-rasmda qanday bajarilgan bo'lsa shunga o'xshash, parallelepipedni tasavvur qiling x o'qiga perpendikulyar bo'lgan birlik yuzi, va uning x o'qiga parallel qirralari $\vartheta_{o'}\Delta t$ uzunlikka ega, bu erda $\vartheta_{o'}$ - molekulaning o'rtacha tezligi. Agar $\vartheta_{o'}\Delta t < \lambda_{o'}$ bo'lsa, parallelepiped hajmidagi molekular orasida amalda to'qnashuvlar yo'q. U holda Δt vaqtdan keyin molekularning $1/6$ qismi qirra yuzidan, uning hajmida joylashgan: $N = \frac{n\vartheta_{o'}\Delta t}{6}$ tasi o'tadi. Qolganlari beshta qirralar yuzi tomonga qarab harakat qilishadi. Shuning uchun har qanday yo'nalishda molekularning oqim zichligi:

$$j = \frac{N}{\Delta t} = \frac{1}{6}n\vartheta_{o'}. \quad (5.23)$$

Endi molekularining j_1 va j_2 oqimlarini x_0 kesim orqali o'tishini taqqoslaylik (5.5-rasmga qarang). x_0 ning turli tomonlarida n_1 va n_2 kontsentratsiyalar har xil va shuning uchun hosil bo'lgan oqim zichligi quyidagigaa teng

$$j = j_1 - j_2 = \frac{1}{6}(n_1 - n_2)\vartheta_{o'} = -\frac{1}{6}\Delta n\vartheta_{o'},$$

bu erda $\Delta n = n_2 - n_1$. $\lambda_{o'}$ juda kichik bo'lgani uchun Δn ni quyidagii shaklda ifodalash mumkin

$$\Delta n = \frac{dn}{dx}\Delta x = \frac{dn}{dx}[x_0 + \lambda_{o'} - (x_0 - \lambda_{o'})] = \frac{dn}{dx}2\lambda_{o'}, \quad (5.24)$$

bu erda dn/dx — x_0 nuqtada $n(x)$ funktsiyaning hosilasi. Bundan

$$j = \frac{\Delta n}{\Delta t} = -D\frac{dn}{dx}, \quad (5.25)$$

bu erda $D = \frac{\lambda_{o'}\vartheta_{o'}}{3}$, va minus belgisi $dn/dx < 0$ uchun $j > 0$ ekanligini aks ettiradi.

(5.25) tenglikning ikkala tomonini bitta molekulaning m massasiga ko'paytirsak, quyidagini olamiz

$$j_m = -D\frac{d\rho}{dx}, \quad (5.26)$$

bu yerda j_m — massaning oqim zichligi; ρ — gaz zichligi.

Molekulalarning konsentratsiyasining pasayishi yoʻnalishi boʻyicha oqimi diffuziya deb ataladi. (5.26) formula Fik qonuni deyiladi, (5.25) dagi D koeffitsienti esa, (5.26) da *diffuziya koeffitsienti* deyiladi. Agar biz molekulalarning tezlik va oʻrtacha erkin yugurish yoʻllari boʻyicha taqsimlanishini hisobga olsak, uni ancha aniq hisoblash mumkin.

(5.25) munosabat faqat kichik $\frac{\Delta n}{\Delta x}$ uchun amal qiladi. Aks holda, (5.24) formuladan faqatgina birinchi hosilada foydalanish mumkin emas. Ushbu eslatma koʻplab jarayonlar uchun juda muhimdir (keyingi paragrafqa qarang).

$$\lambda_{o'} \sim \frac{1}{n} \text{ va } \vartheta_{o'} \sim \sqrt{\frac{T}{m}} \text{ boʻlgani uchun keyin } D \sim \frac{\sqrt{T}}{n}. \text{ Bu shuni anglatadiki, issiq,}$$

siyrak va engil gazlarda diffuziya tezroq yuz beradi. Normal sharoitlarda, masalan, suv bugʻining havoda diffuziyalanish koeffitsienti $D = 0,23 \cdot 10^{-4} m^2/s$.

Diffuziya nafaqat aralashmalarda (*oʻzaro diffuziya*), balki va bir xil molekulalarning muhitida (*oʻz-oʻziga diffuziya*) ham yuzaga keladi. Diffuziya mexanizmidan tushunarliki, uning sababi — molekulalarning xaotik harakatidir.

Diffuziya butun hajmdagi molekulalarning konsentratsiyasini tenglashtirganligi sababli, u issiqlik muvozanatini oʻrnatishga hissa qoʻshadi. Molekulalar konsentratsiyasining tenglashish davri *relaksatsiya vaqti* deb ataladi. Diffuziya D koeffitsientining oshishi va bir jinsli boʻlmagan sohaning L oʻlchamining kamayishi bilan kamayadi. Bu mulohazalar va τ_d , D va L kattaliklarning oʻlchamliliklarini hisobga olgan holda quyidagi taxminiy ifodani olamiz

$$\tau_d \sim \frac{L^2}{D}. \quad (5.27)$$

(5.27) formuladan, masalan, CO₂ tarkibidagi *oʻz-oʻziga diffuziya* uchun ($D \approx 10^{-5} m^2/s$) oʻlchami $\sim 0,1$ m boʻlgan sohasida $\tau_d \sim 10^3$ s ni olamiz, yaʼni diffuziya – jarayon juda sekin. Uning tezligi $\vartheta_d = \frac{L}{\tau_d} \approx \frac{D}{L}$. Masalan, koʻrib chiqilgan holat uchun $\vartheta_d \sim 10^{-4} m/s$, bu molekulalarning issiqlik harakati tezligidan koʻp marta

kichik. Yengil shamoldagi chivinlar to‘dasining harakati singari, molekular har tomonga juda tez va xaotik tarzda harakatlanib, konsentratsiyaning kamayish yo‘nalishi b‘yicha sekin harakat qilib siljiydilar.

Suyuqliklarda diffuziya kattaligi gazlarga qaraganda bir necha daraja sekinroq, qattiq jismlarda esa suyuqliklarga qaraganda bir necha daraja sekinroq , va shunga qaramay uning namoyon bo‘lishi hamma joyda va juda muhimdir. U ichki yonish dvigatelida havo bilan yonilg‘ining, ishchi aralashmaning shakllanishiga mas‘uldir (ularning aralashishini tezlashtirish uchun kiritish kollektoridagi temperatura oshiriladi).

Zaryadlangan zarrachalarning diffuziyasi gazlarning elektr xossalari ta‘sir qiladi, elektrolitlar, yarim o‘tkazgichlar va boshqalar. Diffuziya tezligi molekularning massasiga bog‘liq bo‘lganligi sababli, undan gazlar aralashmasining tarkibiy qismlarini ajratishda foydalanish mumkin. Bundan, masalan, yadroviy bomba yaratishda, uran izotoplari ${}^{238}_{92}U$ va ${}^{235}_{92}U$ ni ajratishda amalga oshirildi va ikkinchisini yadroviy zaryad bilan boyitadi (Atom va yadro fizikasiga qarang).

Issiqlik muvozanatini temperaturalar farqlari ham buzishi mumkin.

Issiqlik uzatish jarayonida yuqori temperaturali sohadan past temperaturali sohaga issiqlikni ko‘chirish issiqlik o‘tkazuvchanligi deb ataladi.

Issiqlik oqimi zichligi uchun *Fur‘ye qonuni* (5.26)ga, ya‘ni *Fik qonuniga* juda o‘xshash shaklga ega, chunki issiqlik o‘tkazuvchanligi ham molekularning xaotik harakatiga asoslangan. Issiqlik o‘tkazuvchanligi asosan ma‘no mohiyati bilan molekularning issiqlik energiyasining diffuziyasi hisoblanadi:

$$j_Q = \frac{dQ}{dt} = \chi \frac{dT}{dx}, \quad (5.28)$$

bu erda χ *issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsienti* deb ataladi. Diffuziya singari, issiqlik o‘tkazuvchanligi ham nisbatan sekin jarayon bo‘lib, u moddaning xususiyatlariga bog‘liqdir.

Amaliyotdan misollar

Gazlar past issiqlik o'tkazuvchanligiga ega, shuning uchun u issiqlik izolyatori sifatida, ya'ni issiqlik o'tkazmovchi sifatida ishlatiladi: deraza romlari, g'ovakli materiallar, kiyim-kechak (materialda qancha ko'p havo bo'shlig'i bo'lsa, shunchalik yaxshi izolyatsiya qiladi). Zargarlar soxta olmoslarning issiqlik o'tkazuvchanligi haqiqiylikiga qaraganda ancha past ekanligini bilishadi. Metallarning issiqlik o'tkazuvchanligi gazlarga qaraganda ancha yuqori, shuning uchun samarali issiqlik uzatish moslamalari (isitish batareyalari, sovutish radiatorlari va boshqalar) hisoblanadi.

Jism odatda sirtidan isitiladi, u erdan issiqlik hajmga «oqadi».

Shu nuqtai nazardan, masalan, raketaga qarshi mudofaa tizimidagi lazer qurolining ta'siri lazer impulsining ta'sir vaqti τ va kema yoki raketa qobig'i temperaturasining relaksatsiya vaqtiga τ_T bog'liq. Agar $\tau < \tau_T$ bo'lsa, u holda τ vaqt davomida faqat sirtqi qism eriydi va bug'langan material orqaga qaytishni hosil qiladi - reaktiv zarb yuzaga keladi. Agar $\tau > \tau_T$ bo'lsa, u holda devor qismining yonishi sodir bo'ladi.

Savol. Qurol stvolida gazning temperaturasi $\sim 3000^\circ\text{C}$ bo'lib, po'latning erish temperaturasi (1400°C)dan, ancha ko'p. Nega stvol erimaydi?

Javob. Snaryad stvolni τ_T vaqtdan ancha qisqa vaqt ichida tark etadi.

Porox gazlarining bosimi atmosfera bosimiga teng bo'lgandan keyin stvol ichida uning arjimas darajadagi kichik qismi qoladi. Biroq, otishning yuqori tezligida, ayrtim issiqlik impulslari sezilarli o'rtacha komponentni hosil qiladi va bunday holda stvol kuchli qizishi mumkin. Bunday hollarda stvol sovuguncha kutish yoki maxsus sovutish tizimlaridan foydalanish kerak.

Qishda dT/dx temperatura pasayishining oshishi tufayli issiqlikni yo‘qotish darajasi yuqori. Binobarin, stvolning temperaturasi va shunga mos ravishda porox gazlarining bosimi kamayadi. Bu o‘qning boshlang‘ich tezligi va qurolning FIK ga ta’sir qiladi. Qishda ham xuddi yozdagidek uzoqqa otadigan qurollarga ega bo‘lish uchun ovchilar qish uchun mo‘ljallangan stvollardan foydalanadilar, ular yozdagidan bir necha santimetr uzunroq bo‘ladi, va snayperlar esa havo temperaturasi bo‘yicha uzoqlikka tuzatishlar kiritadilar (tegishli jadvallar bo‘yicha). Jismlarning harakati tufayli ham issiqlik muvozanati buziladi.

Savol. Nima sababdan cho‘kayotgan kema yaqinida turish xavfli?

Javob. Kema yaqinidagi suv qatlami ham, kema borti qanday tezlikda harakatlansa, xuddi shunday tezlikda harakatlanadi. Bu qatlam molekulalari qo‘shni qatlam molekulalariga yo‘nalgan harakat impulsini beradiva hakoza. Shu sababdan kema yonidan o‘tuvchi shamol seziladi.

Yo‘nalgan harakat impulsining diffuziyasiga *qayishqoqlik* deyiladi.

Impuls oqimining zichligi uchun Nyuton qonuni (5.26) formulaga o‘xshash shaklga ega:

$$j_p = \frac{\Delta p}{\Delta t} = -\eta \frac{du}{dx}, \quad (5.29)$$

bu yerda η *dinamik yopishqoqligi* deyiladi.

$\frac{\Delta p}{\Delta t}$ kuch o‘lchamiga ega bo‘lgani uchun (5.29) tenglama muhitning qarshilik kuchi F_m ni aniqlaydi. Agar jism u tezlikda, d kenglikdagi hovuzdagi suyuqlikka botirilsa, u holda suyuqlikning jismdan devorlarga yo‘nalishidagi tezligining chiziqli o‘zgarish- $\frac{du}{dx} \sim \frac{u}{d}$ bo‘ladi. U holda (5.29) formula quyidagi shaklni oladi

$$F_m = ku, \quad (5.30)$$

bu erda mutanosiblik koeffitsienti k muhit va jismning xususiyatlari bilan belgilanadi. Masalan, tushayotgan jism uchun F_m ni hisobga olgan holda harakat tenglamasi quyidagicha bo‘ladi

$$F_o + F_A + F_m = ma. \quad (5.31)$$

Bu erda $F_o = g\rho_j V$ – og‘irlik kuchi moduli (ρ_j , V - jismning zichligi va hajmi); $F_A = g\rho_m V$ – Arximed kuchining moduli (ρ_m – muhitning zichligi); F_m – muhitning qarshilik kuchlari moduli. Tushishning barqaror tezligida ($a = 0$) quyidagini olamiz

$$g(\rho_j - \rho_m)V = ku. \quad (5.32)$$

Masalan, sharcha uchun (Stoks formulasi): $k = 6\pi\eta r$, bu erda r - sharchaning radiusi; η - muhitning dinamik yopishqoqligi. Shunday qilib, ma’lum bo‘lgan ρ_j, ρ_m, V ga binoan va u tezlikni o‘lchab η ni aniqlash mumkin. Masalan, yog‘larning dinamik yopishqoqligini aniqlashda shunday qilinadi (bunday ish laboratoriya mashg‘ulotida amalga oshiriladi). Gazlar uchun yopishqoqlik temperatura oshishi bilan ortadi, suyuqliklar uchun temperaturaga bog‘liqlik teskari bo‘ladi, masalan, avtomobil moylari uchun temperaturani 120°C dan 20°C gacha tushirsak, yopishqoqlik $\sim 10^4$ barobar ko‘payadi. Ba’zi moddalar uchun yopishqoqlik shu darajada ko‘payadiki, suyuqlik qattiq jismga o‘xshaydi (smola, kanifol’, shisha va boshqalar). Moddaning bu holatiga *amorf* deyiladi.

