

O'ZBEKISTON XALQ TA'LIMI VAZIRLIGI
A. QODIRIY NOMLI JIZZAX DAVLAT PEDAGOGIKA
INSTITUTI

FIZIKA - MATEMATIKA FAKULTETI

FIZIKA O'QITISH METODIKASI KAFEDRASI

Tasdiqlayman
_____ Kafedra mudiri

Prof. R. N. Bekmirzaev

MEXANIKA FANIDAN

MA'RUZALAR MATNLARI

Ta'lim sohasi: 100000 – ta'lim.

Bilim sohasi: 140000 – o'qituvchi tayorlash

Bakalavriat yunalishi: 5110200 – fizika-astronomiya

Tuzuvchi: k. o'qituvchi Taylanov N.A.

JIZZAX – 2015

SO‘Z BOSHI

Oliy texnika o‘quv yurtlari uchun mo‘ljallangan ushbu darslikda umumiy fizikaning uslubiy dasturida ko‘zda tutilgan nazariy asoslari bayon etilgan.

Fizika kursini qisqa muddatda bir yoki ikki semestr o‘qitiladigan yo‘nalishlarni inobatga olgan holda, uslubiy dastur asosida eng zarur bo‘lgan nazariy va amaliy ma’lumotlarni qisqa muddat ichida samarali o‘zlashtirib olishga imkon bera oladigan fizika kursi darsligi zaruriyati tug‘ildi.

Shu munosabat bilan tavsiya qilinayotgan “fizika kursi” kichik hajmda (bir tomlik) yozilgan va unda oliy matematikaning eng sodda hosilalar va integrallarning jadvallarida berilgan formulalardangina foydalanilgan xolos. Ko‘pgina fizikaviy qonuniyatlarning matematik ko‘rinishlarini keltirib chiqarilishi sodda shaklda berilgan. O‘rganilayotgan fizik jarayonlar va hodisalarni yaxshiroq tushunib olish uchun keltirilgan misollar ishlab chiqarishi bilan bog‘liq bo‘lgan sohalardan olingan.

Ushbu darslikda fizikaviy kattaliklarning faqat bitta birliklar sistemasi (SI)dan foydalanilgan bo‘lib, bu birliklar bilan bir qatorda sistemaga kirmaydigan (litr, millimetr, simob ustuni, angstrom, elektronvolt va shunga o‘xshashlar) berilgan. Taqdim qilinayotgan kitob yetti bo‘limdan iborat. Birinchi bo‘limda klassik mexanikani fizik asoslarining sistemali bayoni va nisbiylik nazariya asoslari berilgan. Ikkinchi bo‘lim, asosan, statistik fizika va termodinamikaga bag‘ishlanadi. Uchinchi bo‘limda elektrostatika, o‘zgarmas elektr toki va elektromagnetizm o‘rganiladi. To‘rtinchi bo‘lim - tebranishlar va to‘lqinlar, elektromagnit va mexanik tebranishlarni parallel qarab chiqishga bag‘ishlanadi. Beshinchi bo‘limda to‘lqin optika va nurlanishning kvant tabiati qarab chiqiladi. Oltinchi bo‘lim - atomlar, molekulalar va qattiq jism kvant fizikasi elementlariga bag‘ishlanadi. Yettinchi bo‘limda yadro va elementar zarrachalar fizikasi bayon etiladi.

Muallif ushbu kitobni yozishda, uning sifatini yaxshilash maqsadida o‘zlarining qimmatli fikr va ko‘rsatmalarini bergan hamda katta yordam ko‘rsatgan Farg‘ona politexnika instituti «fizika» kafedrasining barcha professor - o‘qituvchilariga va yordamchi xodimlariga chuqur minnatdorchilik bildiradi.

Darslikni ikkinchi nashriga **muallifning so'z boshi**

Ushbu ikkinchi nashrda «Fizika kursi» darsligi yangitdan qayta ishlandi. Ba'zi paragraflar yangitdan qo'shildi. Birinchi nashrda yo'l qo'yilgan ba'zi kamchiliklar bartaraf qilindi.

Masalan, IV bobni oxiriga 4.4-§ qilib, «Uzluksizlik. Bernulli tenglamasi» temasi kiritildi. Chunki, 4.2-§ Energiya. Energiya saqlanish qonuniga bag'ishlanadi. Suyuqliklarda esa energiya saqlanish qonunini bajarilishi Bernulli tenglamasida o'z aksini topadi.

Bulardan tashqari har bir bobni oxirida o'zlashtiruvchi savollar va shu yuqoridagi boblar mavzulariga muvofiq masalalar yechish namunalari berilgan.

Bularni berilishi, birinchidan, yuqoridagi mavzulariga mustahkamlasa, ikkinchidan, talabalarni shu mavzulariga qiziqishini, e'tiborini orttiradi, masalalar yechishga bo'lgan harakatlarini jonlantiradi, intilishlarini esa kuchaytiradi.

Masala yechish namunalarini berganimizda biz, bizgacha bo'lgan masala yechish namunalaridagi berilgan fizik kattaliklar bilan, ularning o'lchov birliklarini aralashtirib yozilishiga yo'l qo'ymadik, ya'ni berilganlarni yozganda, biz avvalo, ularni bir sistemaga keltirib oldik, so'ngra masala yechishga kirishdik. Bu holda son qiymatlari bilan o'lchov birliklarni ifodalovchi qisqartirilgan harflar (metr - m; kilogrammni - kg; sekundni - s va hokazo) aralashib ketmaydi va fikrni chalg'itmaydi.

Bularni e'tiborga olib biz ana shu usulga qat'iy yondoshdik va yaxshi natijalar beradi degan umiddamiz.

Masalalar tanlashda juda murakkab masalalar tanlashga emas, balki «soddadan-murakkab»ga prinsipini saqlashga harakat qildik. Shuningdek, tanlangan masalalarni berilgan temalarga mosligi nazarda tutildi va hokazo.

Muallif bu nashrni tayyorlashda ba'zi kamchiliklarni ko'rsatgan va ularni yo'qotishga yaqindan yordam bergan fizika kafedrası professor-o'qituvchilariga va taqrizchilarimiz prof. Yuldashev N.X., dots. Xaydarov A.X.ga o'z minnatdorchiligini bildirishni lozim deb topdi.

Darslikning uchinchi nashriga so'z boshi

Ushbu uchinchi nashrda, ikkinchi nashrdagi kabi «Fizika kursi» darsligini yangitdan qayta ishlandi. Birinchi va ikkinchi nashrda yo'l qo'yilgan ba'zi kamchiliklar bartaraf qilindi, foydali qo'shimchalar kiritilib boyitildi.

Masalan, har bir bobni oxirida o'zlashtiruvchi savollar va shu yuqoridagi boblar mavzulariga muvofiq masalalar yechish namunalari bilan chegaralanib qolmasdan, auditoriya va uyda mustaqil mashq qilish uchun 10-15 tadan masalalar berilgan.

Bularni berilishi talabalarni ko'proq mustaqil ishlashga o'rgatadi va olgan bilimlarni mustahkamlaydi.

Mustaqil yechish uchun masalalar tanlashda, masalalar yechish namunalariga o'xshab, «soddadan-murakkab»ga tamoyilini saqlashga harakat qildik.

Shuningdek, muallif darslik nihoyasida xulosa va uni jonli ifodalash uchun asosiy qonunlar va formulalarni yozib berishni lozim deb topdi. Bu esa talabalarni, berilgan mavzularga mos kelgan formula va qonunlarni tezroq o'zlashtirishga va yodda saqlashga yordam beradi.

Bulardan tashqari ilova sifatida har bir berilgan masalalarga mos ba'zi asosiy fizik kattaliklar jadvallarini berilishini ta'minladik.

Muallif ushbu nashrni tayyorlashda yaqindan yordam bergan fizika kafedrası professor-o'qituvchilariga va institutning nashirlik bo'limi xodimlariga o'z minnatdorchiligini bildiradi.

KIRISH

Fizika fani va uning boshqa fanlar bilan aloqasi

Biz yashab turgan, hayot kechirayotgan gallaktikamiz (Quyosh va uni atrofida aylanayotgan to'qqizta planeta va yulduzlar sistemasi) juda ko'p asrlardan beri mavjud. Yerimiz, tabiatimiz, yetti osmonimiz gallaktikaning bir bo'lagi bo'lib, tirik organizmlar va odamzod maskani sifatida paydo bo'ldi. Tabiat hodisalarini, jarayonlarini va qonunlarini o'rganish juda qadimdan boshlangan. Tabiat sirlarini o'rganish, qonunlarini ochish asosida insoniyat o'zining turmush sharoitini, yashash imkoniyatlarini yaxshilab bordi. Tabiat sirlarini o'rganish o'z navbatida, o'z zamonidagi fikrli, mulohazali, ilg'or kishilarni o'ziga tortdi. Qadimgi Yunonistonda tabiat hodisalarini o'rganuvchi tabiatshunoslik fani vujudga keldi.

Fizika yunoncha so'z bo'lib, "**physis**"- tabiat degan ma'noni anglatadi. Fizika fanini birinchi bo'lib, qadimgi yunon mutafakkiri Aristotel (eramizdan avvalgi 384-322 yil) o'zining kitoblarida bayon etgan. O'sha davrda fizikaning tarkibiga hozirgi ximiya, astronomiya, biologiya, geologiya deb nom olgan bir qator tabiiy fanlar kirgan. Keyinchalik, ular mustaqil fanlar bo'lib ajralib chiqqan, lekin ular o'rtasida keskin chegara yo'q, ular doimo bir-birlarini to'ldirib hamisha aloqada bo'ladilar. Bu gaplarni isboti sifatida tabiatdan yangi-yangi hodisalarning kashf qilinishi va ularning amalda qo'llanishi natijasida fizikaviy-ximiya, astrofizika, geofizika, biofizika kabi birlashgan fanlarning vujudga kelishini ko'rsatish mumkin. Shuning uchun, fizika – barcha tabiiy va amaliy fanlarning poydevoridir deyish mumkin.

Fizika fanining boshqa fanlar bilan aloqasi ikki tomonlamadir: Bu fanlar fizika asboblari yordamida taraqqiy qilib, yangi fan cho'qqilarini egallashsa, o'zining yutuqlari bilan fizikani ham boyitadi va uni oldiga yangi vazifalar, yangi mukammal asboblarni yaratishni qo'yadi, shu tariqa o'zi ham, fizika ham rivojlanib boradi.

Masalan: astronomlarga yangi teleskoplarni yaratib berish, osmon jismlarini mukammalroq o'rganishga, biologlarga elektron mikroskoplarni yaratilishi, hayotni qanday paydo bo'lish sirini ochilishiga olib keldi, ximiklarga spektroskopni yasab berilishi elementlar davriy sistemasidagi 24 ta elementni kashf etilishiga sabab bo'ldi va hokazo.

Fizika fani rivojlanishida buyuk o'zbek mutafakkir olimlarimizning boy ilmiy meroslarni ham ahamiyati katta bo'lgan. Ayniqsa, Abu Rayhon Beruniyning falsafiy qarashlari, dunyo xaritasini yaratishdagi urinishlari "Amerika"-qit'asi borligini bashorati (Kolumbning Amerikani ochishida asos bo'lgan), shuningdek, Ahmad Al-Farg'oniyning Yer meridianini o'lchab chiqishlari, tutash idish qonunidan foydalanib Nil daryosi suvini o'lchab beradigan qurilmani yaratgani (u hozirgacha saqlanganligi), Al-Xorazmiy bilan birgalikda osmon jismlarini o'rganishdagi tadqiqotlari hozirgacha ham o'z qiymatini yo'qotganicha yo'q.

Bizning atrofimizni o'rab olgan moddiy dunyo doimo uzluksiz harakatda bo'lgan materiyadan iboratdir. Materiya ikki ko'rinishda namoyon bo'ladi:

- 1) modda ko'rinishda, masalan, qattiq, suyuq, gazsimon va plazma holatidagi jismlar;
- 2) maydon ko'rinishida, masalan, gravitatsion maydon, elektromagnit maydon, yadroviy kuchlar maydoni va boshqalar.