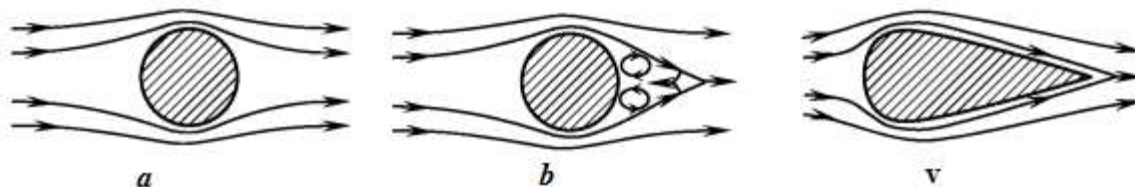
Demak, diffuziya - bu molekulalarning ko‘chishi, issiqlik o‘tkazuvchanligi - ularning energiyasining ko‘chishi, va yopishqoqlik – yo‘naltirilgan impulsning ko‘chishi jarayonlaridir. Ko‘chish jarayonlari holat parametrlarining o‘rtacha qiymatlaridan har qanday og‘ishlarini tarqatadi(sochadi) va shuning uchun *dissipativ* (lotincha *dissipatio* - sochilish) deb nomlanadi. Ular nafaqat tabiat va texnologiyada, balki materiyaning o‘z-o‘zini tashkil qilish hodisalarida ham katta rol o‘ynaydi.

5.5. Girdobli harakat

Fik qonuniga nisbatan qilingan fikr, boshqa ko‘chish qonunlariga nisbatan ham qo‘llaniladi: ularning tenglamalari faqat ko‘chirilgan kattalikdagi kichik farqlar uchun amal qiladi, ammo, bu har doim ham haqiqatga to‘g‘ri kelmaydi. Agar farqlar katta bo‘lsa, unda molekulalarning xaotik to‘qnashuvi endi ularni tenglashtirish uchun zarur bo‘lgan massa, issiqlik yoki yo‘naltirilgan tezlik oqimlarini ta’minlay olmaydi. Bunday hollarda «silliq» molekulyar darajada sodir bo‘ladigan jarayonlar «shiddatli» jarayonlarga makroskopik *girdobli harakatga (turbulentlikka)* aylanadi. Ular tizim holati parametrlarini ancha tezroq tenglashtiradi va juda noodatiy hodisalarga olib kelishi mumkin.

Kichik u tezliklarda va (5.29), (5.30) formulalar amal qilganda suyuqlik yoki havo oqimi *laminar (qatlamli)* bo‘ladi - oqim yo‘nalishlari silliq jismining sirtini aylanib chiqib, uning konturlarini takrorlaydi (5.6-rasm, a). Tezlik oshgani sayin, molekulalarning qatlamdan qatlamga xaotik harakati endi oqim chiziqlari konfiguratsiyasini saqlab tura olmaydi va *girdoblar*, teskari oqimlar va boshqalar paydo bo‘ladi. (5.6-rasm, b).

Bunday «oqim uzilishi» quruq barglarning avtomobil atrofini o‘rab, orqasida qoldiradigan girdoblar ketma-ketligini kuzatish bilan aniq tasvirlanadi. Bunga o‘xshash oqim *turbulent oqim* deb nomlanadi. Oqimning bir turidan boshqasiga o‘tish o‘lchamsiz *Reynolds sonining* kritik qiymati bilan belgilanadi $Re = \rho Lu / \eta$, bu yerda ρ, η — muhitning zichligi va dinamik yopishqoqligi; L – muhitga nisbatan harakatlanadigan jismining xarakterli chiziqli kattaligi. $Re < Re_{kr}$ da oqim *laminar*, $Re > Re_{kr}$ da oqim *turbulent* va kattalikning miqdori $Re_{kr} \sim 10^3$ tartibida.



5.6-rasm

Jismning orqasida paydo bo‘lgan *turbulent* girdoblarda (5.6-rasm, b-rasmga qarang), gaz (suyuqlik) molekullari bir vaqtning o‘zida jismning «tumshuq» qismidagi laminar oqimga qaraganda kattaroq yo‘lni bosib o‘tadi, Bernulli tenglamasi(3.25) ga binoan tezlik ortishi bilan, bosim pasayadi. Binobarin, bosimning pasayishi, ya’ni. harakatga qarshilik kuchining ortishidir. Re_{kr} kiritik kattalikning miqdorini oshirish bilan girdoblar boshlanadigan tezlik qiymatini oshirish mumkin. Buning uchun jismga suyri shakli beriladi: orqadan g‘oyib bo‘ladigan yumaloq yuzalar (4.6-rasm, v). Bunday shakl(delfin, avtomobil, raketa, suv osti kemasi)larda girdoblar yuqori tezlikda hosil bo‘ladi. Shakldan tashqari, sirtning silliqligi muhim ahamiyatga ega, chunki g‘ovaklar va g‘adir - budurliklar girdoblar shakllanish markazlari bo‘lib xizmat qiladi.

Turbulent oqimda qarshilik kuchining tezlikka bog‘liqligi laminarga qaraganda keskinroq - chiziqli emas, balki kvadratik ko‘rinishda:

$$F_m = k_1 u^2, k_1 = 0,5cS\rho_m, \quad (5.33)$$

bu erda S - Midelev kesimi deb ataladigan - oqimga perpendikulyar yo‘nalishda jismning eng katta ko‘ndalang kesimi maydoni; c – *peshona* qarshilikning o‘lchamsiz koeffitsenti, jismning shakliga bog‘liq(5.1-jadval).

Havoda harakat qilayotgan ko‘pgina jismlar uchun Arximed kuchini e’tiborsiz qoldirish mumkin. U holda (5.33) formuladan F_m muhitning qarshilik kuchini og‘irlik kuchiga tenglashtirsak, barqaror tezlikning quyidagi ifodasini olamiz

$$u = \sqrt{\frac{2mg}{cS\rho_m}}. \quad (5.34)$$

Jismning shakli	c koeffitsenti
Tomchisimon jism	0,01
Qo'llari va oyoqlarini tanasiga jipslashtirgan va boshini pastga qaratgan holda	0,15
Parashyutchi yuzini pastga qaratib, qo'llarini cho'zgan holda	0,3
Dumaloq parashyut soyaboni	0,9

Amaliyotdan misollar

1. Kuchning gorizontal komponenti (5.33), snaryadning yon sirtiga ta'sir qilib, uning tekis harakatini shu yo'nalishda sekinlanuvchan harakatga o'zgartiradi. Kuch tezlikka bog'liq bo'lgani uchun tormozlanish tezlanishi doimiy ravishda kamayib boradi. Traektoriyaning yuqoriga ko'tarilgan qismidagi F_m kuchining vertikal komponenti tortishish kuchi bilan bir xil yo'nalishda. Ko'tarilish paytida u kamayadi, lekin tushish paytida ko'payadi. Bu ballistika uchun bir qator oqibatlarga olib keladi: traektoriyaning eng yuqori nuqtasidan snaryadning tushishi vaqti unga ko'tarilish vaqtidan ko'p; snaryadning uchish uzoqligi qisqaradi; traektoriyaning tushayotgan shoxi ko'tarilgandan qisqaroq va tik, eng uzoqqa uchish uchun haqiqiy balandlik burchagi 45° nazariy burchakdan kam va $\sim 35^\circ$; tushish burchagi balandlik burchagidan kattaroq; snaryadning oxirgi tezligi boshlang'ich tezligidan kichik.

Masalan, zirxli transport vositasi Kalashnikov pulemyotidan 30° balandlikda otilgan 7,62 mm kalibrli o'q uchun, yopishqoq ishqalanishsiz nazariy jihatdan hisoblangan uchish masofasi va traektoriya balandligi mos ravishda 59 va 9 km ga teng. Shu bilan birga, ushbu qiymatlarning haqiqiy qiymatlari mos ravishda 3,8 va 0,9 km ni tashkil qiladi.

Girdobli harakatlar nafaqat yopishqoq ishqalanish, balki boshqa ko'chish hodisalari bilan ham bog'liq.

2.Suv ustiga sulfat kislota qatlami solingan bo'lsin. Bir xil aralashma hosil bo'lguncha u suvga tarqalishi kerak edi. Biroq, sulfat kislota ning zichligi suvning zichligidan katta bo'lgani uchun, tizimning massa markazi mumkin bo'lganidan yuqori, va minimal energiya printsipiga ko'ra har qanday tizim minimal energiyali holatga intiladi. Shuning uchun yuqori qatlamning pastki qatlamga eng kichik fluktuatsion o'pirilishi sulfat kislota ning boshqa hajmlarining ham shu tomonga intilishiga olib keladi. Natijada, turli joylardagi chegara qatlamlari aylanadi, aralashadi va reaksiya ekzotermik bo'lgani uchun mahalliy qizish, qaynash va xavfli chiqindilar paydo bo'lishi mumkin. Shuning uchun akkumulyator elektrolitini tayyorlash suvga oltingugurt kislotasini kam, kamdan qo'shish orqali amalga oshiriladi. kislota va hosil bo'lgan aralashmani bir tekis isitish uchun aralashtirish (oltingugurt kislotasiga suv qo'shish xavfli, chunki uning kichik hajmi issiqlik sig'imi kamligi tufayli darhol qaynab ketadi va xavfli chiqindilarni keltirib chiqaradi).

Barqaror bo'lmagan issiqlik effektlari bir jinsli tizimlarda ham paydo bo'ladi. Suyuqlikni yoki gazni qizdirganda issiq va sovuq qatlamlarning mexanik aralashuvi natijasida paydo bo'ladigan issiqlik almashinuvi *konveksiya* deb ataladi.

XULOSA

Moddaning holatini tahlil qilish uchun mexanikaning dinamik qonuniyatlari yaroqsizdir. Moddaning holatini tahlil qilish uchun, MKNga asoslangan statistik usullar kerak. Uning natijalari yetarli darajada tizimlarning haqiqiy holatlari, shu jumladan ko'chish hodisalari, va moddaning issiqlik energiyasini aniqlaydigan, molekulalarning tartibsiz harakatining o'rtacha energiyasi o'lchovi sifatida temperaturaning ma'nosini tushuntiradi.

Nazorat uchun savollar

1 kg suvda qancha miqdorda modda bor? Uglerodning 12 m.a.b.da? 2 mol azotda? 10^{20} ta kislorod va azot molekularida modda miqdori bir xilmi?

2. Nima uchun qishda avtomobil g'ildiragi shinasiga yozdagiga qaraganda ko'p havo damlanadi?

3. Nima sababdan tibbiyot bankalari terini banka ichiga tortadi?

4. Nima uchun pech trubalarining tortishi qishda, yozdagiga qaraganda katta?

5. 10^3 km balandlikda atmosfera temperaturasi bir necha ming kel'vin. Nima uchun sun'iy yo'ldoshlar erib ketmaydi?

6. Nega metall yog'ochdan sovuq tuyuladi? Havo bilan issiqlik muvozanatida bo'lgan barcha jismlarning temperaturasi bir xilku.

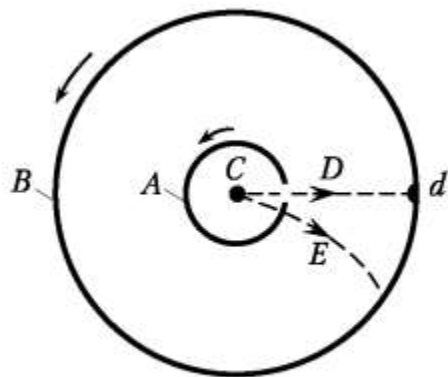
7. Normal sharoitda, ichi bo'sh shisha idishda nechta havo molekulasini bor? Ulardan nechtasi, 20 m/s dan 100 m/s gacha tezlikka ega bo'lishini qanday topamiz?

8. (5.20) formulaga asoslanib, javob bering: atmosferaning mavjudligi sayyoraning kattaligiga bog'liqmi, uning balandligi oshishi bilan tarkibi o'zgaradimi?

9. Avtomobil harakatlanayotganda qayerda yopishqoq ishqalanish ko'proq, dvigatelning ishlashi natijasida ajralib chiqqan gazlar tezroq tarqaladi va dvigatell tezroq soviydi, past tekislikdami yoki tog'da?

Masala yechish namunalari

5.1. Nemis fizigi O. Shtern gaz molekularining tezliklar bo'yicha Maksvell taqsimlanishini tekshirib ko'rish uchun tajriba o'tkazdi (5.7-rasm). Koaksiial tsilindrning o'qi bo'ylab joylashgan va kumush bilan qoplangan **C** metal ip qizdirilganda, bug'langan kumush atomlari gaz hosil qiladi va vakuumda erkin harakatlanadi. Ulardan ba'zilar **A** tsilindrning tirqishidan **D** traektoriya bo'ylab uchib, **B** tashqi tsilindrga yetib boradilar va tsilindr devorida **d** qatlam hosil qilib joylashadilar. Tsilindrlarni bir xil ω burchak tezligi bilan aylantirilsa, **B** silindrdagi atomlarning izidan ularning radial yonalishdagi θ tezligini qanday aniqlash mumkin?