Fizika fani materiyaning tuzulishini va materiya harakatining eng oddiy ko'rinishidan tortib, to eng umumiy ko'rinishlarigacha o'rganadi: mexanik, atom-molekulyar, gravitatsion, elektromagnit, atom va yadro ichidagi jarayonlar.

Harakat deganda, materiyaning tabiatda bo'ladigan barcha o'zgarishlari, bir turdan ikkinchi turga aylanishlari, barcha jarayonlar tushiniladi.

Fizikaviy tadqiqot usullari. Fizika hodisalarini tabiat sharoitida o'rganish **kuzatishdan** boshlanadi. Hodisalarni sun'iy ravishda laboratoriya sharoitida amalga oshirib, tajriba o'tkazishni **eksperiment** deb ataladi. Eksperimentni kuzatishga qaraganda, bir qator afzal tomoni bor, chunki tabiiy sharoitlarda biror hodisa ro'y berishi uchun sutkalab, oylab, hatto, yillab kutishga to'g'ri keladi. Laboratoriya sharoitida esa bu hodisani xohlagan qisqa vaqtda amalga oshirish mumkin.

Kuzatish va tajriba natijalaridan hodisani tushuntirish uchun mulohaza va mantiqiy umumlashtirishlar asosida **gipoteza** (ilmiy faraz) lar yaratiladi.

Agar gipoteza eksperimentda tasdiqlansa, u haqiqiy fizik nazariyaga aylanadi, aks holda gipoteza sinovdan o'tmagan gipotezaligicha qoladi.

Fizik **nazariya** atrofimizda sodir bo'layotgan bir qator hodisalarni, ularning mexanizmi va qonuniyatlarini tushuntira olishi kerak. Eksperiment asbob - uskunalarini zamonaviylashuvi va o'sishi bilan yangi hodisalar kashf etiladi, bu esa o'z navbatida yangi fizik nazariyalar yaratilishini taqozo qiladi.

Fizik kattaliklarni o'lchash uchun o'lchov birliklari tanlab olinadi. O'lchash mumkin bo'lgan fizik kattaliklarning birliklari etalon (namuna) larga ega. Fizik kattaliklarning qiymati deganda, mazkur kattalik etalondan (eski uning nusxasidan) necha marta farqlanishini ko'rsatadigan son tushuniladi. Har bir fizik kattalik o'lchov birligini boshqa fizik kattaliklarga bog'liq bo'lmagan holda mustaqil tanlash mumkin.

Masalan, yettita fizik kattalik uchungina, o'lchov birligi ixtiyoriy tanlanadi. Bu fizik kattaliklarning o'lchov birliklari **asosiy birliklar** deb yuritiladi. Qolgan barcha fizik kattaliklarning o'lchov birliklari bu kattaliklarni asosiy kattaliklar bilan bog'lovchi qonunlar (formulalar) asosida tanlanadi. Bunday kattaliklarning o'lchov birliklari **hosilaviy birliklar** deb yuritiladi.

1960 - yil oktabrda Xalqaro sistema qabul qilindi.

1961 - yilning 24- avgustida oldingi Sovet Ittifoqida "Sistema Internatsionalnaya" so'zlarini bosh harflari bo'yicha SI ("Es-I" deb o'qiladi) tarzda belgilangan birliklar sistemasi tasdiqlandi. SI da **yettita asosiy birlik** va **ikki qo'shimcha birlik** qabul qilingan:

Asosiy birliklar

Uzunlik, metr (m). Kripton -86 atomining $2p_{10}$ va $5d_5$ sathlari orasida o'tishga mos bo'lgan nurlanishning vakuumdagi to'liq uzunligidan 1650763,73 marta katta bo'lgan uzunlik **1 metr** deb qabul qilingan.

Massa, kilogramm (kg). Kilogrammni xalqaro prototipining massasi **1 kilogramm** deb qabul qilingan.

Vaqt, sekund (s). Seziy - 133 atomi asosiy holatining ikki o'ta nozik sathlari orasidagi o'tishga mos bo'lgan nurlanish davridan 9192631770 marta katta vaqt **1 sekund** deb qabul qilingan.

Elektr tokining kuchi, Amper (A).

1 amper tok vakuumdagi bir- biridan 1m masofada joylashgan ikki parallel cheksiz uzun, lekin kesimi juda kichik to'g'ri o'tkazgichlardan o'tganda o'tkazgichning har bir metr uzunligiga $2 \cdot 10^{-7}$ N kuch ta'sir qiladi.

Termodinamik temperatura, Kelvin (K).

Suvning uchlanma nuqtasini xarakterlovchi termodinamik temperaturaning 1/273,16 ulushi 1 kelvin deb qabul qilingan.

Modda miqdori, mol(mol).

Uglerod -12 atomining 0,012 kg massasidagi atomlar soniga teng strukturaviy element (masalan, atom, molekula yoki boshqa zarra)lardan tashkil topgan sistemadagi moddaning miqdori 1 mol deb qabul qilingan.

Yorug'lik kuchi, kandela (kd).

$540 \cdot 10^{12}$ Gs chastotali monoxromatik nurlanish chiqarayotgan manba yorug'ligining energetik kuchi $1/683 \cdot \text{Vt/sr}$ ga teng bo'lgan yo'nalishdagi yorug'lik kuchi 1 **kandela** deb qabul qilingan.

Qo'shimcha birliklar

Yassi burchak, radian (rad).

Aylanma uzunligi radiusga teng bo'lgan yoyni ajratadigan ikki radius orasidagi burchak **1 radian** deb qabul qilingan.

Fazoviy burchak, steradian (sr).

Uchi sfera markazida joylashgan va shu sfera sirtidan radius kvadratiga teng yuzli sirtini ajratuvchi fazoviy burchak **1 steradian** deb qabul qilingan.

Hosilaviy birliklar

Tezlik, metr taqsim sekund (m/s).

1m/s tezlik bilan to'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotgan moddiy nuqta **1s davomida 1m masofaga ko'chadi.**

Tezlanish, metr ,taqsim sekund kvadrat (m/s²)

1m/s² tezlanish bilan to'g'ri chiziqli tekis o'zgaruvchan harakat qilayotgan moddiy nuqtaning tezlanishi **1s da 1m/s² ga o'zgaradi.**

Impuls, kilogramm - metr taqsim sekund (kg.m/s). 1kg.m/s -1m/s tezlik bilan harakatlanayotgan 1kg massali jismning impuls

Kuch, Nyuton (N).

1N- massasi 1kg bo'lgan jismga ta'sir qilib, unga ta'sir yo'nalishida 1m/s² tezlanishni beradigan kuch.

Kuch impuls, Nyuton sekund (N.S).

1N.s-1s davomida ta'sir etuvchi 1N kuchning impuls.

1. MEXANIKANING FIZIK ASOSLARI

Mexanika - fizika bo'limi bo'lib, materiya harakatining eng sodda va eng umumiy shakllarini o'rganar ekan, u jismlarning yoki jismlar qismlarining fazoda bir-biriga nisbatan siljishini ifodalovchi mexanik harakat haqidagi ta'limotdir.

Mexanikani fan sifatida rivojlanishi eramizdan oldingi III asrlarga borib taqaladi. O'sha davridayoq qadimgi yunon olimi Arximed (287-212 eramizdan oldingi yillar) richagning muvozanatlik qonunini shakllantirishi uning mexanika fanini rivojlanishiga dastlabki qo'shilgan hissasi deb qarash mumkin. Mexanikaning asosiy qonunlarini Italiya olimi Galiley (1564-1642) aniqlagan bo'lsa, ingliz olimi Nyuton (1643-1727) bu qonunlarni uzil-kesil ta'riflab berdi va fundamental qonun sifatida shakllantirdi.

Galiley va Nyuton mexanikasi **klassik mexanika** deb yuritiladi va yorug'lik tezligiga qaraganda ancha kichik tezliklarda harakat qilayotgan makroskopik jismlar harakat qonunini o'rganadi.

Yorug'lik tezligiga yaqin tezliklarda harakat qilayotgan makroskopik jismlar harakat qonunlarini A.Enshteyn (1879-1955) kashf etgan **nisbiylik nazariyasi o'rganadi**. Mikroskopik jismlar (alohida atomlar va elementar zarrachalar) harakat qonunlariga kelsak, ularni klassik mexanika tushuntira olmaydi. Ularni **kvant mexanika** o'rganadi.

Mexanika quyidagi uch bo'limni o'z ichiga oladi: kinematika, dinamika va statika.

Kinematika - jismlar harakatini uni vujudga keltirgan sabablarga qarab emas, balki ularni harakat davomida qoldirgan izlariga (trayektoriyasiga) qarab o'rganadi.

Dinamika jismlarning harakat qonunlarini uni vujudga keltirgan sabablarga qarab, ya'ni kuch ta'sirida jismlar harakatini o'rganadi.

Statika jismlar sistemasining muvozanatlik qonunlarini o'rganadi. Agar jismlar harakat qonunlari ma'lum bo'lsa, ulardan muvozanatlik qonunlarini ham aniqlash mumkin.

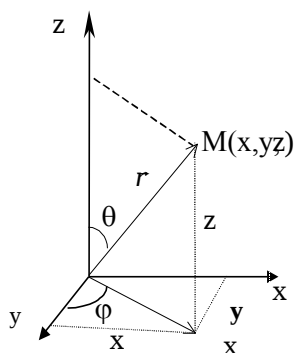
1 - BOB. KINEMATIKA ASOSLARI

1.1- §. Sanoq sistemasi. Moddiy nuqta kinematikasi

Mexanik harakatda bir jismning vaziyati boshqa jismlarga nisbatan o'zgaradi. Mexanik harakatning eng sodda ko'rinishi sifatida moddiy nuqta harakatini ko'raylik. Ko'rilayotgan masalalarda shakli va o'lchamlarini hisobga olinmaydigan jism **moddiy nuqta** deb ataladi. Moddiy nuqta tushunchasi abstrakt tushuncha bo'lib, tabiatdagi real jismlarni ideallashtirish natijasida vujudga keladi va uni kiritilishi tekshirilayotgan aniq masalalarni yechishni yengillashtiradi.

Masalan: Yerning va boshqa planetalarning Quyosh atrofida harakatlarini o'rganayotganimizda Yer, planetalar va Quyoshni moddiy nuqtalar deb hisoblash mumkin.

Jismlar harakati **fazo** va **vaqtda** amalga oshadi. Fazo abadiy mavjud, cheksiz katta, qo'zg'almas materiya ko'rinishida tasvirlanadi. Fazoning xossalari vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi. Vaqt fazoning istalgan nuqtasida birday o'tadi deb hisoblanadi, ya'ni o'z-o'zicha, tekis va biror boshqa borliqqa bog'liq bo'lmagan holda o'tadi deb qaraladi. Har qanday fizik hodisa yoki jarayon fazoning qayerdadir va qachondir sodir bo'ladi. Mexanika nuqtai nazarida harakat jismlarning fazodagi vaziyatini vaqt o'tishi bilan o'zgarishidan iboratdir. Moddiy nuqtaning fazodagi holatini biror ixtiyoriy tanlab olingan sanoq sistemasiga nisbatan qaraladi.



1.1 – rasmi

Fazoda moddiy nuqta holatini to'g'ri burchakli **uch o'lchovli Dekart x, y, z- koordinatalar sistemasini** yordamida aniqlash mumkin (1.1 – rasmi). Bu holda M moddiy nuqtani vaqtning istalgan paytidagi vaziyati x, y, z koordinatalar bilan yoki koordinata boshidan M nuqtaga o'tkazilgan radius vektor $\vec{r}$ - orqali, ya'ni **sferik koordinatalar** bilan aniqlanadi. Radius vektorning moduli r - kesma bilan, yo'nalishi esa θ va φ burchaklar yordamida ifodalanadi. Bu ikkala koordinatalar sistemasini moddiy nuqta vaziyatini koordinatalar va radius - vektor orqali ifodalashga ekvivalentdir. Shuning uchun ham sferik koordinatalardan Dekart koordinatalarga va aksincha o'tishlarni amalga oshirish mumkin.