5.7-rasm

Yechish. Kumush atomlarining **A** tsilindrning tirqishidan **B** tashqi tsilindrga yetib kelgunicha o'tgan vaqt davomida tashqi tsilindr biror burchakka burilishga ulguradi. Kumush qatlamining l siljishi kumush atomlarining tashqi va ichki tsilindr oraligidagi harakatlanish vaqti t hamda tashqi tsilindar sirtining chiziqli

tezligi bilan aniqlanadi:

$$l = ut = \omega R_2 t, t = \frac{R_2 - R_1}{v},$$

bu yerda v kumush atomlari tezligi. Bu tenglikdan quyidagini olamiz

$$v = \frac{\omega R_2 (R_2 - R_1)}{l}.$$

Izoh. Aylanayotgan tashqi tsilindrdagi kumush tasmasi, tinch turgan tsilindrdagiga qaraganda ancha sochilgan. Maksvell bashorat qilganidek, kumush atomlari har xil tezlikka ega. Molekulalarda tezlik qancha katta bo'lsa, shu joyda kumush kumush qatlami zichroq. Kumush qatlami zichligini optik tadqiq etishning ko'rsatishicha, kumush tasmasi kengligi bo'yicha u Maksvell taqsimotiga mos ravishda o'zgaradi.

5.2. Qiruvchi samolyotning ko'tarilish paytida bortdagi barometrda $1,1 \cdot 10^5$ Pa bosimni ko'rsatdi, parvoz paytida esa $0,8 \cdot 10^5$ Pa. Har ikki holatda ham havo temperaturai 7°C ga teng. Parvoz balandligi qanday? Havoning molyar massasi 29 g/mol.

Berilgan: $p_0 = 1,1 \cdot 10^5$ Pa; $p = 0,8 \cdot 10^5$ Pa; $t = 7^\circ\text{C} = 280$ K; $M = 29$ g/mol
 $= 29 \cdot 10^{-3}$ kg/mol.

h—?

Yechish. Barometrik formulaga asosan

$$p = p_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}.$$

Bundan

$$\ln\left(\frac{p_0}{p}\right) = \frac{mgh}{kT}, \quad h = \frac{kT}{mg} \ln\left(\frac{p_0}{p}\right).$$

Son qiymatlarini qo'yib hisoblasak, $h \approx 1900 \text{ m}$ ni olamiz.

5.3. Bo'yi 1,7 m , ko'kraginging kengligi 0,4 m va massasi 80 kg bo'lgan parashyutchining belgilangan tushish tezligi qanday? Agar parashyutni ancha vaqt ochmasdan tushayotganda tanasi gorizonta, qo'llari esa ikki tomonga yoyilgan.

Berilgan: $l = 1,7 \text{ m}; b = 0,4 \text{ m}; m = 80 \text{ kg}$.

$u - ?$

Yechish. Parashyutchining belgilangan tushish tezligini (5.33) va (5.34) formulalar hamda 5.1 jadval yordamida aniqlash mumkin. Jadvaldan $c = 0,3$. Faraz qilaylik o'rtacha kesim $S = lb = 0,7 \text{ m}^2$. Qo'llar ikki tomonga yoyilganligini hisobga olsak, yuzani kvadrat deb olish mumkin: $S = l^2 \approx 2,9 \text{ m}^2$. Bu qiymatlarning o'rtachasini olsak, $S = 1,8 \text{ m}^2$ bo'ladi. Berilgan va topilgan kattaliklarni (5.34) formulaga qo'yib hisoblasak quyidagini olamiz $u \approx 49 \text{ m/s} (\approx 180 \text{ km/soat})$.

Izoh. Atmosferaning balandligi va holatiga bog'liq holda parashyutchining tushish tezligi 50 — 150 m/s ni , balkim undan ham ko'pni tashkil etishi mumkin. Misol uchun, avstriyalik parashyutchi F. Baumgartner maxsus skafandrda 39 km dan boshini pastga qilib sakraganda 1343 km/soat tezlikka erishgan, bunday paytda 0°C temperaturali havoda tovushning tarqalish tezligi 1193 km/soat ni tashkil etadi.

Mustaqil yechish uchun masalalar

5.4. Chiqarish taktida dvigatel tsilindridan atmosferaga tarkibida massasining 1,8% ga teng miqdorda uglerod oksidi bo'lgan, 0,6 g chiqindi gazlar chiqariladi. Tirsakli valining aylanish chastotasi 1800 min^{-1} bo'lgan to'rt taktli sakkiz silindrli

dvigateldan 1 s ishida atmosferaga qancha CO molekulalari chiqadi? (Eslatma: Dvigatelning ish tsikli chastotasi tirsakli vali aylanish chastotasining yarmiga teng.)

5.5. Avtomobilning pnevmatik tormoz tizimining 20 litrli tsilindrda 20 °C temperaturada havo bosimi $8 \cdot 10^5 \text{Pa}$. Xavfsizlik qopqog'i ishga tushirilganda, bosim tezda $7,5 \cdot 10^5 \text{Pa}$ gacha kamayadi. Tsilindrda undan chiqarilgan havo qancha hajmni egallagan? Tsilindrda qolgan gazning temperaturai qanday? (Eslatma: Havo molekulasini ikki atomli va o'zaro qattiq bog'langan deb hisoblansin.)

5.6. Suv osti sho'ng'uvchisi nafas olishi natijasida hosil bo'lgan havo pufakchasining hajmi suv havzasi yuzasida bir yarim barobar oshdi. Atmosfera bosimi $1,01 \cdot 10^5 \text{Pa}$. Suv osti sho'ng'uvchisi qanchalik chuqurlikda joylashgan? Temperatura doimiy deb hisoblansin.

5.7. Bir xil parashyutlarda og'irligi 100 kg va 50 kg bo'lgan bir xil shakl va o'lchamdagi yuklarni tashladilar. Birinchisi 6 m/s barqaror tezlikda tushadi. Agar havoning qarshilik kuchi tezlik kvadratiga mutanosib bo'lsa, ikkinchi yuk qanday tezlikda tushadi?

5.8. Domkrat ishlatilganda 20 litr hajmli avtomobil shinalari kameramidagi havo bosimi $2 \cdot 10^5 \text{Pa}$. Mashinani domkratdan tushirilgandan so'ng, kameraning deformatsiyasi natijasida uning hajmi 0,5 litrga kamaydi. Havoni siqish uchun qanday ish bajarilgan?

6 - BOB. TEMODINAMIKA

6.1. Termodinamikaning birinchi qonuni

MKN ko'pkomponentli tizimlarni (moddalarni) ko'rib chiqish (o'rganish)ning yagona usuli emas. Moddalarni o'rganishning yana bir usuli mavjud bo'lib, unga *termodinamik* usul deyiladi. Termodinamik usul, bu insonning ish bajarish uchun issiqlikdan foydalanish istagiga mos keladi.

Tarixga nazar. Issiqlikning birinchi mazmunli qo‘llanilishiga ajdodlarimiz gulxanlarini kiritish mumkin, u isituvchi konveksion havo oqimini hosil qilish bo‘yicha ish bajargan. Qadimgi Misr mis metallurgiyasini ham eslashingiz mumkin, miloddan avvalgi 4 ming yillarga oid eng qadimiy bronza qilich va antiqa o‘rta asrlar alkimyosi va aeronavtika davrini ochgan, XVIII asrning havo sharlari issiq havosi va eng muhimi - issiqlik dvigatellarini yaratish bosqichlari.

Termodinamik usul energiyaning saqlanish qonuniga asoslanadi. Tizimning ichki energiyasi uning barcha N molekulalarining energiyalari yig‘indisiga (5.8) teng:

$$U = N \frac{i}{2} kT = \frac{i}{2} \frac{N}{N_A} N_A kT = \nu \frac{i}{2} RT. \quad (6.1)$$

Energiya U ish bajarilishi natijasida o‘zgarishi mumkin. XVIII asrda lord Rumford artilleriya quroli stvolini parmalash ‘aytida ular qizib ketganiga e’tibor qaratdi. Bu, issiqlik — alohida harakat turi ekanligini anglatardi.

Miqdoriy baholash uchun porshening S yuzali asosiga ta’sir qiluvchi $F = pS$ kuchni ko‘rib chiqamiz. Agar u porshen silindrda dx ga siljitsa, u holda quyidagi ish bajariladi

$$\delta A = pSdx = pdV \quad (6.2)$$

bu erda $dV = Sdx$ - gaz hajmining o‘zgarishi. Gazni siqishda $dV < 0$, $\delta A < 0$ porshen unga eng yaqin molekulalarga energiya beradi. Ular gazning ichki energiyasini oshirib, bu molekulalarni boshqalar orasiga tarqatadilar. Aksincha jarayonda $dV > 0$ — gaz kengayib, ichki energiyasi hisobiga $\delta A > 0$ ishini bajaradi, natijada gazning ichki energiyasi kamayadi.

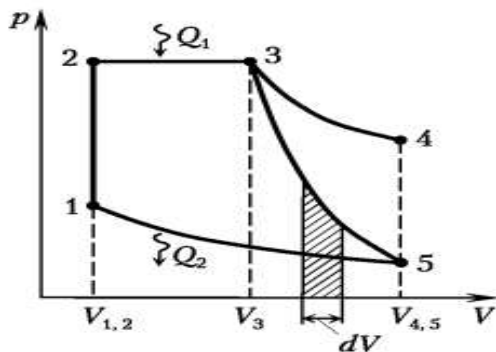
(6.2) formula va 6.1-rasmdan, boshlang‘ich ish shtrixlangan to‘rtburchakning yuziga teng. Hajmning yakuniy o‘zgarishi bilan, masalan, $V_2 — V_3 — V_5$ sxemasiga binoan, ish 235 egri chiziq va V o‘qi bilan chegaralangan shakl yuzasiga teng bo‘lgan integralga teng ravishda aniqlanadi:

$$A = \int_{(235)} p dV \quad (6.3)$$

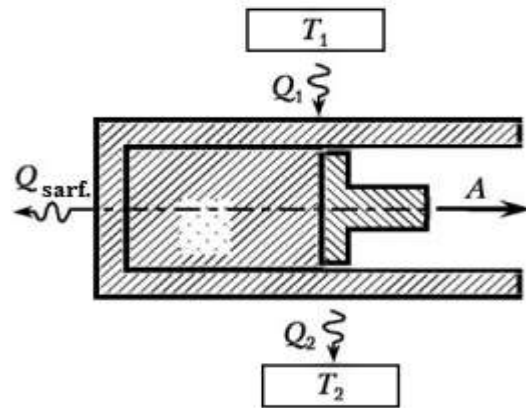
Gazning ichki energiyasi U isitish-sovutish natijasida, shu jumladan elektromagnit to‘lqinlarning yutilish-nurlanishi bilan ham o‘zgarishi mumkin. Energiyani ish bajarmasdan o‘tkazish *issiqlik uzatish* deb ataladi va issiqlik uzatish bilan uzatiladigan gazning ichki energiyasi U isitish-sovutish natijasida, shu jumladan elektromagnit to‘lqinlarning yutilish-nurlanishi bilan ham o‘zgarishi mumkin.

Energiyani ish bajarmasdan o‘tkazish *issiqlik uzatish* deb ataladi va issiqlik uzatish bilan uzatiladigan molekulalar xaotik harakatining energiyasi *issiqlik* deyiladi. Energiyaning saqlanish qonunidan quyidagilar kelib chiqadi: *tizim tomonidan olinadigan issiqlik uning ish bajarilishiga va ichki energiyasini oshirishga sarflanadi:*

$$\delta Q = \delta A + dU \quad (6.4)$$



6.1-rasm



6.2-rasm

Bu tenglama *termodinamikaning birinchi qonunini* ifodalaydi, bu tarixiy sabablarga ko‘ra termodinamikaning birinchi bosh qonuni deb ham ataladi. Uning R. Klauzius tomonidan ishlab chiqilgan, ammo aslida bu energiyaning saqlanish va aylanishi qonunidir va undan oldin L.F. Helmgolts tomonidan ta’riflangan. (6.4) tenglamaning tarkibiy qismlari algebraik kattaliklardir: agar tizimga issiqlik kirsam, $\delta Q > 0$ bo‘ladi; agar tizim tashqi kuchlarga qarshi ish bajarsa, $\delta A > 0$. Teskari jarayonlarda ishora(belgi) o‘zgaradi.