1) sferik koordinatalar r, θ, φ lardan Dekart koordinatalar x, y, z larga o'tish quyidagicha amalga oshiriladi:

$$\begin{aligned} x &= r \sin \theta \cos \varphi \\ y &= r \sin \theta \sin \varphi, \\ z &= r \cos \theta \end{aligned} \quad (1.1)$$

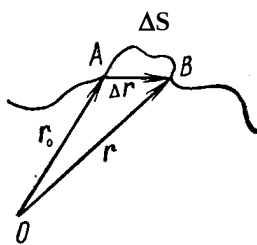
2) x, y, z lardan r, θ, φ larga o'tish uchun quyidagi ifodalardan foydalanish kerak:

$$\left. \begin{aligned} r &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \cos \theta &= \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \\ \tan \varphi &= \frac{y}{x} \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

Harakatlanayotgan moddiy nuqta qoldirgan izi **trayektoriya** deb ataladi.

Agar trayektoriya to'g'ri chiziqdan iborat bo'lsa, **harakat to'g'ri chiziqli**, trayektoriya egri chiziqdan iborat bo'lsa, **harakat egri chiziqli deb ataladi**.

Ixtiyoriy trayektoriya bo'ylab harakatlanayotgan moddiy nuqtani kuzataylik. Kuzatishni moddiy nuqta A nuqtadagi holatidan boshlaymiz.



1.2 – rasmi.

Biror Δt vaqtdan keyin moddiy nuqta V nuqtaga kelib qolsin, u ΔS yo'lini o'tadi (1.2-rasm). Moddiy nuqtaning boshlang'ich (A) va oxirgi (V) vaziyatlarini ifodalovchi r va r_0 radius vektorlar ayirmasi

$$\vec{r} - \vec{r}_0 = \Delta \vec{r} \quad (1.3)$$

vektor moddiy nuqta **ko'chishini** xarakterlaydi. Moddiy nuqta ko'chishining shu ko'chishni o'tilgandagi vaqt oralig'iga nisbati harakatning o'rtacha tezligi $v_{o'r}$ deyiladi.

$$\vec{v}_{yp} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \quad (1.4)$$

Vaqt oralig'ini cheksiz kichraytira borsak, ya'ni $\Delta t \rightarrow 0$ deb olsak, (1.4) ifoda intilgan limitni moddiy nuqtaning oniy tezligi yoki haqiqiy tezligi deb ataladi.

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (1.5)$$

To'g'ri chiziqli harakatda $|\Delta \vec{r}|$ ko'chish va bosib o'tilgan yo'l ΔS bir xildir, u holda:

$$v = |\vec{v}| = \frac{|d\vec{r}|}{dt} = \frac{ds}{dt} \quad (1.6)$$

Shunday qilib, **moddiy nuqtaning tezligi vektor kattalik bo'lib, u radius vektoridan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosila tarzida, moduli esa yo'ldan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosila tarzida ham aniqlanishi mumkin.**

Moddiy nuqtaning harakat tezligi vaqt o'tishi bilan o'zgarmasa, uning harakati **tekis harakat** deyiladi; aks holda harakat **o'zgaruvchan harakat** deyiladi. O'zgaruvchan harakatda tezlik o'zgarishini xarakterlash uchun **tezlanish** deb ataluvchi fizik kattalik kiritiladi. Moddiy nuqtaning tezligi Δt vaqtda $\Delta v = v_2 - v_1$ ga o'zgarsa, uning tezlanishi

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\vec{r}}{dt} \right) = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} \quad (1.7)$$

ifoda bilan aniqlanadi. Demak, **tezlanish - moddiy nuqta tezligining vaqt birligi davomida o'zgarishini xarakterlaydigan vektor kattalik bo'lib, u tezlik vektoridan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosila yoki radius vektoridan vaqt bo'yicha olingan ikkinchi tartibli hosila tarzida ifodalanadi.**

1.2 - §. Moddiy nuqtaning to'g'ri chiziqli harakati

To'g'ri chiziqli harakatda trayektoriya to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi. Moddiy nuqtaning to'g'ri chiziqli harakatini

1) **to'g'ri chiziqli tekis harakat;**

2) **to'g'ri chiziqli o'zgaruvchan harakat** ko'rinishlarida ko'rib chiqaylik.

O'zgarmas tezlik bilan bo'layotgan harakat ($v = \text{const}$) **tekis harakat** deb ataladi. **Moddiy nuqtaning to'g'ri chiziq bo'ylab har qanday teng vaqtlar oraliqlaridan bir xilda ko'chishiga to'g'ri chiziqli tekis harakat deb ataladi.**

$$\vec{v} = \frac{\vec{S}}{t} \quad (1.8)$$

Moddiy nuqta harakati to'g'ri chiziqli bo'lgani uchun koordinatalar o'qini mana shu to'g'ri chiziq bo'ylab yo'naltirish kerak. Bu o'qni X bilan belgilaylik. Moddiy nuqta tezligining vektori ham ko'chish vektori ham mana shu o'q bo'ylab yo'naladi, $\vec{S}$ va $\vec{v} \cdot t$ vektorlar teng bo'lgani sababli ularning x o'qidagi proyeksiyalari ham teng bo'ladi, ya'ni

$$S_x = v_x \cdot t \quad (1.9)$$

S_x va v_x o'rniga S va v deb yozish mumkin. U holda to'g'ri chiziqli **tekis harakat tenglamasi** hosil bo'ladi:

$$S = v \cdot t \quad (1.10)$$

S o'rniga 1 m ni, t o'rniga 1 s qo'ysak tezlikning birligini hosil qilamiz:

$$v = \frac{S}{t} = 1\text{ m/s}$$

To'g'ri chiziqli tekis harakatda tezlik grafigi absissa o'qiga parallel chiziqlardan iborat bo'ladi. To'g'ri chiziqli tekis harakatda, yo'l grafigi esa koordinatlar boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi.

O'zgarmas tezlanish bilan bo'layotgan harakat ($a = \text{const}$) tekis o'zgaruvchan ($a > 0$) bo'lsa, tekis tezlanuvchan va $a < 0$ bo'lsa, tekis sekinlanuvchan) harakat deyiladi. Bu vaqtda oniy tezlanish istalgan vaqt oralig'idagi o'rtacha tezlanishga teng bo'ladi

$$a = a_{yp} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t},$$

$$v = v_0 + at, \quad (1.11)$$

bu yerda v_0 - harakatning boshlang'ich tezligi, v - vaqtning t paytidagi tezligi.

Tekis o'zgaruvchan harakatda tezlik v_0 qiymatdan v qiymatgacha tekis o'zgarsa, bunday harakatning o'rtacha tezligi boshlang'ich va oxirgi tezliklarning o'rtacha arifmetik qiymatiga teng bo'ladi:

$$v_{ort} = \frac{v + v_0}{2} \quad \text{bunda} \quad S = \frac{v_0 + v}{2} t$$

(1.11) formuladan v ning ifodasini qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$S = \frac{v_0 + v_0 + at}{2} t$$

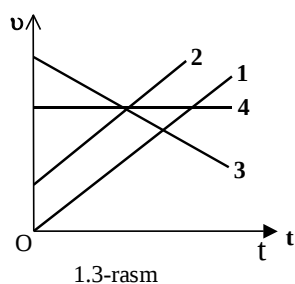
yoki

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad (1.12)$$

Bu ifoda **tekis o'zgaruvchan harakat tenglamasidir**.

(1.11) va (1.12) tenglamalarni birgalikda yechib va ulardan t ni chiqarib tashlab yo'l, tezlik va tezlanishni bog'lovchi munosabatni hosil qilamiz:

$$v^2 - v_0^2 = 2aS, \quad (1.13)$$



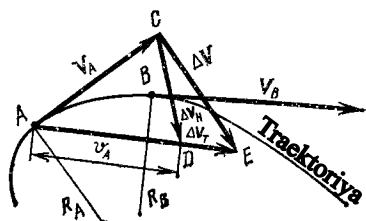
1.3-rasm

Bu formulalardan foydalanib tekis o'zgaruvchan harakatning tezlik va yo'l grafiklarini chizish mumkin (1.3-rasm). Tezlik grafigini chizish uchun absissa o'qiga vaqtning, ordinata o'qiga esa tezlikning qiymatini qo'yamiz. Agar $v_0 = 0$ bo'lsa, (1.3 - rasm, 1-to'g'ri chiziq) u holda tezlik grafigi koordinata boshidan o'tgan to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi. $v_0 \neq 0$ bo'lganda esa tezlik grafigi ordinata o'qida v_0 ga teng kesmadan boshlanadi. 1.3 - rasmdagi 1,2-to'g'ri chiziqlar $a > 0$; 3 - to'g'ri chiziq tekis ($a < 0$) sekinlanuvchan harakatni, 4-to'g'ri chiziq esa ($v = \text{const}$) to'g'ri chiziqli tekis harakatni ifodalaydi ($a = 0$).

Tekis o'zgaruvchan harakatning yo'l grafigi esa yarim parabola shaklida bo'ladi, chunki $y^2 = 2px$ parabola tenglamasidir. Agar $y^2 = ax$ ($a = 4,5,6$) qiymatlarni olganda tenglama grafigini chizadigan bo'lsak, u holda xuddi biz $s = \frac{at^2}{2}$ tenglama yordamida hosil qilgan grafikka o'xshash grafik hosil qiladi.

1.3-§. Moddiy nuqtaning egri chiziqli harakati. Tangensial va normal tezlanishlar

Trayektoriyasi egri chiziqdan iborat bo'lgan harakat **egri chiziqli harakat** deyiladi. Bunga misol qilib, yer yuzidagi barcha transport vositalarini, mashina va mexanizm qismlarini, oqar suvni, atmosferadagi havo zarralarini, kosmik fazodagi barcha planetalar va sun'iy yo'ldoshlarning harakatini olish mumkin. Egri chiziqli harakat to'g'ri chiziqli harakatga nisbatan murakkabroqdir.



1.4 – rasm.

Egri chiziqli harakatda vaqt o'tishi bilan tezlik vektorining faqat yo'nalishigina emas, balki miqdori ham o'zgarishi mumkin. Kuzatish boshlanganda egri chiziqli harakat qilayotgan moddiy nuqta trayektoriyaning A nuqtasidan o'tayotgan bo'lsin (1.4-rasm). Biror kichik Δt vaqt ichida kichik ΔS yoyni bosib V nuqtaga keladi. A va V nuqtalardagi tezliklarni mos ravishda $\vec{v}_A$ va $\vec{v}_B$ deb belgilaylik. Tezlik o'zgarishini aniqlash uchun $\vec{v}_B$ tezlik vektorini o'z-o'ziga parallel holda A nuqtaga ko'chiraylik, u holda $\vec{v}_A$ vektor uchini ko'chirilgan $\vec{v}_B$ vektor uchi bilan tutashtiruvchi vektor ($\Delta \vec{v} = \vec{v}_B - \vec{v}_A$) izlanayotgan tezlik o'zgarishini ifodalaydi. $\Delta \vec{v}$ tezlik o'zgarishini ikki tezlik vektorlarining yig'indisi shaklida ham qarash mumkin. Buning uchun AE kesma ustida A dan $\vec{v}_A$ vektor kesmasiga teng kesma ajratib $\vec{v}_B$ yo'nalishida D nuqtani tanlaylik. S va D nuqtalarni birlashtiruvchi vektorni $\Delta \vec{v}_n$ bilan, D va E nuqtalarni birlashtiruvchi vektorni esa $\Delta \vec{v}_t$ bilan belgilaylik. U holda $\Delta \vec{v}$ ni ana shu ikki vektoring yig'indisidan iborat deb hisoblash mumkin.

$$\Delta \vec{v} = \Delta \vec{v}_n + \Delta \vec{v}_t \quad (1.14)$$

Egri chiziqli harakatda moddiy nuqta tezlanishi

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}_n}{\Delta t} + \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}_t}{\Delta t} \quad (1.15)$$

yozish mumkin. (1.15) ifodadagi yig'indining birinchi limitini markazga **intilma tezlanish** yoki **normal tezlanish** deb ataladi.

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}_n}{\Delta t} \quad (1.16)$$

Geometrik mulohazalar asosida normal tezlanishning moduli tezlik kvadrating trayektoriya ayni sohasining egrilik radiusiga (R) bo'lgan nisbatiga tengligini aniqlash mumkin:

$$a_n = \frac{v^2}{R}. \quad (1.17)$$

(1.15) ifodadagi yig'indining ikkinchi limitini **urinma tezlanish** yoki **tangensial tezlanish** deb ataladi.

$$a_t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \vec{v}_t|}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (1.18)$$

Shunday qilib, egri chiziqli harakat qilayotgan moddiy nuqtaning to'liq tezlanishi normal va urinma tezlanishlarning vektor yig'indisidan iborat.

$$\vec{a}^2 = \vec{a}_n^2 + \vec{a}_t^2, \quad \vec{a} = \sqrt{\vec{a}_n^2 + \vec{a}_t^2}. \quad (1.19)$$

Normal tezlanish tezlikning yo'nalish bo'yicha o'zgarishini, urinma tezlanish esa tezlikning miqdoriy jihatdan o'zgarish jadalligini ifodalaydi.

1.4-§. Moddiy nuqtaning aylana bo'ylab harakati

Egri chiziqli harakatning xususiy holi bo'lgan moddiy nuqtaning **aylana bo'ylab tekis harakatini** ko'raylik. Bu holda tezlanishning urinma tashkil etuvchisi bo'lmaydi ($a_t = 0$) va tezlanish o'zining markazga intilma tezlanishiga teng bo'ladi ($\vec{a} = \vec{a}_n$).

Moddiy nuqtaning aylanma bo'ylab tekis harakatini **burchak tezlik** deb ataluvchi fizik kattalik ω bilan xarakterlash mumkin, bunda burchak tezlik deb R radiusning burilish burchagi $\Delta\varphi$ ning bu burilish bo'lgan vaqt oralig'i Δt ga nisbatini tushunish kerak

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (1.20)$$

Notekis harakat uchun, oniy burchak tezligi tushunchasi kiritiladi

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}$$

Burchak tezlikning o'lchov birligi radian taqsim sekunddir (rad/sekund). $R \cdot \Delta\varphi = \Delta S$ ekanligini e'tiborga olib, chiziqli tezlikni burchak tezlik bilan bog'lovchi munosabatni topamiz:

$$v = \omega R \quad (1.21)$$

Moddiy nuqtaning aylana bo'ylab bir aylanish vaqti **aylanma davri T** va **vaqt birligidagi aylanishlar soni ν** (ayanish chastotasi) ni kiritaylik.

$$T = \frac{1}{\nu} \quad (1.22)$$

T ning o'lchov birligi sekund (s), ν ning o'lchov birligi esa s^{-1} bo'lib, **Gers** deb nomlangan; **Gerc** sekundiga bir marta aylanishdir.

Moddiy nuqta bilan bog'langan aylana radiusi T davr ichida 2π burchakka burilgani uchun (1.20) formulaga muvofiq

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (1.23)$$

(1.21), (1.22), (1.23) formulalardan foydalanib quyidagini hosil qilamiz:

$$v = \frac{2\pi}{T} R = 2\pi \nu R. \quad (1.24)$$

Moddiy nuqtani aylana bo'ylab notekis harakatlanganda chiziqli tezlik bilan birga burchak tezlik ham o'zgaradi. Burchak tezligi o'zgarishi $\Delta\omega$ ning shu o'zgarish bo'lgan vaqt oralig'i Δt ga nisbati o'rtacha burchak tezlanish $\varepsilon_{o'r}$ deb ataladi.

$$\varepsilon_{o'r} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}. \quad (1.25)$$

$\varepsilon_{o'r}$ ning vaqt oralig'i nolga intilgandagi limiti **oniy burchak tezlanishi ε** deyiladi:

$$\varepsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}. \quad (1.26)$$

Demak, burchak tezlanish burchak tezlikdan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosilaga teng ekan, ε ning o'lchov birligi radian taqsim sekund kvadrat (rad/s^2) dir.

Savollar

1. Fizika fanining boshqa fanlar bilan aloqasida fizika fanining tutgan o'rni qanday?

2. Fizika fani rivojlanishida buyuk o'zbek mutafakkir olimlarimizning qo'shgan xissalari nimadan iborat?
3. Materiya deganda nimani tushunasiz?
4. Fizika fanining predmeti nima va uning qanday tadqiqot usullari mavjud?
5. Xalqaro birliklar sistemasida nechta asosiy va qo'shimcha birliklar qabul qilingan?
6. Kinematikada jismlar harakati nimalarga asoslanib o'rganiladi?
7. Inersial va noinersial sanoq sistemalarida jismlar harakati qanday qonuniyat asosida bo'ladi?
8. Moddiy nuqtaning to'g'ri chiziqli tekis, to'g'ri chiziqli tekis o'zgaruvchan va egri chiziqli harakatlarida harakat qonuniyatlari qanday o'zgaradi?

Masalalar.

1-masala. $v_0 = 16 \text{ m/s}$ tezlik bilan ketayotgan poyezd tormozlangandan boshlab to'xtaguncha $S = 128 \text{ m}$ yo'l bosadi. Harakatning a tezlanishi va poyezd to'xtaguncha ketgan t vaqt topilsin.

Berilgan:

$$\begin{array}{l} v_0 = 16 \text{ m/s} \\ S = 128 \text{ m} \\ \hline a \sim? \quad t \sim? \end{array}$$

Yechish. Tekis o'zgaruvchan harakatni ifodalovchi $v_t^2 - v_0^2 = 2aS$ formuladan tezlanish (a) ni topamiz: $a = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2S}$

Masalani shartiga asosan harakatning oxirgi tezligi nolga teng, ya'ni $v_t = 0$ u holda

$$a = -\frac{v_0^2}{2S} = -\frac{16^2}{2 \cdot 128} = -\frac{256}{256} = -1 \text{ m/s}^2$$

(-) minus ishora harakatning tekis sekinlanuvchan ekanligini ko'rsatadi.

Poyezd to'xtaguncha o'tgan vaqt t ni $S = \frac{v_0 \cdot t}{2}$ dan aniqlash mumkin, chunki $v_{o'r} = \frac{v_t + v_0}{2}$

$$t = \frac{2S}{v_0} = \frac{2 \cdot 128}{16} = \frac{256}{16} = 16 \text{ s}$$

Javobi $a = -1 \text{ m/s}^2$, $t = 16 \text{ s}$

2-masala. Tramvay yo'lining burilish qismidan tekis tezlanuvchan harakat qilib $S = 250 \text{ m}$ masofani o'tgandan keyin uning tezligi 36 km/soat ga yetdi. Tramvay harakat qila boshlagandan 40 s o'tgandan keyin uning urinma, markazga intilma va to'la tezlanishini toping. Yo'ning burilish qismining radiusi $R = 200 \text{ m}$.

Berilgan.

$$\begin{array}{l} S = 250 \text{ m} \quad = 250 \text{ m} \\ v = 36 \text{ km/soat} = 36 \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ t = 40 \text{ s} \quad = 40 \text{ s} \\ \hline a \sim? \quad a_N \sim? \quad a_t \sim? \end{array}$$

Yechish. Boshlang'ich tezliksiz tekis tezlanuvchan harakatda, $v^2 - v_0^2 = 2aS$ formulaga muvofiq $v^2 = 2a_t S$ bo'ladi, bu yerda a_t – urinma tezlanish. U holda

$$a_t = \frac{v^2}{2S} = \frac{100}{2 \cdot 250} = 0,2 \text{ m/s}^2$$

$t = 40 \text{ s}$ vaqt o'tgandan keyin tramvay erishadigan tezlik (v_1) $v = v_0 + at$ muvofiq

$$v_1 = a_t t = 0,2 \cdot 40 = 8 \text{ m/s}.$$

U holda $a_{mi} = a_n = \frac{v^2}{R}$ muvofiq markazga intilma yoki normal tezlanish

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{64}{200} = 0,32 m/s^2$$

to'la tezlanish

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{(0,04 + 0,102)^2} = 0,37 m/s^2.$$

3-masala. Tasmali uzatgich asosida ishlaydigan yog'och tilish qurilmasining g'ildiragi $\nu_0 = 180 \text{ ail/min}$ chastotaga mos bo'lga o'zgarmas tezlik bilan aylanayapti. Harakatlantirish tasmasi chiqib ketgan paytdan boshlab g'ildirak tormozlana boshlaydi va $\varepsilon = 3 \text{ rad/s}^2$ burchak tezlanish bilan tekis sekinlanuvchan harakat qiladi. G'ildirak qancha t vaqtdan keyin to'xtaydi, u to'xtaguncha necha n marta aylanadi?

Berilgan: $\nu_0 = 180 \text{ ail/min} = 180 \frac{\text{ail}}{60s} = 3 \frac{\text{ail}}{s}$

$$\frac{\varepsilon = 3 \text{ rad/s}^2}{t \sim? n \sim?}$$

Yechish. Tekis sekinlanuvchan harakatda $\omega = \omega_0 + \varepsilon t$ formulaga muvofiq g'ildirakning burchak tezligi tormozlanish oxirida $\omega = \omega_0 - \varepsilon t$ bo'ladi, bu yerda ω_0 – g'ildirakning boshlang'ich burchak tezligi. Masalaning shartiga ko'ra $\omega = 0$ bo'lgani uchun $\omega_0 = \varepsilon t$. Ammo (1.22) va (1.23) formulalarga muvofiq $\omega_0 = 2\pi\nu_0$. Shuning uchun

$$t = \frac{2\pi\nu_0}{\varepsilon} = \frac{2\pi \cdot 3}{3} = 6,3s$$

Demak, g'ildirakning tormozlanish boshlangandan to'xtaguncha o'tgan burchak yo'li quyidagi ifodaga teng

$$\varphi = \omega_0 t - \frac{\varepsilon t^2}{2} = 2\pi\nu_0 t - \frac{\varepsilon t^2}{2}$$

bu ifodaga t ning qiymatini qo'yib va $\varphi = 2\pi n$ ekanligini e'tiborga olib quyidagini topamiz:

$$2\pi n = \frac{4\pi^2\nu_0^2}{\varepsilon} - \frac{2\pi^2\nu_0^2}{\varepsilon}$$

bundan

$$2\pi n = \frac{2\pi^2\nu_0^2}{\varepsilon} n = \frac{\pi \cdot 9}{3} = 9,4 \text{ marta}.$$

4-masala. Ekvatorda chuqurligi 180m bo'lgan shaxtaga sharcha tashlab yuborildi, bu vaqtda sharcha sharq tomonga qancha og'adi? Havoning qarshiligi hisobga olinmasin. Shu asosda Yerning inersial yoki noinersial sistema ekanligi haqida xulosa chiqarig.