(6.4) formuladagi d va δ belgilar orasidagi farq quyidagicha izohlanadi. pV -diagrammasidagi har qanday nuqta, masalan, 2-nuqta (p_2, V_2) (6.1-rasmga qarang), T_2 ning to‘liq aniqlangan qiymatiga va shu sababli U_2 ga to‘g‘ri keladi. Binobarin, *ichki energiya U tizim holatining bir qiymatli termodinamik funktsiyasi bo‘lib, u ushbu holatga o‘tish yo‘liga bog‘liq emas: $\Delta U_{235} = \Delta U_{215}$. Xuddi shunday $\Delta U_{512} = -\Delta U_{215} = -\Delta U_{235}$, u holda $\Delta U_{235} + \Delta U_{512} = 0$, ya‘ni termodinamik jarayonda yopiq traektoriyasi bo‘ylab o‘tishda, tizimning ichki energiyasining o‘zgarishi nolga teng.*

Xuddi shunday natija tortishish maydonidagi potentsial energiya (va ish) uchun ham olingan (3.11 formula). Shunday qilib,

$$\oint dU = 0.$$

Matematik nuqtai nazardan, bu formulada dU , U funktsiyasining to‘liq differentsialini anglatadi va u d belgisi bilan belgilanadi. Bundan farqli ravishda ish nafaqat tizimning dastlabki va yakuniy holatlariga, balki ular orasidagi o‘tish traektoriyasiga va shuning uchun jarayonning turiga ham bog‘liq. Shunday qilib, 215 yo‘lda ish 235 trekka qaraganda kamroq (egri chiziqlar ostidagi yuzalar har xil). Shuning uchun, δA to‘liq differentsial emas, faqat elementar orttirma, bu δ belgi bilan ko‘rsatiladi. Chunki (6.4) formulaning o‘ng tomoni δA ni o‘z ichiga oladi, demak δQ ham to‘liq differentsial bo‘lishi mumkin emas. Haqiqatdan ham, qaysi jarayon bo‘layotganiga qarab, tizimga bir temperaturadan boshqasiga o‘tish uchun har xil miqdorda issiqlik kerak. Bu shuni anglatadiki, tizimning *issiqlik sig‘imi* turli jarayonlar uchun har xil.

Issiqlik sig‘imi moddaning miqdoriga(moliga) bog‘liq. Agar C ixtiyoriy jisning issiqlik sig‘imi bo‘lsa, u holda uning moddasining molyar issiqlik sig‘imi

$$c = \frac{C}{\nu} = \frac{1}{\nu} \frac{\delta Q}{dT}. \quad (6.5)$$

(6.4) tenglama har qanday jarayonlar uchun amal qiladi va tarixi asrlarga borib taqaladigan issiqlik dvigatellarini loyihalash uchun nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Tarixga nazar. I asrda Iskandariya qahramonlari shar shaklidagi bug‘ turbinasini loyihalashtirdilar, u suv bug‘lari oqimi tufayli aylanadi, Leonardo da Vinchi esa, (XV-XVI asrlar) suv va porshenli silindrni loyihalashtirdi, u suvni isitish natijasida hosil bo‘lgan bug‘ bilan harakatlanishi va foydali ishni bajarishi kerak.

XVII-XIX asrlar davrida shaxtalardan suvni tortish uchun bitta silindrli bug‘dvigateli paydo bo‘ldi (T. Severi); I.I.Polzunov va J. Uattning ikki silindrli bug‘dvigatellari yaratildi, va nihoyat, N. Otto va P.-A. Dizel tomonidan ichki yonish dvigatellari kashf qilindi. Ilmiy -texnik tafakkurning bu yutuqlari bilan bir qatorda, harbiy qurilmalar ham rivojlandi. Miloddan avvalgi V-IV asrlarda ham greklar quvurlar orasidan otilgan olovni dushman mudofaasi tomon yo‘naltirishgan. Ko‘p asrlardan keyin paydo bo‘lgan yunon olovi (VII asr), bunday qurolning ishlash mexanizmi bilangina emas, balki uni o‘chirish qiyin bo‘lgan yonuvchan aralashmaning tarkibi bilan ham mashhurdir. Miloddan avvalgi III asrda Arximed bug‘ bilan o‘q otadigan to‘p yasadi. U keyinchalik kashf etilgan Paskal qonunini intuitiv ravishda qo‘llagan: harakatlanuvchi qismida idishning devorlari boshqalar kabi bug‘ bosimidan ta’sirlanadi, lekin harakatlanayotganda u ish bajaradi. Xitoyda poroxning ixtiro etilishi (IX asr atrofida), qurol termodinamikasini rivojlantirishga tarixiy jihatdan muhim turtki bo‘ldi. X asrda o‘qotar qurollarning prototipi paydo bo‘lgan, u bambukdan yasalgan olovli nayza, keyinchalik evropalik qurolsozlar tomonidan meros qilib olingan. Evropadagi qurollar tinch maqsadlarda foydalaniladigan issiqlik dvigatellaridan ancha eski. Agar birinchi ichki yonish dvigatellari (IYD) XIX asrda ishlab chiqilgan bo‘lsa, birinchi to‘plar XII asrda Xitoyda ishlatilgan va o‘rta asrlardan boshlab ular harbiy janglar yo‘nalishini sezilarli darajada o‘zgartirib yuborgan. X asrda o‘qotar qurollarning prototipi paydo bo‘lgan, u

bambukdan yasalgan olovli nayza, keyinchalik evropalik qurolsozlar tomonidan meros qilib olingan. Evropadagi qurollar tinch maqsadlarda foydalaniladigan issiqlik dvigatellaridan ancha eski. Agar birinchi ichki yonish dvigatellari (IYD) XIX asrda ishlab chiqilgan bo'lsa, birinchi to'plar XII asrda Xitoyda ishlatilgan va o'rta asrlardan boshlab ular harbiy janglar yo'nalishini sezilarli darajada o'zgartirib yuborgan.

Ularning qo'llanilishi porox gazlarining ishini o'rganishga, zaryad va snaryad massalarining nisbatini, snaryad traektoriyasini, materiallar, tuzilmalar, o'q otish va boshqalar bilan shug'ullanishga undadi. Ba'zi tarixchilarning fikriga ko'ra, bu voqelikni ilmiy o'rganishga asosiy turtki bo'lib, xurofot va yolg'onchlikni siqib chiqarishga asosiy turtki berdi.

Qaysidir ma'noda o'q otish qurollari va issiqlik dvigatellari turli traektoriyalar bo'ylab rivojlangan. Agar qurol nisbatan sodda bir martalik harakatni bajarsa, issiqlik dvigateli davriy ravishda, ya'ni yopiq tsiklda ishlaydi. Bu nafaqat materiallarga va mashinalarning konstruktiv va texnologik xususiyatlariga e'tiborni, balki jarayonlarning termodinamikasini nazariy tushunishni ham talab qiladi. Xususan, (6.4) formulasi δQ issiqlikni tashqaridan qarz olmasdan ishlashi mumkin bo'lgan *birinchi turdagi abadiy dvigatelni yaratish mumkin emasligini ko'rsatadi.*

Real dvigatellarning ishchi jismining moddasi — ko'pincha gaz yoki bug', kengayish va qisqarish orqali bir holatdan ikkinchisiga osonlik bilan o'tadigan moddalar(ichki yonish dvigatellari, bug' turbinalari va boshqalar).

Agar yopiq tsikl 23532 traektoriyasi bo'ylab amalga oshirilsa (6.1 -rasmga qarang), u holda 532 jarayondagi ish 235 jarayondagi ish bilan bir xil, lekin teskari ishoralidir.

Shuning uchun, tsikl bo'yicha ish nolga teng va bunday mashina hech kimga kerak emas. $A > 0$ ish olish uchun pV diagrammadagi qaytish jarayoni to'g'ri chiziq

bilan emas, undan pastroqdan o'tishi kerak, buni $T_2 < T_1$ talab etadi. Bunga issiqlik almashinuvi orqali erishiladi: to'g'ridan - to'g'ri jarayonda, gaz (bug') temperaturasi T_1 bo'lgan isitgichdan Q_1 issiqlik oladi va kengayadi, ishni bajaradi (6.1 -rasmga qarang), keyin u siqiladi, asl holatiga qaytadi va $T_2 < T_1$ temperaturali sovutgichga Q_2 issiqligini beradi (6.2 -rasm). Madomiki tsikli uchun $\Delta U = 0$ bo'lsa, u holda (6.4) formula quyidagi shaklni oladi

$$A = \Delta Q = Q_1 - Q_2 \quad (6.6)$$

(6.6) formuladan juda muhim xulosa kelib chiqadi: *issiqlik dvigateli isitgichdan olgan barcha Q_1 issiqlikni mexanik energiyaga aylantira olmaydi u Q_2 qismini qaytarishga majburdir.* Bu termodinamikaning ikkinchi qonunini aks ettiradi, u ingliz fizigi V.Tomson (Kelvin) (1824-1907) tomonidan ishlab chiqilgan, shuningdek termodinamikaning ikkinchi qonuni R. Klauzius(1858) va M. Plank (1947) tomonidan quyidagicha ta'riflangan: *tizimga berilgan issiqlik to'liq mexanik ishga aylanadigan tsikl mavjud emas.*

Aks holda, masalan, ming yillar davomida Jahon okeanining issiqligi mexanik energiyaga aylanishi mumkin bo'lardi, va bunday mashina ikkinchi turdagi abadiy dvigatel bo'lardi. Uning mavjudligi termodinamikaning birinchi qonuni bilan to'liq tan olingan, lekin u termodinamikaning ikkinchi qonuniniga zid.

Tabiatning eng aqlli «mashinasi» - bu odamning o'zi (boshqa mashinalarni yasovchi). Masalan, uning xotirasini saqlash uchun qon ta'minoti uchun sarflanadigan energiya xarajatlari uning ishlatilishiga qarab optimallashtiriladi. Xotiraning ba'zi neyron guruhlari kamdan - kam hollarda aylanadi, va keyin tarqaladi. Va shuncha ratsionallikka qaramay bunday «mashina» qurilmalarida, u iste'mol qiladigan energiyaning bir qismi tashqariga chiqariladi.

U har qanday harbiy mashinada ham ajralib chiqadi - u tashqaridan iste'mol qilingan barcha energiyaning foydali ishga aylantira olmaydi. Shuning uchun issiqlik fonida ishlaydigan mashinalar har doim atrof - muhit bilan keskin farq hosil qiladi.

Niqoblash va niqobni ochish (maskirovka va demaskirovka) o'rtasida doimiy raqobat o'rnatilishi ham shunga asoslanadi (kvant fizikasi bo'limiga qarang). Bundan tashqari, $Q_2 \neq 0$ bo'lgan hech qanday mashinaning foydali ish koeffitsenti (FIK) 1 ga teng bo'lishi mumkin emas:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (6.6)$$

Mashinaning foydali ish koeffitsentini qanday qilib eng katta qiymatga olib chiqish imkoniyatini yaratish ham, boshqa bir muhim masala hisoblanadi. U avvalo mashina sikli qanday jarayonlardan tashkil topishini aniqlashga keltiriladi.

Avval ideallashtirilgan izojarayonlarni ko'rib chiqamiz.

6.2. Izojarayonlar va Karno tsikli

Izoxorik jarayonda 12 (6.1 - rasmga qarang) $dV = 0$ va (6.2), (6.4) formulalardan quyidagi tenglik kelib chiqadi

$$\delta Q = dU = \nu c_V dT, \quad (6.7)$$

bu erda (6.5) munosabat ishlatiladi va indeks isitish o'zgarmas hajmda amalga oshirilishini ko'rsatadi. Shuning uchun, c_V o'zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig'imi deb ataladi:

$$c_V = \frac{i}{2} R, \quad (6.8)$$

bu erda (6.1) munosabat ishlatiladi. Masalan, H_2 molekulasi uchun, $i = 5$ va, shuning uchun $c_V = \frac{5R}{2}$.

Izobarik kengayishda 23 bilan (6.1 - rasmga qarang)

$$\delta Q = \nu c_p dT, \quad (6.9)$$

bu erda c_p - o'zgarmas bosimdagi molyar issiqlik sig'imi. Bu erda, *issiqlik nafaqat gazning ichki energiyasini oshirishga, balki ishni bajarishga ham sarflanadi*. Shuning uchun, xuddi shu $\delta Q dT$ uchun kamroq, ya'ni. $c_p > c_V$. Agar (6.4) tenglamaning barcha hadlarini temperatura bilan ifodalab, (6.1), (6.9) munosabatlarni (6.2)

formulaga qo'yib, hosil bo'lgan ifodaning o'ng tomonini holat tenglamasidagi $vRdT$ shaklida ifodalaymiz, va *Mayer tenglamasini* olamiz.

$$c_p = c_v + R. \quad (6.9)$$

Izotermik jarayonda 34 (6.1 - rasimga qarang) ichki energiya ta'rifi bo'yicha o'zgarmaydi, shuning uchun, *berilgan barcha issiqlik faqat ishni bajarish uchun sarflanadi.*

$$Q = A = \int_{V_3}^{V_4} p dV = vRT \int_{V_3}^{V_4} \frac{dV}{V} = vRT \ln \frac{V_4}{V_3}. \quad (6.10)$$

(6.35) va (4.36) munosabatlarni (4.38) formulaga qo'ib, bir mol uchun quyidagi ifodani topamiz:

$$\delta Q = c_v dT + p dV. \quad (6.11)$$

Tenglikning ikkala tomonini ham T ga bo'lib, (5.1) ifodadan foydalanib, quyidagini olamiz

$$\frac{\delta Q}{T} = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{dV}{V} = d(c_v \ln T + R \ln V), \quad (6.12)$$

bu erda $\frac{dT}{T} = d \ln T$ va $\frac{dV}{V} = d \ln V$. (6.12) formulaning o'ng tomoni to'liq differentsial bo'lgani uchun, chap tomoni ham shunday. d belgisiga nisbatan berilgan izohlarga va (6.3) formulaga kora, bu (6.12) ning chap tomoniga teng bo'lgan holat funktsiyasi mavjudligini bildiradi. U S farfi bilan belgilanadi va *entropiya* deb ataladi:

$$dS = \frac{\delta Q}{T}. \quad (6.13)$$

Entropiya (yunoncha *en* — ichkariga va *trope* — o'zgartirish) tushunchasi R. Klauzius tomonidan kiritilgan.