Berilgan: $h = 180m$
 $g = 10 m/s^2$
 $S \sim?$

Yechish. Sharcha inersiyasi bilan sharqqa tomon $S = \Delta v t$ masofaga og'adi, bu yerda Δv Yer sirti va shaxta tubidagi nuqtalar harakati tezliklarining farqi, t sharchaning tushish vaqti.

$$\Delta v = \frac{2\pi R}{T} - \frac{2\pi(R-h)}{T} = \frac{2\pi h}{T}$$

bu yerda R -Yerning ekvatorial radiusi, T -Yerning aylanish davri va h - shaxtaning chuqurligi

$$h = \frac{gt^2}{2} \text{ bo'lgani uchun } t = \frac{\sqrt{2gh}}{g} \text{ va}$$

$$S = \frac{2\pi h \sqrt{2gh}}{Tg} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 180 \cdot \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 180}}{24 \cdot 3600 \cdot 10} \approx 0,08m$$

jismga sharqqa tomon yoʻnalgan kuchlar taʼsir qilmasa ham, uning vertikal yoʻnalishdan sharqqa ogʻishi, Yer noinersial sistema ekanligini koʻrsatadi.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Jism $t_1=15$ s vaqt davomida $v_1=5$ m/s tezlik bilan, $t_2=10$ s davomida $v_2=8$ m/s va $t_3=6$ s davomida $v_3=20$ m/s tezlik bilan harakat qilsa, uning yoʻl davomidagi oʻrtacha tezligi $\langle v \rangle$ aniqlansin.

$$(\langle v \rangle = 8,87 \text{ m/s})$$

2. Avtomobil yoʻlining birinchi yarmini $t_1=2$ soat davomida, ikkinchi yarmini $t_2=3$ soat davomida bosib oʻtdi. Agar yoʻlining uzunligi $S=200$ km boʻlsa, oʻrtacha tezlik $\langle v \rangle$ aniqlansin.

$$(\langle v \rangle = 40 \text{ km/soat} = 11,11 \text{ m/s})$$

3. Avtomobil yoʻlining birinchi yarmini $v_1=80$ km/soat tezlik bilan, ikkinchi yarmini esa $v_2=40$ km/soat tezlik bilan bosib oʻtdi. Oʻrtacha tezlik $\langle v \rangle$ aniqlansin.

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\vec{S}}{t} \quad t = t_1 + t_2 = \frac{S_1}{v_1} + \frac{S_2}{v_2} \text{ shartga ko'ra } S_1 = S_2 = \frac{S}{2},$$

$$\text{demak, } \langle v \rangle = \frac{S}{\frac{S}{2v_1} + \frac{S}{2v_2}} = \frac{2(v_1 \cdot v_2)}{v_1 + v_2} = 53,3 \frac{\text{km}}{\text{soat}} = 14,8 \text{ m/s}$$

$$(\langle v \rangle = 14,8 \text{ m/s})$$

4. Avtomobil oʻz yoʻlining toʻrtadan uch qismini $v_1=60$ km/soat tezlik bilan, yoʻlining qolgan qismini esa $v_2=80$ km/soat tezlik bilan bosib oʻtdi. Avtomobilning shu yoʻldagi oʻrtacha tezligi $\langle v \rangle$ aniqlansin.

$$(\langle v \rangle = 64 \text{ km/soat} = 17,8 \text{ m/s})$$

5. Avtobus yoʻlda $v_1=16$ m/s tezlik bilan harakatlanmoqda. Odam yoʻldan $a=60$ m va avtobusdan $b=400$ m masofada turibdi. Odam yoʻlining biror joyiga avtobus bilan bir vaqtda yoki undan oldin chiqib olishi uchun u qanday yoʻnalishda, qancha masofani oʻtishi kerak? Odam $v_2=4$ m/s tezlik bilan yugura oladi.

$$(\ell = 240 \text{ m uchrashadi})$$

6. Traktor yuki bilan kichik qiyalikdan yuqoriga A punktdan B punktga $v_1=10$ km/soat tezlik bilan, qaytishda esa $v_2=16$ km/soat tezlik bilan harakatlanadi. Traktorning oʻrtacha tezligi $\langle v \rangle$ aniqlansin. Qiyalik kichkina boʻlganligi sababli, gʻildiraklarning qiya tekislikka ishqalanishi hisobga olinmasin.

$$(v = 12,3 \text{ km/soat})$$

7. Koʻndalang kesim yuzi $S=0,02 \text{ m}^2$ boʻlgan neft quvuri orqali $t=1000$ s davomida $V=4 \text{ m}^3$ neft oʻtishi uchun u qanday tezlikda harakatlanishi kerak?

$$(v = 0,2 \text{ m/s})$$

8. Reaktiv samolyotning tezligi $t=15$ s davomida $v_1=360$ km/soat dan $v_2=720$ km/soat gacha ortadi. Samolyotning tezlanishini (a), shu vaqt ichida bosib oʻtgan yoʻlini (S) va oʻrtacha tezligi $\langle v \rangle$ topilsin.

$$(a = 6,7 \text{ m/s}^2; S = 2254 \text{ m}; \langle v \rangle = 150 \text{ m/s})$$

9. Nuqta $\chi = At + Bt^2$ tenglama bo'yicha to'g'ri chiziqli bo'ylab harakatlanmoqda, bunda $A = 6 \text{ m/s}$, $B = -0,125 \text{ m/s}^2$. $t_1 = 2 \text{ s}$ dan $t_2 = 6 \text{ s}$ gacha vaqt oralig'i uchun o'rtacha tezlik $\langle v \rangle$ aniqlansin.

$$(\langle v \rangle = 3 \text{ m/s})$$

10. Moddiy nuqta egri chiziqli bo'ylab o'zgarmas $a_t = 0,5 \text{ m/s}^2$ tangensial tezlanish bilan harakatlanmoqda. Egri chiziqli egrilik radiusi $R = 3 \text{ m}$ bo'lgan qismida nuqta $v = 2 \text{ m/s}$ tezlik bilan harakatlansa, egri chiziqli shu qismida nuqtaning to'la tezlanishi a aniqlansin.

$$(a = 1,42 \text{ m/s}^2)$$

11. Yerning Quyosh atrofida aylanishining chiziqli tezligi v ni toping. Quyoshning massasi $M_k = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ va Yerdan Quyoshgacha bo'lgan masofani $R = 1,5 \cdot 10^8 \text{ km}$ deb oling.

$$(v = 29,8 \cdot 10^3 \text{ m/s})$$

II-BOB. DINAMIKANING ASOSIY QONUNLARI

2.1-§. Nyutonning birinchi qonuni.

Massa va kuch

O'tgan kinematika asoslari bobida moddiy nuqtaning harakatini, bu harakatni vujudga keltirgan sabablarga bog'liq bo'lmagan holda o'rgandik. **Dinamika** bo'limida esa jismlarning harakati qonunlari va bu harakatni keltirib chiqargan yoki o'zgartiradigan fizik sabablar o'rganiladi. Dinamika mexanikaning asosiy bo'limi bo'lib, uning asosida Nyuton qonunlari yotadi.

Nyutonning birinchi qonuni: agar jismga boshqa jismlar ta'sir etmasa, u o'zining tinch holatini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatini saqlaydi.

Tashqi ta'sir bo'lmaganda jismlar o'zlarining tinchlik holatini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatini saqlash qobiliyati **inersiya** deyiladi. Shuning uchun ham Nyutonning birinchi qonuni **inersiya qonuni** deb ham yuritiladi. Inersiya lotincha so'z bo'lib, **“qotib qolganlik”**, **“harakatsizlik”** degan ma'noni bildiradi.

Ammo Nyutonning birinchi qonunini tajriba yo'li bilan tekshirishga tashqi ta'sirlar xalal beradi, masalan, Yerning tortish gravitatsion maydoni, muhitning qarshiligi, atrofdagi harakatlanayotgan jismlar. Nyutonning birinchi qonunida aytilgan tinch va to'g'ri chiziqli tekis harakat qaysi sanoq sistemasiga nisbatan hisoblanishi muhimdir. Nyutonning birinchi qonuni barcha sanoq sistemalarda ham bajarilavermaydi. Lekin shunday sanoq sistemasi mavjudki, unda jism o'zining tinch holatini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatini saqlaydi. Bunday sanoq sistemasini **inersial sanoq** sistemasi deb ataladi. Biror inersial sanoq sistemaga nisbatan to'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotgan ixtiyoriy sanoq sistemasi ham inersial sanoq sistemasi bo'ladi.

Yer sirti bilan bog'liq sanoq sistema, amalda inersial sanoq sistemasi deb hisoblanadi, aslida bu sistema inersial sanoq sistemasi emas, chunki Yer o'z o'qi atrofida aylanadi va Quyosh atrofida egri chiziqli trayektoriya bo'yicha harakatlanadi. Shuning uchun Yer sirtidagi tinch turgan jismlar tezlanish oladi. Lekin ba'zi amaliy hollarda, bu **noinersiallikni** hisobga olmasa ham bo'ladi. Umuman, “inersial sanoq sistemasi” abstrakt tushunchadir. Lekin koordinata boshi Quyoshda, koordinata o'qlari esa uzoqda joylashgan va bir tekislikda yotmagan yulduzlar tomon yo'nalgan sanoq sistemasini inersial sanoq sistemasi, deb hisoblasa bo'ladi.

Inersial sanoq sistemasida mexanikaning hamma qonunlari bajariladi. Inersial sistemasiga nisbatan tezlanishga ega bo'lgan sanoq sistemalarda esa mexanika qonunlari bajarilmaydi.

Tajribalarni ko'rsatishicha, ayni bir xil ta'sir tufayli turli jismlar turlicha tezlanish oladi. Jismning olgan tezlanishining kattaligi faqat ta'sirning kattaligigagina emas, balki shu bilan birga jismning ba'zi xususiy hossasiga ham bog'liq bo'lar ekan. Jismning bu xossasi **massa** deb ataladigan fizik kattalik bilan xarakterlanadi. **Massa jismning inersiya o'lchovidir**. Bir xil ta'sir tufayli jism massasi katta bo'lsa inersiyasi ham katta bo'ladi, jism massasi kichik bo'lsa inersiyasi ham kichik bo'ladi.

Jismning massasini biror ixtiyoriy tanlab olingan etalon jismning massasiga solishtirish bilan aniqlanadi. Xalqaro kelishuvga muvofiq bunday etalon sifatida Parijda saqlanadigan platinairidiy qotishmasidan tayyorlangan silindir olingan, uning massasi kilogramm massa (kg) deyiladi. **Massa m harfi** bilan belgilanadi va **massa birligi 1 kg** deb qabul qilingan. 1sm^3 distillangan suvning 4°C dagi massasi 1 g ga teng.

Kuzatishlarning ko'rsatishicha, jismga ko'rsatilayotgan ta'sir bu jismning tezlanish olishi tarzidagina emas, balki jismning deformatsiyalanishi shaklida ham namoyon bo'lishi mumkin. Masalan, devorga urilgan o'q devorga tezlanish bermasada, lekin devorda chuqurcha hosil qiladi, ya'ni o'q ham, devor ham deformatsiyalanadi va issiqlik miqdorining ajralishi kuzatiladi.

Umuman, jismga beriladigan ta'sirni **kuch** deb ataladigan kattalik bilan ifodalanadi va uning miqdori jism erishadigan tezlanish yoki deformatsiya bilan aniqlanadi. **Kuch F harfi**

bilan belgilanadi va kuch birligi SI sistemasida **Nyuton** deb qabul qilingan bo'lib, dinamometrlarda o'lchanadi.

2.2-§. Nyutonning ikkinchi qonuni

Nyutoning ikkinchi qonuni ilgari tanilgan harakat dinamikasining asosiy qonunini bo'lib, kuch ta'sirida moddiy nuqtaning mexanik harakati qanday o'zgarishini ifodalaydi.

Agar o'zgarmas massali ($m=const$) jismning kuch ta'sirida olgan tezlanishi shu kuchga to'g'ri proporsional bo'lsa:

$$\vec{a} \sim \vec{F} \quad (2.1)$$

Agar bir xil kuch ta'sirida ($F=const$) har xil jismlar turli xil tezlanish olsa, bunda jism massasi qancha katta bo'lsa, ularning inersiyasi ham shuncha katta bo'ladi, tezlanishi esa shuncha kichik bo'ladi:

$$\vec{a} \sim \frac{1}{m} \quad (2.2)$$

(2.1) va (2.2) dan foydalanib, kuch va tezlanishni vektor kattalik ekanligini hisobga olib, quyidagini yozamiz:

$$\vec{a} = k \frac{\vec{F}}{m} \quad (2.3)$$

Bu tenglama Nyutonning **ikkinchi** qonunini ifodalaydi, u quyidagicha ta'riflanadi: **Kuch ta'sirida jism erishgan tezlanish ta'sir etuvchi kuchga to'g'ri, jism massasiga esa teskari proporsionaldir va u kuchning ta'sir tomoniga qarab yo'nalgan.**

(2.3) da k - proporsionallik koeffitsienti bo'lib, $\vec{a}$, $\vec{F}$ va m kattaliklarni qaysi birliklar sistemasida o'lchanganiga bog'liq. SI sistemasida proporsionallik koeffitsienti $k=1$ ga teng. U holda

$$\vec{a} = \vec{F} / m \quad (2.4)$$

Agar jismga bir vaqtning o'zida bir necha kuch ta'sir qilsa, u holda Nyuton ikkinchi qonunini matematik ifodasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin.

$$m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \quad (2.5)$$

Demak, inersial sanoq sistemasida harakatlanayotgan jism tezlanishini uning massasiga ko'paytmasi jismga ta'sir etayotgan hamma kuchlarning vektor yig'indisiga tengdir.

2.3-§. Nyutonning uchinchi qonuni

Nyutoning uchinchi qonuni jismlarning o'zaro ta'sirini xarakterlaydi va quyidagicha ta'riflaydi: **Ta'sir etuvchi va aks ta'sir etuvchi kuchlar miqdor jihatidan teng bo'lib, yo'nalish jihatidan qarama-qarshidir:**

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad (2.6)$$

Bu yerda $\vec{F}_{12}$ -ta'sir etuvchi kuch, $\vec{F}_{21}$ - aks ta'sir etuvchi kuch.

Nyutoning ikkinchi qonuniga asosan quyidagilarni yozish mumkin: birinchi jism $\vec{a}_1 = \frac{\vec{F}_{21}}{m_1}$,

ikkinchi jism esa $\vec{a}_2 = \frac{\vec{F}_{12}}{m_2}$ tezlanish oladi, yuqoridagi ikki tezlanish ifodasidan

$$\vec{a}_1 = -\frac{m_2}{m_1} \vec{a}_2 \quad (2.7)$$

hosil qilamiz. Bu munosabat, o'zaro ta'sirlashuvchi ikki jism o'zlarining massalariga teskari proporsional bo'lgan va qarama-qarshi tomonlarga yo'nalgan tezlanishlar olganini ko'rsatadi. Misol ko'raylik, porox gazining ta'siri natijasida snaryad to'p stovidan o'tilib chiqadi (katta tezlanish bilan) va ta'sir natijasida to'p orqaga (kichik tezlanish bilan) harakat qiladi.

Aylana bo'ylab Oyning Yer atrofidagi harakatida Oy markazga intilma tezlanishga ega bo'ladi. Bu tezlanish markazga intilma kuch tufayli vujudga keladi

$$F_{m.i.} = m \frac{v^2}{R} \quad (2.8)$$

Bu kuch R radiusli aylana bo'ylab harakatlanayotgan **Oyga** qo'yilgan. Nyutonning uchunchi qonuniga asosan markazga intilma kuchga miqdor jihatdan teng, lekin teskari tomonga yo'nalgan markazdan qochma kuch ham bo'lishi kerak. Markazdan qochma kuch esa Yerga qo'yilgan. Demak, kuch o'zining kattaligi va yo'nalishidan tashqari qo'yilish nuqtasi bilan ham xarakterlanar ekan.

Shunday qilib, shuni esda tutish kerakki, jismlarning o'zaro ta'sirida yuzaga keladigan kuchlar boshqa-boshqa jismlarga qo'yilgan bo'ladi va shuning uchun ular bir-birini muvozanatlay olmaydi. Ayni bir jismga qo'yilgan kuchlarga muvozanatlasha oladi.

2.4-§. Impuls va uning saqlanish qonuni

Agar tezlanishi jism tezligining o'zgarishi jadalligiga yoki bo'lmasa, tezlanish tezlikdan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosilaga teng ekanligini hisobga olsak, N'yutonning ikkinchi qonunini ifodalaydigan $\vec{F} = m\vec{a}$ formulani

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (2.9)$$

ko'rinishda ham yozish mumkin. Bu yerda massa o'zgarmas kattalik bo'lgani tufayli uni differensial belgisi ostiga kiritish mumkin.

$$\frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{F} \quad (2.10)$$

Bu tenglamadagi jism massasi va tezligini ko'paytmasi

$$P = m\vec{v} \quad (2.11)$$

jismning **impulsi** yoki **harakat miqdori** deb ataladi. (2.11) dan foydalanib (2.10) ni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F} \quad (2.12)$$

Demak, **jism impulsidan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosila jismga ta'sir etayotgan kuchga teng.**

Agar jismga hech qanday kuch ta'sir etmasa (2.12) ifoda

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = 0$$

ko'rinishga keladi Impulsning hosilasi nolga teng bo'lsa, uni o'zi o'zgarmas miqdorga teng bo'ladi, ya'ni

$$\vec{P} = \text{const} \quad (2.13)$$

Bu ifoda impulsining saqlanish qonunini xarakterlaydi: **kuch ta'sir etmaguncha moddiy nuqtaning impulsi o'zgarmaydi.**

(2.12) ifodani quyidagi ko'rinishda qayta yozamiz:

$$d\vec{P} = \vec{F} \cdot dt \quad (2.14)$$

Bu tenglikdagi $\vec{F} \cdot dt$ kattalikni elementar **kuch impuls**i deyiladi. (2.14) dan ko'rinadiki, moddiy nuqta impulsining o'zgarishi kuch impulsiga teng ekan.

Endi izolyatsiyalangan berk sistemalarda impuls saqlanish qonuni o'rinli bo'lishini ko'rsataylik. Tashqi muhit bilan ta'sirlashmaydigan sistema **berk sistema** deyiladi.

Jismlarga tashqaridan berilgan ta'sirlarni mos holda F_1, F_2, F_3 ga ichki kuchlarini esa f_1, f_2, f_3 ga teng deb hisoblaylik, uchala jism uchun dinamika tenglamasini mos holda quyidagicha yozaylik:

$$\frac{d}{dt} P_1 = f_1 + f_2 + F_1,$$

$$\frac{d}{dt} P_2 = f_2 + f_3 + F_2,$$

$$\frac{d}{dt} P_3 = f_3 + f_1 + F_3.$$

Bu ifodalarni hadma-had qo'shib va ichki kuchlarning yig'indisi nolga teng ekanligidan quyidagi tenglik kelib chiqadi:

$$\frac{d}{dt} (P_1 + P_2 + P_3) = F_1 + F_2 + F_3$$

umumiy holda:

$$\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^n P_i = \sum_{i=1}^n F_i \quad (2.15)$$

Demak, moddiy nuqtalar sistemasining impulsidan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosila shu sistema moddiy nuqtalariga ta'sir etuvchi barcha tashqi kuchlarni vektor yig'indisiga teng. (2.15) formulaga asosan tashqi kuchlar nolga teng $\left(\sum_{i=1}^n F_i = 0 \right)$ deb hisoblasak

$$\frac{dP_c}{dt} = 0 \quad (2.16)$$

bundan

$$P_c = const \quad (2.17)$$

hosil bo'ladi. Bu ifoda **moddiy nuqtalar sistemasining impulsining saqlanish qonunidir**. Demak, **berk sistemalarda impuls o'zgarmas ekan**, ichki kuchlar sistema impulsini o'zgartira olmaydi. Masalan, raketaning harakati impuls saqlanish qonuniga asoslangan.

2.5-§. Moddiy nuqtalar sistemasining massa markazi harakati

2.4-§ da impulsni saqlanish qonunini o'rganganimizda moddiy nuqtalar sistemasini iborasini ishlatdik. Endi moddiy nuqtalar sistemasini bilan yaqinroq tanishaylik n -ta o'zaro ta'sirlashuvchi moddiy nuqtalar to'plami, moddiy nuqtalar sistemasini yoki mexanik sistema deb ataladi. Moddiy nuqtalar sistemasining harakatini bir butun sistema harakati deb tushunish uchun sistemani xarakterlovchi bir necha tushunchalar kiritaylik:

1) moddiy nuqtalar sistemasining **massasi** (m_c) shu sistemaga kiruvchi barcha **moddiy nuqtalar massalarining yig'indisiga teng**, ya'ni:

$$m_c = \sum_{i=1}^n m_i \quad (2.18)$$

2) **moddiy nuqtalar sistemasining massa markazi** deganda fazoning shunday nuqtasi olinadiki, ushbu nuqtaning vaziyati koordinata boshiga nisbatan

$$r_{mm} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i r_i}{m_c} \quad (2.19)$$

radius-vektor bilan aniqlanadi.

3) **massa markazining tezligi** (v_{mm}). Moddiy nuqtalar sistemasi massa markazining radius-vektoridan birinchi tartibli hosila olsak, **massa markazining tezligi** (v_{mm}) **ni topamiz**, ya'ni

$$v_{mm} = \frac{dr_{mm}}{dt} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \frac{dr_i}{dt}}{m_c} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i v_i}{m_c}$$

$m_i v_i = R_i$ impulsiga teng ekanligini hisobga olsak, massa markazining tezligi

$$v_{mm} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{m_c} = \frac{P_c}{m_c} \quad (2.20)$$

bundagi

$$P_c = \sum_{i=1}^n P_i \quad (2.21)$$

sistemani tashkil etuvchi moddiy nuqtalar impulslarining vektor yig'indisidir. (2.20) ni

$$P_c = m_c v_{mm} \quad (2.22)$$

ko'rinishida yozaylik. Demak, sistema massasi bilan sistema massa markazi tezligining ko'paytmasi **moddiy nuqtalar sistemasining impulsi** deb ataladi.

4) sistemani tashkil etuvchi moddiy nuqtalar orasidagi ta'sir etuvchi kuchlarni **ichki kuchlar** deb ataladi. Moddiy nuqtalar sistemasi barcha ichki kuchlarining to'liq yig'indisi nolga teng.

Sistemaga taalluqli bo'lmagan jismlar tomonidan sistemadagi jismlarga ta'sir etuvchi kuchlarni **tashqi kuchlar** deb ataladi. Tashqi kuchlar ta'sir etmaydigan moddiy nuqtalar sistemasi **berk sistema** deb ataladi.

$$F_1 + F_2 + \dots + F_n = 0 \quad (2.23)$$

(2.15) va (2.21) tenglamalardan foydalanib:

$$m_c \frac{dv_{mm}}{dt} = F_1 + F_2 + \dots + F_n \quad (2.24)$$

deb yozish mumkin. (2.24) ifodadan ko'rinadiki, sistemaning massa markazi moddiy nuqtadek harakat qilari ekan. Aslida, bu yerda sistemaning hamma massalari mujassamlashgan va sistemaga ta'sir etuvchi kuch, hamma tashqi kuchlarning geometrik yig'indisiga tengdir. (2.24) tenglama esa **massa markazining harakat qonunini ifodalaydi**.

2.6-§. Massasi o'zgaruvchi jismning harakat tenglamasi

Ba'zi jismlarning harakati, ularning massalari o'zgarib borishi bilan amalga oshadi, masalan, raketalarni massalari yoqilg'ilar yonib gazlar chiqib ketishi hisobiga kamayib boradi. Agar sistema o'z massasining bir qismini biror yo'nalish bo'ylab kamaytirib borsa, u holda u qarama - qarsha yo'nalishda impuls (harakat miqdori) oladi. Bu raketa texnikasi asosida yotuvchi reaktiv harakat prinsipining fizik mohiyatini ifodalaydi.

Raketa harakati misolida massasi o'zgarayotgan jism harakat tenglamasini chiqaraylik. Agar t vaqt momentida raketa massasi m , uning tezligi v bo'lsa, u holda dt vaqt o'tishi bilan uning massasi $m-dm$ ga, tezligi esa $v+dv$ bo'lib qoladi. Impulsning o'zgarishi

$$dP = (m - dm) \cdot (v + dv) + (v + dv - u)dm - mv$$

yoki

$$dP = mdv - udm \quad (2.25)$$

bu yerda u - raketadan chiqayotgan gazlar tezligi.

Agar sistemaga tashqi kuch ta'sir qilayotgan bo'lsa,

$$dP = Fdt$$

bo'ladi.