(6.5) va (6.13) formulalarini solishtirish natijasida entropiya issiqlik sig'imi bilan bir xil J/K o'lchamdaligini ko'rish mumkin. Entropiya S holat funktsiyasi bo'lgani uchun shunday izojarayon bo'lishi mumkin, bunda u o'zgarmas bo'lib qoladi. Boshqalarga o'xshash, uni *izentropik* deb atash mumkin, lekin ko'pincha uni *adiabatik* deb atashadi.

Savol. Adibatik jarayonda termodinamikaning birinchi qonuni qanday ko‘rinishni oladi?

Javob. (6.13) formuladan ko‘rinib turibdiki, $S = \text{const}$ uchun $\delta Q = 0$, ya’ni u atrof -muhit bilan issiqlik almashinuvisiz oqadi. U holda (6.4) formuladan quyidagi kelib chiqadi

$$\delta A = -\Delta U. \quad (6.14)$$

Bunday jarayon issiqlik izolyatsiyasini yaratadigan termosda amalga oshirilishi mumkin. Biroq, uni hajmning tez o‘zgarishi bilan amalga oshiriladi, agar jarayon issiqlik almashinuvi paytida relaksatsiya vaqtidan ancha qisqa bo‘lsa - issiqlik uzatishga ulgurmaydi. Ishlayotgan nasos yoki kompressor qiziganda, dizel dvigatelining tsilindrida ishchi aralashmani siqish, ochiq ballonni siqilgan havo bilan sovutish, yadroviy portlashda hosil bo‘ladigan olov shar va boshqalar.

Adibatik jarayonda holat parametrlaridan birining boshqasiga bog‘liqligi *adiabata* deb ataladi. PV-diagrammada (6.1-rasmga qarang) adiabat 35 izotermaga qaraganda ancha keskin tushadi, chunki kengayish faqat gazning ichki energiyasi tufayli sodir bo‘ladi va shuning uchun uning temperaturasi past bo‘ladi. Adiabata uchun ifodani (6.4) formuladan olish mumkin:

$$c_V \ln T + R \ln V = \text{const}, \text{ ya'ni } \ln TV^{\chi-1} = \text{const},$$

bu yerda χ — adiabata ko‘rsatgichi (laboratoriya mashg‘ulotida tajriba yo‘li bilan aniqlanadi):

$$\chi = \frac{c_p}{c_V} = \frac{c_V + R}{c_V} = 1 + \frac{2}{i}. \quad (6.15)$$

Shunday qilib adiabata tenglamalarining quyidagi variantlarini yozish mumkin

$$TV^{\chi-1} = \text{const}, pV^{\chi} = \text{const}, pT^{\frac{\chi}{1-\chi}} = \text{const}, \quad (6.16)$$

bu yerda keyingi ikkita ifoda (5.1) formula yordamida olingan.

Shunday qilib, barcha izojarayonlarda issiqlik sigʻimi oʻzgarmas va ular 0 dan ∞ gacha boʻlgan qiymatlarni qabul qiladi. Mashinalardagi real jarayonlarda, aksariyat hollarda holat parametrlaridan birining doimiyligi talabi qondirilmaydi va shuning uchun ular izojarayonlarga tegishli emas. Lekin, agar molyar issiqlik sigʻimining doimiyligi talabi berilgan boʻlsa, demak bu talab politrop deb ataladigan jarayonlarning kengroq sinfi tomonidan qondiriladi. (6.11) va (6.5) tenglamalardan quyidagilar:

$$\frac{dT}{T} + n \frac{dV}{V} = 0, \quad (6.17)$$

bu yerda $n = \frac{C_p - C_V}{C_V - C}$ bolib, politrop koʻrsatgichi deyiladi. Bulardan izojarayonlarni ham qondiruvchi *politropalar tenglamalari* kelib chiqadi:

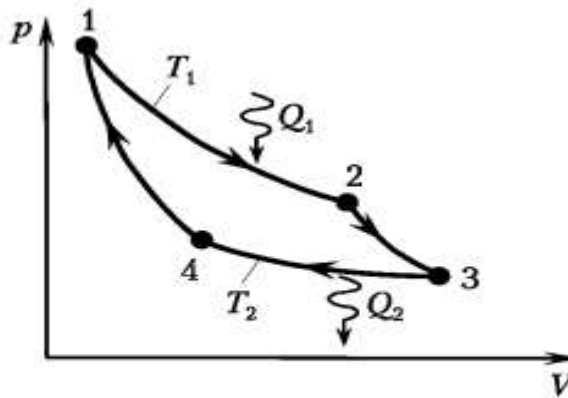
$$TV^{n-1} = \text{const}, pV^n = \text{const}, pT^{\frac{n}{1-n}} = \text{const}, \quad (6.18)$$

Koʻrib chiqiladigan jarayonlarning qaysi tsikli issiqlik dvigatelida shakllanishi kerak? Bu savolga javob topishda frantsuz muhandisi S. Karno (1796-1832) katta hissa qoʻshdi. U foydali ishni faqatgina issiqroq jismdan sovuqroq jismga issiqlik oʻtganda olish mumkinligini va aynan qanday ishchi jism issiqlik tashuvchisi boʻlib xizmat qilishi ahamiyatga ega emasligini koʻrsatdi. Ideal tsiklni ikkita termostat - isitgich va sovutgich bilan ishlaydigan mashinada shakllantish mumkin. Chunki termostatlar temperaturasi taʼrifi boʻyicha doimiydir; ular bilan issiqlik almashinuvi izotermik boʻlishi kerak. Va issiqlik yoʻqotmasdan izotermik jarayonlar oʻrtasida oʻtishni amalga oshirish uchun ular faqat adiabatik boʻlishi mumkin (6.3 -rasm). (6.6) va (6.10) formulalaridan Karno tsiklining foydali ish koeffitsentini olamiz:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}}{T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}. \quad (6.19)$$

V_2 va V_3 bitta adiabataga, V_4 va V_1 adiabataga tegishli bo'lgani uchun (6.16) formuladan foydalanamiz: $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_2}{V_3}\right)^{\chi-1} = \left(\frac{V_1}{V_4}\right)^{\chi-1}$, bundan $\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$. Ushbu ifodani (6.19) formulaga qo'yib, quyidagini olamiz

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (6.20)$$



6.3-rasm

(6.20) formuladan kelib chiqqan holda, $\eta = 1$ ga faqat $T_2 = 0$ da erishish mumkin. Mutlaq nolga nisbatan aniqlangan temperatura *shkalasi termodinamik Kelvin shkalasi* deyiladi. Bu ideal gaz shkalasiga to'g'ri keladi. $T = 0$ dan tashqari qo'shimcha ravishda, temperaturani o'lchash uchun tayanch nuqtasi sifatida $T = 273,16$ K - «suvning uchlanma nuqtasi», bunda suv, muz va suv bug'lari muvozanatda bo'ladi. Bu Selsiy shkalasini aniqlaydi.

(6.20) formula ishchi jism nafaqat ideal gaz shaklida bo'lganda, balki boshqa hollarda ham amal qiladi.

6.3. Termodinamikaning ikkinchi qonuni va real mashinalar

Real jarayonlarda, Q_2 sarflarning qo'shimcha ravishda oshishi muqarrar silindr devorlariga porshenlarning ishqalanishi, muhit bilan issiqlik almashinuvi tufayli va

hokazo. Shunday qilib, *har qanday haqiqiy mashinaning FIK* ideal qiymatdan past bo‘ladi (6.18):

$$1 - \frac{Q_2}{Q_1} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}, \quad (6.21)$$

bu yerda tenglik belgisi ideal tsikl uchun qo‘yilgan.

Savol. Real mashinalarning *FIK* ini oshirishning yo‘li (6.21) formuladan qanday kelib chiqadi?

Javob. T_1 ning ortishi va T_2 ning kamayishi. Ikkinchisi, qoida tariqasida, mashina yaqinidagi atmosfera havosining temperaturasi bilan belgilanadi, u $\sim 100^\circ\text{C}$ gacha ko‘tarilishi mumkin. T_1 ga kelsak, uni ko‘paytirish uchun, xususan, issiqlik izolyatsiyasi, masalan, keramik korpus(adiabatik motorlar deb ataladi) dan foydalaniladi. Har qanday holda, $T_1 > T_2 \sim 300\text{K}$ ga va shuning uchun issiqlik dvigatellarining *FIK* $\sim 0,4 \div 0,5$, lokomotivlar uchun esa undan ham kam ($\sim 0,1$).

(6.20) formulani (6.6) va (6.13) munosabatlar bilan solishtirib, quyidagini olamiz

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}, \text{ ya'ni}$$

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} = \Delta S = 0. \quad (6.22)$$

Karno tsiklining $1 \rightarrow 2$ yuqori izotermasida (6.3 -rasmga qarang), bu erda foydali ish amalga oshiriladi

$$\Delta S = \frac{Q_1}{T_1}, \quad (6.23)$$

bu entropiya ma’nolaridan birini aniqlash imkonini beradi. (6.19) va (6.20) formulalardan quyidagi kelib chiqadi: T_1 qancha kichik bo‘lsa, mashinaning *FIK* shuncha *past* bo‘ladi va entropiya o‘sishi shunchalik *katta* bo‘ladi, ya’ni, *entropiya - bu mexanik energiya manbai sifatida issiqlikning foydasizligi o‘lchovidir.*

Karno tsiklining $3 \rightarrow 4$ pastki izotermasi uning mikro darajadagi fizik ma'nosini ochishga imkon beradi (6.3-rasmga qarang):

$$\Delta S = \frac{Q_2}{T_2} = Nk \ln \frac{V_3}{V_4}. \quad (6.24)$$

Oxirgi ifoda (6.10) formula yordamida olinadi. Shunday qilib $Q_2 < 0$ bo'lgan holda, $\Delta S < 0$, ya'ni izotermik siqilishda entropiya kamayadi. Bu nima degani? Tizimning shu holatida aynan nima o'zgardi? Molekulalar soni va ularning o'rtacha energiyasi o'zgarishsiz qoldi ($T = \text{const}$), faqat gaz hajmi o'zgardi: $V_4 < V_3$, ya'ni molekulalarning fazoda avvalgiga nisbatan *kam sonli holatlarni egallash imkoniyati* mavjud. Holatlarning har bir majmuasi (impulslari bilan birga) *tizimning mikroholatini* tavsiflaydi va majmualar to'plami *makroholatni* yoki *statistik vazni* tavsiflaydi (5-bobning 2- bandiga qarang).

Keling, V_3 boshlang'ich hajmga qaytaylik va xayolan uning ichida V_4 hajmni ajratib olaylik. Qandaydir molekulaning V_4 hajm ichida: $\omega_1 = \frac{V_4}{V_3}$ holatni egallash ehtimoli va barcha N molekulalarning *bir vaqtning o'zida* V_4 hajm ichida paydo bo'lish ehtimoli bunday ehtimolliklar hosilasiga teng (hodisalar mustaqilligi). Bu hosila tizimning shunday holatining *statistik vazni* Ω ni aniqlaydi: $\Omega = (V_4/V_3)^N$. Ushbu ifodaning logarifmini olib va (6.24) formulaga qo'ysak, quyidagini olamiz

$$S = k \ln \Omega. \quad (6.25)$$

Bu muhim formulani 1872 yilda L. Boltsman keltirib chiqargan. Bundan kelib chiqadiki, *entropiya tizimning statistik vazniga mutanosib bo'lib, uning holati ehtimolini tavsiflaydi.*

Masalan, 5.1- rasmda barcha to'rt molekula idishning yarmida joylashgan holatning statistik vazni kichik - va entropiya ham kichik. Molekulalarning hajm bo'ylab *tekis* taqsimlanish ehtimoli eng ko'p bo'lganda, entropiya maksimal bo'ladi.

Entropiya - bu tizimning xaotikligining o'lchovi hisoblanadi. Agar issiqlik ko'proq qizigan jismdan kamroq qizigan jismga o'tkazilsa, u holda, (6.24) formulaning maxraji kamaygani uchun bunday jarayon mumkin, lekin buning aksi

bo'lmaydi: *issiqlik o'z – o'zidan kam qizigan jismdan ko'p qizigan jismga o'tishi mumkin emas.*

Bu termodinamikaning ikkinchi qonunining yana bir ta'rifidir. Bu shuningdek, vaqtning ortga qaytmasligini ko'rsatadi: *o'z – o'zidan kechuvchi jarayonlar entropiyaning o'sishi yo'nalishida o'tadi* (ammo teskari jarayonlar ham bor).

Ko'rib chiqilgan termodinamik jarayonlar xususiyatlari va (6.21) ifoda har xil turdagi mashinalarni loyihalash imkonini beradi. Ular orasida sovutuvchi, teskari tsiklda ishlaydigan mashinalar ham bor: ular past temperaturali jismdan issiqlikni olib, yuqori temperaturali jismga beradi. Biroq, bularga qaraganda avtomatik o'qotar qurollarni o'z ichiga olgan issiqlik mashinalari keng tarqalgan.