Buni (2.25) ga qo'ysak

$$F \cdot dt = mdv - udm$$

yoki

$$m \frac{dv}{dt} = F + u \frac{dm}{dt} \quad (2.26)$$

(2.26) dagi $u \frac{dm}{dt}$ ifoda **qo'shimcha kuch** bo'lib, uni **reaktiv kuch** (F_r) deb ataladi. Shunday qilib, biz massasi o'zgarayotgan jism harakat tenglamasini hosil qildik, buni birinchi bo'lib I.V.Meo'erskiy (1859-1935) tomonidan keltirib chiqarilgan.

$$ma = F + F_r \quad (2.27)$$

Reaktiv kuchlarni uchuvchi apparatlarga qo'llash fikrini 1881 yili N.I.Kibalchich (1854-1881) tomonidan aytilgan, ammo kosmonavtikaning asoschisi K.E.Siolkovskiy (1857-1935) hisoblanadi. U 1903 yildayoq o'z maqolasida raketa harakatining nazariyasini asosladi.

(2.26) tenglamani hech qanday tashqi kuch ta'sir qilmayotgan ($F=0$) raketa harakatiga tadbiq qilaylik

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

$$\text{Undan} \quad v = -u \int \frac{dm}{m} = -u \ln m + C$$

integral doimiysi S ning qiymatini boshlang'ich shartlardan topamiz. Agar boshlang'ich holatda raketa tezligi nolga teng bo'lsa, massasi m_0 teng deb olamiz. U holda $C = u \ln m_0$. Shunday qilib,

$$v = u \ln(m_0 / m) \quad (2.28)$$

Bu formulani Siolkovskiy formulasi deb yuritiladi. Bu shuni ko'rsatadiki: a) agar foydali yuk qancha katta bo'lsa, raketaning boshlang'ich massasi ham shuncha katta bo'lishi kerak; b) agar gazning chiqish tezligi qancha katta bo'lsa, raketa massasidan foydali yuk ham shuncha katta bo'lishi mumkin.

Savollar

1. Nyutonning birinchi qonunini nima uchun inersiya qonuni deb yuritiladi?
2. Agar jismga bir vaqtini o'zida bir necha kuch ta'sir qilayotgan bo'lsa, u holda Nyuton ikkinchi qonunining matematik ifodasi qanday ko'rinishda bo'ladi?
3. Nyuton uchinchi qonunida kuch nega o'zining kattaligi va yo'nalishidan tashqari qo'yilish nuqtasi bilan xarakterlanadi?
4. Moddiy nuqta va moddiy nuqtalar sistemasining impulsi va impulsning saqlanish qonuni ta'riflang va matematik ifodasini yozing?
5. Moddiy nuqtalar sistemasining massa markazi deganda fazoning qanday nuqtasi olinadi?
6. Massasi o'zgaruvchi jismning harakat tenglamasi qanday ifodalanadi?

Masalalar

5-masala. Jismga $t=10s$ davomida $F=50N$ o'zgarmasi kuch ta'sir qilayapti. Agar bu vaqt ichida jism harakatining tezligi $v_1 = 25m/s$ dan $v_2 = 20m/s$ gacha o'zgargan bo'lsa, jismning massasi m ni toping.

Berilgan: $v_1 = 25m/s$, $v_2 = 20m/s$
 $t=10s$, $F=50N$
 $m \sim ?$

Yechish. Impulsning o'zgarish qonuni (2.14) dan foydalanib $Ft = m(v_1 - v_2)$ bundan

$$m = \frac{Ft}{v_1 - v_2} = \frac{50 \cdot 10}{25 - 20} = \frac{500}{5} = 100kg$$

6-masala. Raketaning reaktiv dvigateli yonish mahsulotlarini yonib bo'lgandan keyin otib tashqariga chiqaradi. Otib chiqarayotgan chiqindi mahsulotning massasi $m=0,4 kg$, otilib chiqish tezligi $v=1km/s$ bo'lib, dvigatelda sekundiga 20 marta ($v=20s^{-1}$) otib chiqarish yuz bersa, $t=5s$ ning oxirida raketa qanday v_n tezlikka erishadi? Raketaning boshlang'ich massasi $M=300kg$ ga, boshlang'ich tezligi esa nolga teng. Havoning qarshiligi hisobga olinmasin.

Berilgan: $m=0,4 kg = 0,4 kg$, $v=1km/s = 1000m/s$, $v = 20s^{-1} = 20$
 $1/s$, $t=5s = 5s$

$$\underline{M = 300kg = 300kg}$$

$v_n \sim ?$

Yechish. Raketadan otib chiqarilgan gazining birinchi ulushining tezligi v_1 , ikkinchi, uchinchi va hokazo n -ulushi tezliklarini mos ravishda v_1, v_2 va v_n bilan belgilaymiz. Harakat boshlanguncha impulsning yig'indisi nolga teng bo'lgani uchun impuls saqlanish qonuniga asosan, birinchi ulush gaz chiqqandan keyin:

$$(M - m)v_1 - mv = 0, \text{ bundan } (1) v_1 = \frac{mv}{M - m};$$

ikkinchi ulush gaz chiqqandan keyingi tezlik:

$$(M - m)v_1 = (M - 2m)v_2 - mv \text{ bundan } (1) \text{ ga asosan}$$

$$v_2 = \frac{2mv}{M - 2m} \quad (2)$$

Bunda $(M - m)v_1$ - ikkinchi ulush gaz chiqqunga qadar raketaning impuls.

Uchinchi ulush gaz chiqqunga qadar raketaning $(M - 2m)v_2$ impuls quydagiga teng bo'ladi:

$$(M - 2m)v_2 = (M - 3m)v_3 - mv \text{ bundan } (2) \text{ ga asosan } v_3 = \frac{3mv}{M - 3m} \text{ (3) shunday qilib (1), (2), (3)}$$

tenglamalarni inobatga olib v_n uchun quyidagini yozamiz

$$v_n = \frac{nmv}{M - nm}$$

$n = vt$ bo'lgani uchun $t=5s$ oxiridagi raketa tezligi:

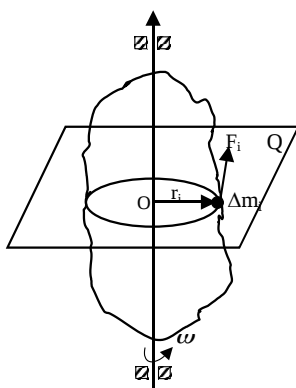
$$v_5 = \frac{vtm}{M - mvt} = \frac{0,4 \cdot 20 \cdot 5 \cdot 10^3}{300 - 0,4 \cdot 20 \cdot 5} = \frac{4 \cdot 10^4}{260} = 153,4m/s.$$

III -BOB. QATTIQ JISM MEXANIKASI

3.1-§. Kuch momenti va impuls momenti

Bir-biriga nisbatan siljima ydigan moddiy nuqtalar to'plami **qattiq jism** deb yuritiladi. Tashqi kuch ta'sirida deformatsiyalanmaydigan jism **absolyut qattiq jism** deyiladi. Ixtiyoriy shakldagi qattiq jism qo'zg'almas OZ o'q atrofida F kuch ta'sirida aylanayotgan bo'lsin. Uning

zarralari markazi OZ o'qda yotgan aylanalar chizadi. Jismni kuch qo'yilgan nuqta chizgan aylanaga urinma bo'lgan F kuch aylantiradi. F kuchning ta'siri faqat uning kattaligiga bog'liq bo'lmay, u qo'yilgan A nuqtadan aylanish o'qigacha bo'lgan masofa $\vec{r}$ ga ham bog'liqdir. **$\vec{F}$ aylantiruvchi kuchning kuch qo'yilgan nuqtadan aylanish o'qigacha bo'lgan masofa - $\vec{r}$ -radius - vektorga ko'paytmasi aylantiruvchi kuchning momenti deb ataladi** va M harfi bilan belgilanadi:



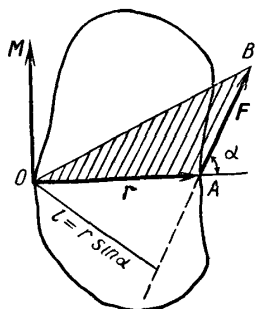
3.1. - rasm

$$\vec{M} = \vec{F} \cdot \vec{r} \quad (3.1)$$

M ning moduli

$$M = Fr \sin \alpha = Fl \quad (3.2)$$

ifoda yordamida aniqlanadi. 3.2-rasmda, O nuqtadan tushirilgan perpendikulyarning uzunligi $l = r \sin \alpha$ bo'ladi va uni F uchning O nuqtaga nisbatan **yelkasi** deb ataladi. α - F bilan r orasidagi burchak. M ning moduli OAV uchburchak (rasmda shtrixlangan) yuzaning ikkilanganiga teng. M vektorining yo'nalishini o'ng vint qoidasi asosida aniqlanadi. O nuqtaga joylashgan o'ng vintni $\vec{r}$ dan $\vec{F}$ ga tomon burganimizda vint ilgarilanma harakatining yo'nalishi M ning yo'nalishini ko'rsatadi.



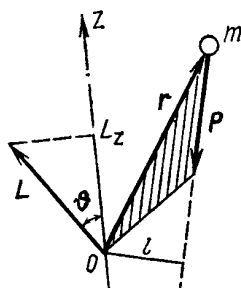
3.2 - rasm.

$$\vec{L} = [\vec{r} \cdot \vec{p}].$$

L vektorining asosida topiladi. O yo'nalishiga burilganda yo'nalishini ko'rsatadi

$$L = r p |\sin(\vec{r}\vec{p})| = lp$$

deb yozish mumkin.



3.3 - rasm.

Jismning harakat tezligi $\vec{v}$, impulsi $\vec{p}$ va uning fazodagi o'rini ifodalovchi radius - vektor $\vec{r}$ bo'lsin (3.3-rasm). Moddiy nuqtaning berilgan O nuqtaga nisbatan impuls momenti deganda, radius-vektorni impuls vektoriga vektor ko'paytmasi tushuniladi:

$$(3.3)$$

yo'nalishini, M ga o'xshab o'ng vint qoidasi nuqtaga joylashtirilgan o'ng vint $\vec{r}$ dan R vintning ilgarilanma harakati $\vec{L}$ ning $\vec{L}$ ning modulini

$$(3.4)$$

3.2-§. Qattiq jismning aylanish o'qiga nisbatan inersiya momenti. Shteyner teoremasi

Qattiq jismning aylanma harakatini o'rganishda inersiya momenti tushunchasidan foydalanamiz. Qattiq jism i -elementar bo'lakchasining massasi (Δm_i) bilan aylanish o'qidan O nuqtagacha bo'lgan masofa (r_i) kvadratining ko'paytmasi

$$I_{Zi} = \Delta m_i r_i^2 \quad (3.5)$$

ni i - elementar bo'lakchanning OZ o'qqa nisbatan **inersiya momenti** deb ataladi (3.1-rasm). n -ta elementar bo'lakchalardan tashkil topgan sistemaning inersiya momenti elementar inersiya momentlarining yig'indisiga teng, ya'ni

$$I_Z = \sum_{i=1}^n \Delta m_i r_i^2 \quad (3.6)$$

SI da inersiya momenti $kg \cdot m^2$ (kilogramm-metr kvadrat) larda o'lchanadi. Qattiq jism uchun (3.6) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$I = \int_V r^2 dm \quad (3.7)$$

Integral qattiq jism egallagan butun hajm bo'yicha olinadi. Jismning berilgan nuqtadagi zichligi $\rho = const$, ya'ni jism bir jinsli bo'lsa,

$$I = \rho \int_V r^2 dV \quad (3.8)$$

hosil bo'ladi.

(3.8) ifoda har qanday qattiq jismning istalgan o'qqa nisbatan inersiya momentini aniqlash imkoniyatini beradi. Misol tariqasida ba'zi jismlarning inersiya momentlarini aniqlashni ko'raylik.

1. Devori juda yupqa trubaning halqa markazidan o'tgan o'qqa nisbatan inersiya momenti

$$I = mR^2$$

2. Devorlari qalin trubaning markazidan o'tgan o'qqa nisbatan inersiya momenti

$$I = \frac{1}{2} m(R_1^2 + R_2^2)$$

Trubaning R_1 va R_2 ichki va tashqi devorlarining radiuslari.