Tarixga nazar

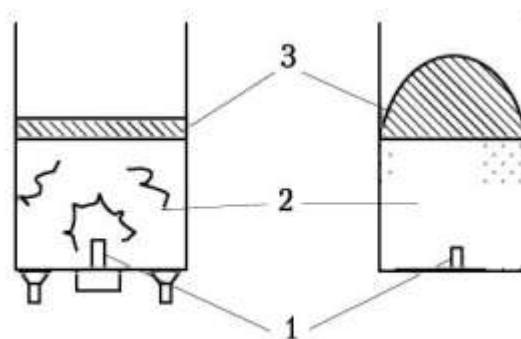
O'qotar qurolga qo'yiladigan, tobora ortib borayotgan yuqori talablar bilan o'qchining cheklangan imkoniyatlari orasida ziddiyatlar yuzaga kelmoqda: odam qisqa masofada qo'lda tor interval bilan va kerakli aniqlikda bir nechta o'qni birdaniga otishga qodir emas. Shu sababdan, XIX asr oxiri — XX asr boshlarida birinchi avtomatik miltiqlar paydo bo'ldi («Brauning» va boshqalar), lekin ular Ikkinchi Jahon urushi paytida haqiqiy rivojlanishga erishdilar.

Avtomatik o'qotar qurollarda yopiq tsikl porox gazlari energiyasining bir qismi tufayli amalga oshiriladi. U o'ziga xos tarzda prujinali mayatnikka o'xshab ishlaydi, u IYD mexanik qismiga o'xshash, silindr klapanlarini, gaz taqsimlanishini va uchqun chiqishini boshqaradi. Shunga ko'ra, bu ikkita issiqlik mashinasidagi jarayonlar o'xshash.

Amaliyotdan misollar

Keling, karbyuratorli IYD va jangovar patron tsikllarini solishtiraylik (6.4 - rasm). Ikkala mashinada ham, ishchi jism uchun boshlang'ich material yonilg'ining

kislorod bilan aralashmasidir. IYDda gazsimon yoqilg‘i aralashmasi karbyurator tomonidan hosil qilinadi va dvigatel tsilindriga klapan orqali so‘riladi va patronda esa, u tayyor holda (qattiq porox) bo‘ladi. Yoqilg‘i aralashmasining ishchi jismga aylanishi 1 elementlar IYD svechasi yoki piston yordamida amalga oshiriladi.

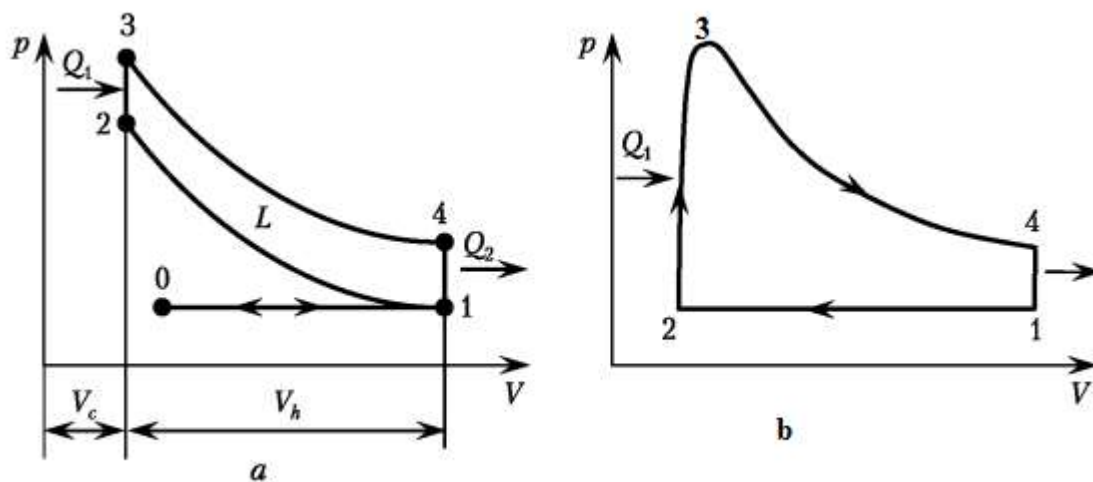


6.4-rasm

Ikkala mashinada ham ishchi jism 2 ishni bajaradigan 3 asosiy harakatlanuvchi komponentni – silindrdagi porshen yoki qurol stvolidagi o‘q (snaryad) ni harakatlantiradi. Ikkala mashinada ham ishchi jismning parametrlari harakatlanuvchi jismlarning massalariga, tuzilishi xususiyatlariga va kutilgan taktik va texnik xususiyatlariga muvofiq hisoblanadi. Shuning uchun, mashinalarga qo‘yiladigan kompleks talablar, ishchi jismning xususiyatlari va tuzilishiga nisbatan belgilanganlardan chetga chiqishlarga yo‘l qo‘yilmaydi. Ko‘pincha bu talablar o‘zaro bog‘liqdir. Masalan, IYD ining porshen halqalarining yeyilishi silindrdagi ish bosimining pasayishiga olib keladi. Xuddi shu narsa o‘q otish qurolini parmalash paytida sodir bo‘ladigan shishishida yuzaga keladi, bu o‘qotar qurolning ishdan chiqishiga sabab bo‘ladi.

IYD lari va o‘qotar qurollarda ishchi jismlar (gazlar) har xil temperatura, bosim, hajm va tsiklning amalga oshish vaqtiga ega. Otish tsikli, ichki yonish dvigatelining tsikliga qaraganda (0,001 - 0,06 s), juda tez sodir bo‘ladi va bu jihatdan u boshqarilmaydigan portlashga o‘xshaydi. Ularda ishlatib bo‘lingan gazlar turli yo‘llar bilan chiqariladi va har xil rollar o‘ynaydi. Shunga qaramay, termodinamika

nuqtai nazaridan, bu qurilmalar o'rtasida tub farq yo'q - ikkalasi ham bir-biriga o'xshash termodinamika tsikllarga muvofiq ishlaydi (6.5 - rasm). 6.5 - rasm *a* da ichki yonish dvigatelining tsikli ko'rsatilgan, bu erda V_c - siqish kamerasining hajmi, V_h - ishchi hajmi va L - foydali ishga teng maydon. Yoqilg'i yonishi doimiy hajmda sodir bo'ladigan karbyuratorli IYD tsikli taxminan Otto tsikliga to'g'ri keladi, porshen yuqoridan o'lik nuqtadan harakatlanayotganda yonilg'i aralashmasini so'rish bilan boshlanadi pastgacha davom etadi (0 - 1 izobar). Bundan tashqari, adiabata bo'yicha 1-2 hosil bo'ladi porshenni past o'lik nuqtadan yuqori o'lik nuqtaga siljitish orqali u siqiladi, va 2-nuqtada aralashma yonadi, buning natijasida yonish mahsulotlarining temperaturasi va bosimi izoxor 2-3 bo'ylab keskin ortadi. Adiabatik 3-4 (ishchi yurish),



6.5-rasm

ishchi jism 4- nuqttagacha kengayadi, bu yerda chiqish klapani ochiladi va Q_2 issiqlik chiqishi tufayli gazning bosimi va temperaturasi silindrda izoxorik ravishda tashqi qiymatlargacha kamayadi. Porshenning keyingi harakatlanishi (aylanadigan maxovikning inertsiyasi tufayli) yonish mahsulotlarini tsilindrda chiqarish klapani orqali chiqarilishiga olib keladi (ishlatilgan gazlar izobari 1-0).

Fizik modellarni yaratish uchun asosiy boshlang'ich nuqta - bu idealizatsiya. Shuning uchun dvigatelning termodinamik modelida ishchi jism idealizatsiya

qilingan. Bu *ideal gaz* hisoblanadi. Tizimning Q_1 issiqlik bilan ta'minlanishi aralashma yonishining (oksidlanishining) ekzotermik reaksiyasi tufayli emas, balki tashqi isitgich orqali amalga oshiriladi. O'qotar qurolning termodinamik tsikli sxematik tarzda 6.5-, b rasmda ko'rsatilgan. Tayyor aralashma (porox) tayyorgarlik jarayonida patron tarkibidagi ish joyiga qo'yiladi 1-2, 0-1 jarayoniga o'xshash 6.5-, a rasm. 2 - nuqtada, porox yonadi va gazlarga aylanadi, bu termodinamik model tilida Q_1 issiqlikning ishchi jismga berilishi deb tushuniladi. Bu izoxorik bosimning 2-3 oshishiga olib keladi. Adiabatik 3-4 tsiklda o'q (snaryad) tezlashadi, bu ishchi jism hajmining oshishi natijasida yuzaga keladi. Natijada, porox gazlarining zichligi va temperaturasi pasayadi. Yonayotgan zaryaddan kelayotgan yangi gazlar oqimi bosimning tushishini va ishchi jismning bosimi kamayishini qoplashga ulgurmaydi shuning uchun stvolda bosim kamayadi.

Snaryad (o'q) stvoldan chiqib ketgach, gaz bosimi 4-1 izoxor bo'ylab pasayadi, biroq, IYD laridan farqli ravishda, otish quroli porox gazlarining ergashuvchi ta'siriga ham ega. Stvol kanali yo'nalishidagi oqish jarayonida, bu gazlar stvolni xuddi uzaytirganday tuyuladi, va o'qning tezlashtirilishini davom ettiradi. Shunday qilib, snaryad(o'q) maksimal tezligiga stvolning og'zida emas, balki undan bir necha o'n santimetr uzoqlikda erishadi. Ta'riflangan ergashuvchi ta'sir o'qning tub qismidagi porox gazlarining bosimi havo qarshiligi bilan muvozanatlanganda tugaydi. 1-2 taktida mashina dastlabki holatiga qaytadi, tsikl tugaydi: yangi patronli qurol zatvori dastlabki holatini oladi.

Termodinamik tsiklning ishi (va FIK), PV-diagrammada ko'rsatilgan 1-2-3-4-1 taktlar bilan chegaralangan yuza bilan belgilanadi. Foydali ish, shuningdek, ish taktining davomiyligi stvol uzunligiga bog'liq. U qanchalik uzun bo'lsa, gazning bosim kuchi o'qga shunchalik uzoq vaqt ta'sir qiladi va o'qning kinetik energiyasiga aylanadigan ish shunchalik ko'p bo'ladi. Shunga ko'ra, uning boshlang'ich tezligi, mo'ljalga olish uzoqligi va teshib o'tish kuchi katta bo'ladi. Bu masalada , masalan, mergan miltig'i karabin, avtomat va undan ham ko'proq to'pponchadan ustundir.

Biroq, stvol uzayishining chegarasi bor: o‘q (snaryad) zatvordan uzoqlashganda, gaz bosimining kuchi ishqalanish kuchidan kamroq bo‘lishi mumkin. Zaryadning quvvatini oshirish orqali gazning bosimini oshirish mumkin, lekin bu erda ham poroxning alangalanishi tezligi bilan bog‘liq bo‘lgan chegara bor. Poroxning alangalanishi tezligi stvoldagi zarba to‘lqinining tarqalish tezligidan past bo‘lgani uchun, zaryad juda ko‘p bo‘lsa, o‘q (snaryad) porox to‘liq yonib ketishidan oldin ham stvoldan uchib chiqishi mumkin. Bunday holda zaryadning faqat bir qismi samarasidan foydalanish mumkin bo‘ladi. Bu atom bombasining yadroviy zaryadiga o‘xshaydi, uning ma‘lum chegaradan oshishi portlash quvvatining oshishiga olib kelmaydi. Shuningdek, qurolning FIK ga, porox gazlar bosimga bog‘liq bo‘lgan stvoldan issiqlik chiqarilishi ham ta‘sir qiladi, issiqlik chiqarilishi esa stvol va atmosfera orasidagi temperatura farqiga bog‘liq (5- bobning 4 -bandiga qarang).

Harbiy tarixdagi eng uzun stvolli qurol, 210 mm kalibrli “Kolossal” nomli nemis to‘pi edi. Uning yordamida Birinchi jahon urushi paytida Parij 110 km masofadan o‘qqa tutilgan (keyinchalik ma‘lum bo‘lishicha, bunday masofalarda bomba va raketalardan foydalanish samaraliroq bo‘ladi). 800 mm kalibrli “Dora” nomli nemis temir yo‘l to‘pi ham juda katta qurol edi. U 1942 yilda Sevastopolni egallashda va 1944 yilda Varshava qo‘zg‘olonini bostirishda qo‘llanilgan.

IYDlari va o‘qotar qurollarning termodinamik tsikllarini solishtirib, ularning asosiy farqi asosan texnik xarakteristikalarida yotadi degan xulosaga kelindi. Agar stvol kanalidagi porox gazlarining temperaturalarini $(2\div 3)\cdot 10^3\text{ }^\circ\text{C}$ IYD ning tsilindridagi temperatura bilan deyarli bir xil (karbyurator - $2400\text{ }^\circ\text{C}$, dizel - $2000\text{ }^\circ\text{C}$) , biroq bosim sezilarli darajada farq qiladi: karbyuratorli dvigatel yonish kamerasida - $5\cdot 10^5\text{ Pa}$, dizel dvigatelida - 10^7 Pa , va stvol kanalida - $(3\div 4)\cdot 10^8\text{ Pa}$. Bu farq yuqori otish tezligi bilan birgalikda quvvat nisbatini ham belgilaydi: ichki yonuv dvigatelida - $10^2 - 10^3\text{ kVt}$ va , masalan, 76 mmli to‘pda esa, $-2\cdot 10^5\text{ kVt}$.

Porox gazlari energiyasining taqsimlanishiga kelsak, u qurol turiga, zaryadga va snaryadga qarab o‘zgaradi. Bu erda taxminiy nisbatlar quyidagicha: 20-40% -

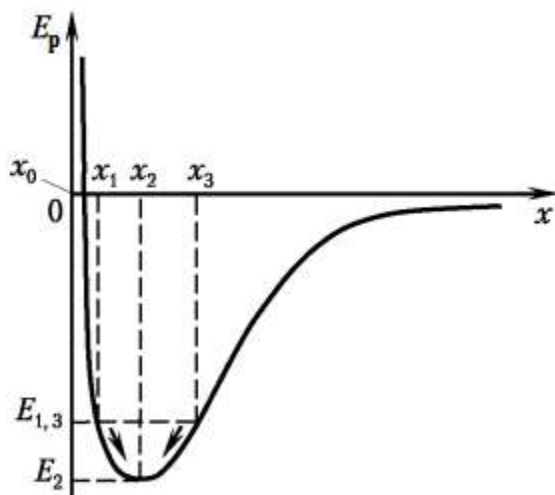
snaryadning kinetik energiyasi (shundan - 0.6% -aylanma harakat energiyasi); 15-25% - issiqlik yo‘qotilishi; 3-5% - orqaga qaytish(tepki) energiyasi; qolgan qismi esa atmosferaga tarqaladi.

6.4. Moddaning agregat holatlari

Tabiatdagi moddaning holati, qo‘lijodi texnologiyalari va mashinalarda bo‘lgani kabi, uning agregat holatiga bog‘liq. Moddaning agregat holati esa, atomlar orasidagi o‘rtacha masofa bilan belgilanadi. Atomlar orasidagi o‘rtacha masofa ularning issiqlik harakatining energiyasi va atomlarning elektrostatik o‘zaro ta’sirlari potentsial energiyasi E_p orasidagi o‘zaro munosabatga bog‘liq (6.6-rasm). Elektrostatik maydon (tortishish maydoni kabi) konservativ bo‘lgani uchun (3.2.-bandga qarang), konservativ kuchning $F_l dl$ ishi potentsial energiyaning kamayishiga teng:

$$F_l = -\frac{dE_p}{dl}, \quad (6.26)$$

Demak, agar $\frac{dE_p}{dl} < 0$ bo‘lsa, u holda $F_l > 0$, ya’ni, *kuch ko‘chish tomon yo‘nalgan*. Agar $\frac{dE_p}{dl} > 0$ bo‘lsa, bunday holda $F_l < 0$, ya’ni, *kuch ko‘chish yo‘nalishiga qarama-qarshi tomonga yo‘nalgan bo‘ladi*.



6.6-rasm

Bu munosabatlarni 6.6-rasmga qo‘llashga asoslanib, atomlar $x = x_2$ holatiga intilishga moyilligini ko‘ramiz, bunda o‘zaro ta’sir energiyasi minimal, $\frac{dE_p}{dl} = 0$, ya’ni, *tizim muvozanatda*. Bu energiya minimumi tamoyilining timsollaridan biridir.

x_2 oraliq masofa molekula

kattaligi tartibida bo‘ladi. $x \gg x_2$, bu *gazlar* uchun xarakterli, bunda $\frac{dE_p}{dt}$ shunchalik kichikki, atomlar amalda o‘zaro ta’sir qilmaydi. Shuning uchun gazlar kengayishi va siqilishi oson. $x \sim x_2$ qiymati *suyuq* va *qattiq* moddalar uchun xosdir. $x < x_2$ da potentsial egri chiziq $x > x_2$ ga qaraganda ancha tik, ya’ni, kuchlar (6.24) juda katta. Shuning uchun *suyuq* va *qattiq* moddalarni siqish qiyin.

Agar modda *suyuq* holatda bo‘lsa, molekulalar gazlarga xos bo‘lgan mustaqillikni yo‘qotadi. Ular ma’lum tartibda guruhlariga birlashtirilgan. Shu bilan birga, guruhlar bir butundir va bir-biriga nisbatan oson ko‘chadi, bu esa *suyuq* holatga *oqim* xususiyatini beradi.

Qattiq jismning o‘ziga xos xususiyati - atomlar orasidagi qattiq bog‘lanish, bu uning hajmini va qattiqligini ta’minlaydi. Atomlar geometrik jihatdan to‘g‘ri almashinib, davriy ravishda aynan bir xil *kristall tuzilishi* takrorlanadi. Bu tuzilish *fazoviy panjara* shakliga ega, atomlar fazoviy panjaraning tugunlarini hosil qiladi. Mumkin bo‘lgan tuzilmalar kubik, geksagonal(olti burchakli), tetragonal, triklin va boshqalar bo‘lishi mumkin. Kristall panjaraning turi kristaldagi takrorlanuvchi *elementar yacheyka* tomonidan aniqlanadi, uning ko‘chirilishi natijasida butun kristalni qayta ishlab chiqish mumkin. Ba’zi panjaralar atomlarning eng ixcham joylanishini amalga oshiradi. Strukturaviy nuqsonlar ham bor (tartibdan chetga chiqish), ularni *dislokatsiya* deyiladi.

Bir kristall panjaradan tashkil topgan material *monokristall* deyiladi. Kristall panjara muntazam geometrik shaklga ega bo‘lib, panjara simmetriyasini aks ettiradi. Bunga tog‘ jinslaridan tashkil topgan kvarts misol bo‘lishi mumkin. Biroq, ko‘pincha qattiq jism bu bir-biriga ixtiyoriy tarzda bog‘langan kichik kristallarning majmuasi hisoblanadi. Bir-biridan farq qiladigan bunday struktura, masalan, metallar *polikristall* deb ataladi.

Qattiq jism sutrukturasini sun’iy ravishda to‘yingan eritma yoki eritmadan olingan momokristallarni o‘stirish yo‘li bilan ham shakllantirish mumkin.

Kondensatsiyalangan holatdagi moddalar (suyuq yoki qattiq) hajmi isitish vaqtida kam oʻzgaradi va shuning uchun $c_p \sim c_v$. Hajmning ozgina oʻzgarishi *issiqlikdan kengayish koeffitsienti* α bilan aniqlanadi. Gey-Lyusssak qonuniga asosan

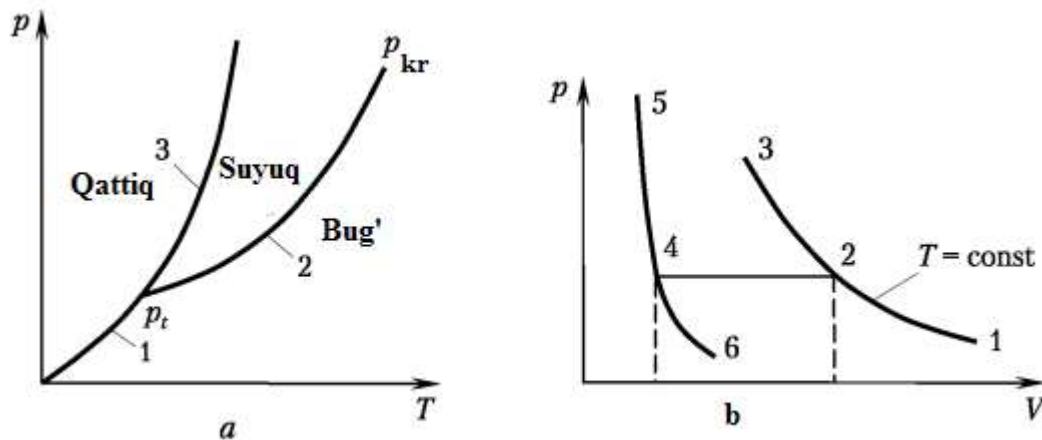
$$\alpha = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT}. \quad (6.27)$$

Koʻpgina moddalar uchun, xuddi shunday gazlar uchun ham $\alpha > 0$, biroq istisno ham mavjud. Masalan, suvni $0 - 4^\circ\text{C}$ oraligʻidagi qizdirilganda, uning hajmi kamayadi. Umuman olganda, suyuqliklar uchun $\alpha \sim 10^{-4} \text{K}^{-1}$, va qattiq jismlar uchun esa, yana bir daraja tartibida kamroq. Shunga qaramay, issiqlikdan kengayish mashinalar, asboblari va qurilish konstruksiyalarida jiddiy muammolarga olib kelishi mumkin. Shuning uchun u, masalan, issiqlik boʻshliqlarini hosil qilish orqali hisobga olinadi.

Kam energiyali sathdagi atomlarning issiqlik tebranishlari x_2 muvozanat masofasiga nisbatan simmetrikdir (6.6-rasmga qarang). Temperaturaning oshishi bilan egri chiziqning assimetriyasi tufayli ular angarmonikaga aylanadi va atomlar orasidagi oʻrtacha masofa ortadi, ular orasidagi bogʻlanish zaiflashadi, keyin esa uziladi. Bu miqdor (atomlarning energiyasi) ning sifatga (moddaning boshqa agregat holati) aylanishi misolidir. Moddaning bir fazadan boshqasiga oʻtadigan temperaturasi (6.7-rasm, a), *fazaviy oʻtish (aylanish) temperaturasi* deyiladi. Bularga erish va qotish; bugʻlanish va kondensatsiya; sublimatsiya (haydash) temperaturalari (nuqtalari) kiradi.

Birinchi tur fazaviy oʻtish, oʻtish paytida moddaning temperaturasi oʻzgarmasligi bilan xarakterlanadi, lekin uning hajmi oʻzgaradi. Kondensatsiyalangan fazadan kichik zichlikdagi fazaga oʻtishi uchun moddaga, molekular bogʻlanishining potentsial energiyasiga mos keladigan energiya (issiqlik) berish kerak. Chunki u temperaturaning oshishiga olib kelmasdan bogʻlanishlarni uzadi, unga *aylanishning yashirin issiqligi* deyiladi. Eriganida, bu kristall panjaraning yemirilishiga, bugʻlanish paytida - suyuqlik molekularining bir-biridan

uzoqlashishiga va boshqalarga olib keladi. Bunday o'tish paytida moddaning egallagan hajmi va molekulalarning xatti-harakatidagi betartiblik darajasi ortadi, va tizimning entropiyasi ham oshadi. Qarama-qarshi yo'nalishdagi o'tish paytida tizim xuddi shunday aylanishning yashirin issiqligini chiqaradi va uning entropiyasi pasayadi.



6.7-rasm

Moddaning turli fazalari orasida muvozanat o'rnatiladigan tizim holati parametrlarining shunday birligi ham mavjud. 4.13, b – rasmda 1-2 bug' izotermasi 2 nuqtada 2-4 sohada gorizontaal chiziqqa o'tadi, bu soha bug' va suyuqlik muvozanatiga mos keladi. Bunda ikki fazali tizimning umumiy hajmi har xil bo'lishi mumkin. Bug' bu erda to'yingan va uning bosimi p_s temperaturaga bog'liq. 4 nuqtada barcha bug' suyuqlikka aylanadi. Qaynash markazlari bo'lmasa, juda qizib ketgan suyuqlikni ham olish mumkin (4-6 soha). Qarama-qarshi jarayonda, 2 nuqta bug'ning kondensatsiyasiga to'g'ri keladi. U kondensatsiya markazlaridan boshlanadi, masalan, boshqa jinsli aralashmalardan, ular bo'lmaganda, to'yingan bug' paydo bo'ladi (2-3 soha).

Xuddi shu tarzda, «qattiq jism - suyuqlik» muvozanati tasvirlangan *erish egri chizig'i* va «qattiq jism - gaz» muvozanati – *sublimatsiya(haydash) egri chizig'i*. Bu

egri chiziqlar p_t nuqtada ulanadi, bu yerda barcha uch faza muvozanatda bo‘ladi (4.13, a - rasimga qarang), masalan, suvning uchlangan nuqtasida ($T = 273,16$ K).

So‘nggi yillarda g‘ayrioddiy xususiyatlarga ega bo‘lgan moddaning yangi shakllarini olish imkoniyatiga katta e‘tibor berilmoqda, masalan, kompozit materiallar, suyuq kristallar yoki uglerod atomlari hosil qilgan tizimlar. 1985 yilda fullerenlar kashf etilgan – atom holdagi qavariq yopiq ko‘p qirrali, sferik konstruktsiyaga yaqin, unda har bir uglerod atomi bitta beshburchak va ikkita olti burchak burchaklarida joylashgan. Kashf etilgandan beri ulardan barcha turdagi mahsulotlar (nanonaychalar, yarimo‘tkazgichli asboblari, simlar, tibbiy preparatlar) yaratildi, ular ancha istiqbolli bo‘lib bormoqda. Uglerod atomlari yordamida ikki o‘lchovli kristall (olti burchakli) *grafen* deb ataluvchi monoqatlam hosil qilish mumkin. Grafen yuqori darajadagi qattqlik, issiqlik va elektr o‘tkazuvchanligi ega. Ushbu material bilan istiqbolli tajribalari uchun Rossiyalik A.K.Geym va K. S. Novoselov 2010 yilda Nobel mukofotiga sazovor bo‘lgan.

XULOSA

Termodinamik usul MKNdan energiyaning saqlanish qonuniga bo‘ysunadigan energiya munosabatlariga asoslanganligi bilan farq qiladi. Termodinamikaning birinchi va ikkinchi qonunlari issiqlik jarayonlarining o‘zaro bog‘liqligini va yo‘nalishini belgilaydi hamda ko‘plab mashinalarning, shu jumladan qurollar va harbiy texnikalarning ishlashiga asos bo‘ladi.

Nazorat uchun savollar

1. Bir xil miqdordagi bir va ikki atomli gazlar temperaturasi ΔT ga o‘zgartirildi. Bu o‘zgartirishga bir xil issiqlik miqdori talab qilinadimi?
2. Porox gazlarining tez kengayishini adiabatik jarayon deb hisoblash mumkin. Nima uchun otilganda avtomat stvoli qiziydi?

3. Qaysi issiqlik sigʻimi katta - molyar yoki solishtirma? Vodorod va uglerod uchun molyar issiqlik sigʻimining solishtirma issiqlik sigʻimiga nisbati qanday farq qiladi?

4. Ikkita bir xil hajmdagi gaz, bir xil sharoitda, bir xil yakuniy hajmlarga siqiladi, biri tez, ikkinchisi sekin. Qaysi holatda bajarilgan ish katta?

5. Nima uchun kichkina kavsharlagich kostryulkalarni qalaylash uchun mos emas?

6. Qaysi paytda avtomobil dvigateli samarali ishlaydi – qishdami yoki yozda?

7. Ishlab turgan sovutgichning eshigi ochiq turganda, sovutgich turgan xonaning temperaturasi qanday oʻzgaradi?

8. Karno tsiklida gazning kengayish darajasini oshiramiz. Ish qanday oʻzgaradi? FIK chi?

9. Beshinchi qavatda yongan koʻmirning potentsial energiyasi qoʻshimcha issiqlik berishi kerak emasmi? Siqilgan prujina kislotada eriganda, uning potentsial energiyasi qayerga ketadi?

Masala yechish namunalari

6.1. Atrofdagi havoning temperaturasi 27°C boʻlganda, 2g massali geliy bilan toʻldirilganda havo sharining vajmi koʻtarilish jarayonida 10% ga oshdi. Geliy qanday ish bajargan?

Berilgan: $m = 2 \text{ g} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$; $M = 4 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$; $t = 27^{\circ}\text{C} = 300 \text{ K}$; $V_2 = 1,1 V_1$

A — ?

Yechish. Kechayotgan jarayon izotermik boʻlgani uchun,

$$A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Bu holda $A = \frac{m_{He}}{M_{He}} RT \ln 1,1.$

Son qiymatlarini qo‘yib hisoblasak, $A \approx 119 \text{ J}$ ni olamiz .

6.2. Qurol snaryadining massasi 25 kg, stvoldan uchib chiqish paytidagi tezligi 800 m/s , porox gazlarining massasi(zaryad massasi) 3,8 kg, poroxning issiqlik berish qobiliyati(yuqori chegarasi) $\lambda = 10 \text{ MJ/kg}$. Bunday qurolning FIK nimaga teng?

Berilgan: $m_s = 25 \text{ kg}$; $m_z = 3,8 \text{ kg}$; $\lambda = 10 \text{ MJ/kg}$.

FIK — ?

Yechish. Foydali energiya E_{foy} deb snaryadning stvoldan chiqish vaqtidagi energiyasini, sarflangan energiya E_{sarf} sifatida esa, zaryad yonishi natijasida hosil bo‘lgan energiyani olsak, quyidagiga ega bo‘lamiz

$$\eta = \frac{E_{foy}}{E_{sarf}} = \frac{0,5m_s v^2}{m_z \lambda} .$$

Son qiymatlarini qo‘yib hisoblasak, $\eta = 0,21$ ni olamiz.

Izoh. Olingan natija aviatsiya dvigatellari FIK ga taqqoslasa bo‘ladigan darajada.

Mustaqil yechish uuchun masalalar

6.3. Ikki atomli gazning solishtirma issiqlik sig‘imlari orasidagi farq $C_p - C_v = 260 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ ga teng. Gazning molyar massasini va uning solishtirma issiqlik sigimini toping.

6.4. Tarkibi kislorod va argon bo‘lgan gazlar aralashmasining adiabat ko‘rsatkichini toping, aralashmadagi ikkala gazning ham modda miqdori bir xil.

6.5. Kislorod 80 kPa doimiy bosimda isitiladi. Uning hajmi 1 m^3 dan 3 m^3 gacha oshadi. Kislorodning ichki energiyasining o‘zgarishini, uning kengayish paytida bajargan ishini va gazga berilgan issiqlik miqdorini aniqlang.

6.6. Ideal gaz bosimi $p_1 = 0,4 \text{ MPa}$ va hajmi $V_1 = 3 \text{ m}^3$ bo‘lgan holatdan, bosimi $p_2 = 0,2 \text{ MPa}$ va hajmi $V_2 = 1 \text{ m}^3$ bo‘lgan holatga har xil yo‘llar bilan o‘tkaziladi. Bitta o‘tish avval izobara bo‘yicha, so‘ngra izoxora bo‘yicha amalga

oshirildi, ikkinchisi – avval izoxora bo'yicha, so'ngra izobara bo'yicha. Qaysi holatda ko'proq issiqlik chiqariladi va qancha?

6.7. Ideal Carno tsikli bo'yicha ishlayotgan issiqlik dvigateli 610°C temperaturali isitgichdan foydalanadi va 27% FIK ga ega. FIKni 35%ga oshirishi uchun sovutgichning temperaturasi avvalgicha qoldirgan holda, isitgich temperaturasi qanday bo'lishi kerak?

6.8. Massasi $m = 100\text{ g}$ bo'lgan suvni qizdirganda entropiyaning o'zgarishini toping. Suv $t_1 = 0^{\circ}\text{C}$ dan $t_2 = 100^{\circ}\text{C}$ gacha qizdiriladi va so'ngra xuddi shu temperaturada suv bug'ga aylanadi. Suvning solishtirma bug'lanish issiqligi $r = 2,26 \cdot 10^6\text{ J/kg}$. Suvning solishtirma issiqlik sig'imi $c = 4200\text{ J/(kg K)}$.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

- 1.Jankoli.D. «FIZIKA» V.2 Tomah.Per.s.ang.M.- Mir.1989 g.-321c.
- 2.Douglas Ciancoli. Phusics a General Course. 2010 year.Chapter 1-43.
- 3.Q.P. Abduraxmanov, V.S. Xamidov, N.A. Axmedova, «FIZIKA», DARSLIK TOSHKENT 2017 y.
4. Бондарев, Б. В. Курс общей физики. Книга 3: Термодинамика, статистическая физика, строение вещества : учебник для бакалавров / Б. В. Бондарев, Н. П. Калашников, Г. Г. Спирин. — 2-е изд. — М.: Издательство Юрайт, 2016.
- 5.Волькенштейн, В. С. Сборник задач по общему курсу физики / В. С. Волькенштейн. — М.: Книжный мир, 2008. — 328 с.
- 6.Кравченко, Н. Ю. Физика: учебник и практикум для прикладного бакалавриата / Н. Ю. Кравченко. — М.: Издательство Юрайт, 2016.
- 7.Никеров, В. А. Физика: учебник и практикум для академического бакалавриата / В. А. Никеров. — М.: Издательство Юрайт, 2015.
8. Misirov Sh.Ch.Fizika kursi(Mexanika)
9. Misirov Sh.Ch.Fizika kursi(Molekulyar fizika va termodinamika asoslari)
10. Misirov Sh.Ch. Harbiy-amaliy masalalarning fizik asoslari
- 11.Трофимова, Т. И. Руководство к решению задач по физике : учеб, пособие. 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2015. — 265 с.
- 12.Ильин, В. А. История и методология физики / В. А. Ильин, В. В. Кудрявцев. — М.: Издательство Юрайт, 2014. — 579 с.
- 13.Яворский, Б.М. Основы физики : учеб, пособие. Т. 1, 2 / Б. М. Яворский, А. А. Пинский. — М.: Физматлит, 2003. — 1128 с.
14. Яворский, Б. М. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф, А. К. Лебедев. — М.: Оникс, 2006. — 1056 с.

Xalqaro birliklar tizimi(XB)

Fizik kattalik		Birlik	
Nomi	Belgisi	Nomi	Belgisi
Asosiy			
Uzunlik	l	metr	m
Vaqt	t	sekund	s
Massa	m	kilogramm	kg
Modda miqdori	ν	mol	mol
Termodinamik temperatura	T	kelvin	KTo
Tok kuchi	I	amper	A
Yorug‘lik kuchi	J	kandela	kd
Qo‘shimcha			
Tekis burchak	α, φ	radian	rad
Fazoviy burchak	Ω	steradian	sr

Asosiy fizik doimiylar

Nomi	Belgisi	Qiymati
Gravitatsion doimiy	G	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}/\text{kg}^2$
Yorug‘likning vakuumdagi tezligi	c	$3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Avogadro doimiysi	N_A	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Bol‘tsman doimiysi	k	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/kg}$
Gaz universal doimiysi	R	$8,31^{23} \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

Ayrim astronomik kattaliklar

Nomi	Qiymati
Quyosh radiusi	$6,95 \cdot 10^8 \text{ m}$
Yer radiusi	$6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$
Oy radiusi	$1,74 \cdot 10^6 \text{ m}$
Yer massasi	$5,96 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Oy massasi	$7,3 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
Quyosh massasi	$1,97 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
Oydan Yergacha bo‘lgan o‘rtacha masofa	$3,8 \cdot 10^8 \text{ m}$

Yerdan Quyoshgacha bo‘lgan o‘rtacha masofa	$1,5 \cdot 10^{11}$ m
Yerga erkin tushish tezlanishi	9,8 m/s ²

O‘nga karrali va ulushli birliklar

Ko‘paytiruvchi	Old qo‘shimcha
10^{12}	tera
10^9	giga
10^6	mega
10^3	kilo
10^2	gekto
10^1	deka
10^{-1}	detsi
10^{-2}	santi
10^{-3}	milli
10^{-6}	mikro
10^{-9}	nano
10^{-12}	piko

Ayrim sistemadan tashqari birliklar va ularni XBT ga o‘tkazish

Fizik kattalik	Birlikning nomi	XBT ga o‘tkazish(yaxlitlangan)
Uzunlik	versta	1,1 km
	sajen	2,1 m
	arshin	0,7 m
	vershok	4,4 sm
	quruqlik milyasi	1,6 km
	dengiz milyasi	1,9 km
	yard	0,9 m
	fut	0,3 m
	dyuym	2,54 sm
	kalibr(0,01 dyuym)	254 mkm
Yuza	gektar	10^4 m ²
	ar	100 m ²

	akr	4,05 m ²
Vajm	litr	10 ⁻³ m ³
	gallon(AQSH)	3,9 dm ³
	pinta(AQSH)	0,47 dm ³
	suyuqlik kvartasi(AQSH)	0,95 dm ³
	suyuqlik untsiyasi(AQSH)	29,6 sm ³
	neft barreli(AQSH)	159 dm ³
	bushell(AQSH)	35,2 dm ³
Massa	pud	16,4 kg
	funt	0,41 kg
	misqol	4,3 g
	gran	64,8 mg
	untsiya(savdo)	28,3 gr
	karat	0,2 gr
	tonna	1000 kg
Vaqt	minut	60 s
	soat	3600 s
Tezlik	km/soat	0,278 m/s
	uzel(dengiz)	0,51 m/s
Quvvat	ot kuchi	745,7 Vatt
Yassi burchak	Gradus	1,75·10 ⁻² rad
	Minut	2·10 ⁻⁴ rad
	Sekund	4,8·10 ⁻⁶ rad
Bosim	texnik atmosfera	1,01·10 ⁵ Pa
	millimetr simob ustuni	133,3 Pa
	millimetr suv ustuni	9,81 Pa
	Torr	133,3 Pa
	Bar	10 ⁵ Pa
Issiqlik miqdori	Kalloriya	4,2 J

MUNDARIJA

KIRISH	7
1-BO‘LIM. MEХАНИКА, I. BOB. KINEMATИКА	14
1.1 Moddiy nuqta kinematikasi, 1.1.1 Mexanika, mexanikada Modellashtirishlar	
II BOB. DINAMIKA, 2.1 Moddiy nuqta dinamikasi	37
3-BOB. ISH VA ENERGIYA, 3.1. Ish va energiya	54
4-BOB. AYLANMA HARAKAT, 4.1. Aylanma harakat kinematikasi	82
5-BO‘LIM. MOLEKULYAR FIZIKA VA TERMODINAMIKA,	103
5.1. Klassik statistika tamoyillari	
6 - BOB. TERMODINAMIKA, 6.1. Termodinamikaning birinchi qonuni	125
Adabiyotlar	146
ILOVALAR	147
Mundarija	150

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
СЕКЦИЯ 1. МЕХАНИКА, ГЛАВА I. КИНЕМАТИКА	14
1.2 Кинематика материальной точки, 1.1.1 Механика, в механике Моделирование	
ГЛАВА 2. ДИНАМИКА, 2.1 Динамика материальной точки	37
ГЛАВА 3. РАБОТА И ЭНЕРГИЯ, 3.1. Работа и энергия	54
ГЛАВА 4. ВРАЩАЮЩЕЕ ДВИЖЕНИЕ, 4.1. Кинематика	82
вращательного движения	
РАЗДЕЛ 5. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА,	103
5.1. Принципы классической статистики.	
ГЛАВА 6. ТЕРМОДИНАМИКА, 6.1 Первый закон термодинамики	125
Ссылки	146
ПРИЛОЖЕНИЯ	147
Содержание	150

TABLE OF CONTENTS

INTRODUCTION	7
SECTION 1. MECHANICS, CHAPTER I. KINEMATICS	14
1.2 Kinematics of a material point, 1.1.1 Mechanics, in mechanics Simulation	
CHAPTER 2. DYNAMICS,	37
2.1 Dynamics of material point	
CHAPTER 3. WORK AND ENERGY,	54
3.1. Work and energy	
CHAPTER 4. ROTATING MOVEMENT,	82
4.1. Kinematics of rotary motion	
SECTION 5. MOLECULAR PHYSICS AND THERMODYNAMICS,	103
5.1. Principles of classical statistics	
CHAPTER 6. THEMODYNAMICS,	125
6.1 The first law of thermodynamics Links	
Links	146
ILOVALAR	147
Content	150