3. Butun silindr (disk) ning markazidan o'tgan o'qqa nisbatan inersiya momenti

$$I = \frac{1}{2} mR^2$$

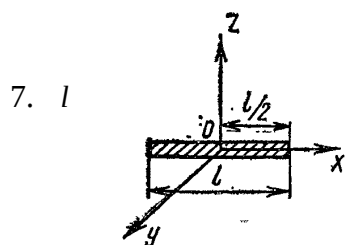
4. Butun sharning massalar markazidan o'tuvchi o'qqa nisbatan inersiya momenti

$$I = \frac{2}{5} mR^2$$

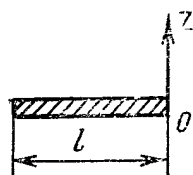
5. Sferaning massalar markazidan o'tuvchi o'qqa nisbatan inersiya momenti

$$I = \frac{2}{3} mR^2$$

6. l - uzunlikdagi ingichka sterjenning uzunligiga tik va massalar markazidan o'tuvchi OZ o'qqa nisbatan inersiya momenti (3.4-rasm).



3.4 - rasm.



3.5 - rasm.

$$I = \frac{1}{12} ml^2$$

uzunlikdagi ingichka sterjenning uzunligiga tik va uning bir uchidan o'tuvchi OZ o'qqa nisbatan inersiya momenti (3.5-rasm).

$$I = \frac{1}{3} ml^2$$

Agar berilgan jismning massalar markazidan o'tuvchi o'qqa nisbatan inersiya momenti aniqlangan bo'lsa, bu o'qqa parallel istalgan o'qqa nisbatan inersiya momenti aniqlash uchun Shteyner teoremasidan foydalanamiz. U quyidagicha ta'riflanadi: **berilgan jismning istalgan o'qqa nisbatan inersiya momenti, I shu o'qqa parallel va S - jism massalar markazidan o'tuvchi o'qqa nisbatan inersiya momenti I_c bilan jism massasining o'qlar orasidagi masofa kvadratiga ko'paytmasining yig'indisiga teng:**

$$I = I_c + ma^2 \quad (3.9)$$

3.3-§. Aylanma harakat qilayotgan qattiq jismning kinetik energiyasi

3.1-rasmga qarasak OZ o'q atrofida aylanayotgan qattiq jismning biror i-bo'lakchasining kinetik energiyasi

$$\Delta W_{ki} = \frac{\Delta m_i v_i^2}{2} \quad (3.10)$$

tenglama bilan ifodalanishini bilamiz. Bu yerda Δm_i va v_i - mos ravishda i -bo'lakchanning massasi va chiziqli tezligidir. Chiziqli tezlik bilan burchakli tezlik o'rtasidagi bog'lanishni eslasak ($v_i = \omega r_i$) va buni (3.10) ga qo'ysak

$$\Delta W_{ki} = \frac{\Delta m_i r_i^2}{2} \omega^2 \quad (3.11)$$

hosil qilamiz.

Qattiq jism kinetik energiyasi uni tashkil etuvchi hamma bo'lakchalar kinetik energiyalarining yig'indisidan iborat

$$W_k = \sum \Delta W_{ki} = \frac{1}{2} \omega^2 \sum \Delta m_i r_i^2 \quad (3.12)$$

(3.6) ga asosan $\sum \Delta m_i r_i^2 = I_z$ jismning aylanish o'qiga nisbatan inersiya momenti ekanligini e'tiborga olsak,

$$W_k = \frac{I_z \omega^2}{2} \quad (3.13)$$

ifoda hosil bo'ladi.

Demak, qo'zg'almas o'q atrofida aylanayotgan qattiq jismning **kinetik energiyasi shu jismning aylanish o'qiga nisbatan inersiya momentining burchak tezlik kvadratiga ko'paytmasining yarmiga teng.**

Agar jism qo'zg'aluvchan o'qqa nisbatan aylanma harakat qilsa, ya'ni ham aylanma, ham ilgarilanma harakat qilsa, uning kinetik energiyasi aylanma va ilgarilanma harakat kinetik energiyasining yig'indisi orqali aniqlanadi.

$$W_k = \frac{I_z \omega^2}{2} + \frac{m v_m^2}{2} \quad (3.14)$$

bunda v_m - massa markazi ilgarilanma harakatning tezligi.

3.4-§. Aylanma harakat dinamikasining asosiy qonuni

3.1-rasmdagi aylanayotgan qattiq jismning tekshirilayotgan elementar bo'lakchasi impulsining OZ o'qqa nisbatan momenti (L_{zi}) (3.4) munosabatga asoslanib hisoblanadi.

$$L_{zi} = P_i r_i = \Delta m_i r_i \omega r_i = \Delta m_i r_i^2 \omega \quad (3.15)$$

Bu ifodani qattiq jismning barcha elementar bo'lakchalari uchun qo'llab, so'ng ularning yig'indisini olsak, jism impulsining OZ o'qqa nisbatan momentini hosil qilamiz:

$$L_z = \sum_{i=1}^n L_{zi} = \omega \sum_{i=1}^n \Delta m_i r_i^2. \quad (3.16)$$

Bunda ω sonst bo'lganligi uchun yig'indi belgisidan tashqariga chiqarib yozdik. (3.16) bilan (3.6) ifodani birlashtirib

$$L_z = I_z \omega \quad (3.17)$$

ni hosil qilamiz.

Shunday qilib, **qattiq jism impulsining qo'zg'almas aylanish o'qiga nisbatan momenti jismning shu aylanish o'qqa nisbatan inersiya momenti bilan burchak tezlik ko'paytmasiga teng ekan.**

Ikkinchi tomondan $L_{zi} = [r_i P_i]$ ekanligini eslab, unda vaqt bo'yicha differensiallash amalini bajarsak:

$$\frac{dL_z}{dt} = \frac{d}{dt} [r_i P_i] \quad (3.18)$$

$r = \text{const}$ bo'lganda $\frac{dP_i}{dt} = F_i$ ga teng deb olib ularni (3.18) ga qo'yamiz va yig'indiga o'tib quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{dL_z}{dt} = \sum_{i=1}^n [r_i F_i] = \sum_{i=1}^n M_{z_i} \quad (3.19)$$

(3.17) va (3.19) ifodalarni solishtirsak

$$\frac{d}{dt}(I_z \omega) = M_z \quad \text{yoki} \quad M = I_z \varepsilon \quad (3.20)$$

Bu yerda $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$ teng bo'lib, burchak tezlanishdir.

(3.20) ***munosabat qattiq jismning qo'zg'almas o'q atrofidagi aylanma harakatning asosiy tenglamasi deb yuritiladi. U quyidagicha ta'riflanadi: Ixtiyoriy qo'zg'almas aylanish o'qiga nisbatan jism inersiya momenti bilan burchak tezlanishning ko'paytmasi jismga ta'sir etayotgan kuchlarning shu o'qqa nisbatan momentlarining algebratik yig'indisiga teng.***

3.5-§. Impuls momenti va uning saqlanish qonuni

Aylanma harakat qonunlarini ilgarilanma harakat qonunlari bilan solishtirsak, ilgarilanma harakatdagi massa- m o'rnida aylanma harakatda I - inersiya momenti, kuch o'rnida, kuch momenti, kattaligi rol o'ynaydi.

m -massali moddiy nuqta r radiusli aylana bo'ylab v chiziqli tezlikka erishsa impuls momenti

$$L = mvr = pr \quad (3.21)$$

ga teng bo'ladi.

(3.21) tenglamadagi chiziqli tezlikni $v = \omega r$ ifoda bilan almashtirsak:

$$L = m\omega r \cdot r = mr^2 \omega$$

Bu ifodadagi $I = mr^2$ harakatlanayotgan moddiy nuqtaning inersiya momenti ekanligini eslasak, moddiy nuqtaning impuls momenti uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$L = I\omega \quad \text{yoki} \quad \vec{L} = I\vec{\omega}, \quad (3.22)$$

bu yerda L yo'nalishi bilan ω ni yo'nalishi mos keladi.

Endi impuls momentining o'zgarish tezligi nimaga bog'liqligini aniqlaylik. Buning uchun inersiya momentini ($I = \text{const}$) o'zgarmas deb (3.22) tenglamadan vaqt bo'yicha hosil olamiz:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = I \frac{d\vec{\omega}}{dt} = I\vec{\varepsilon} \quad (3.23)$$

Bu tenglamani aylanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasi (3.20) bilan taqqoslab,

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M} \quad (3.24)$$

munosabatni hosil qilamiz. ***Demak, moddiy nuqtaning impuls momentining o'zgarish tezligi unga ta'sir qiluvchi kuch momentiga teng ekan.***

Agar kuch momenti ($\vec{M} = 0$) nolga teng bo'lsa,

$$\frac{dL}{dt} = 0 \quad (3.25)$$

hosil qilamiz. Bu ifoda

$$L = \text{const} \quad \text{yoki} \quad I\omega = \text{const} \quad (3.26)$$

bo'lgandagina bajariladi. Bu (3.25) ifoda moddiy nuqtalar sistemasi uchun, impuls momentining saqlanish qonunini xarakterlaydi: **moddiy nuqtalar berk sistemasi impulsining ixtiyoriy nuqtaga nisbatan momenti o'zgarmaydi.**

Savollar

1. Qattiq jismlarning kuch momenti va impuls momenti qanday qonuniyat asosida bog'langan?
2. Qattiq jismning aylanish o'qiga nisbatan inersiya momenti va Shteyner teoremlarini tenglamalarini yozib, ta'riflarni bayon qiling.
3. Ba'zi jismlarni inersiya momentlarini aniqlashda jismlarni shakli va o'lchamlarining ta'siri qanday hisobga olinadi?
4. Agar jism qo'zg'aluvchan o'qqa nisbatan aylanma harakat qilsa, uning kinetik energiyasi qanday ifodalanadi?
5. Impuls momenti va uning saqlanish qonunlari qanday ifodalar bilan xarakterlanadi?

Masalalar

7-masala. Elektromotorning g'ildiragi tormozlangandan keyin tekis sekinlanuvchan harakat qilib, $t=1$ min. keyin davomida o'zining aylanish chastotasini $\nu_0 = 300 \text{ aйл/min}$ dan $\nu = 180 \text{ aйл/min}$ gacha kamaytirdi. G'ildirakning inersiya momenti $J = 2 \text{ kgm}^2$ a) g'ildirakning burchak tezlanishi ε ni; b) tormozlovchi momenti M ni v) tormozlash ishi A ni toping?

Berilgan: $t = 1 \text{ minut} = 60 \text{ s}$
 $\nu_0 = 300 \text{ aйл/min} = 300 \text{ ayl/60s} = 5 \text{ ayl/s}$
 $\nu = 180 \text{ aйл/min} = 180 \text{ ayl/60s} = 3 \text{ ayl/s}$
 $J = 2 \text{ kgm}^2$
 $\varepsilon \sim ? \quad M \sim ? \quad A \sim ?$

Yechish. a) g'ildirakning burchak tezlanishini uning burchak tezligi o'zgarishning shu o'zgarish sodir bo'lgan vaqt oralig'iga nisbati sifatida topamiz

$$\varepsilon = \frac{\omega_0 - \omega}{t} = \frac{2\pi(\nu_0 - \nu)}{t} = \frac{2\pi(5 - 3)}{60} = 0,21 \text{ rad/s}^2$$

b) aylanma harakat dinamikasining asosiy qonuni (3.20) dan, kuchning tormozlovchi momenti $M = J\varepsilon = 2 \cdot 0,21 = 0,42 \text{ J}$

v) g'ildirak tormozlanganda uning aylanish kinetik energiyasi tormozlovchi kuchlariga qarshi ish bajarishga sarf bo'ladi. Shuning uchun (3.13) dan foydalanib:

$$A = \frac{J\omega_0^2}{2} - \frac{J\omega^2}{2} = \frac{J}{2} 4\pi^2(\nu_0^2 - \nu^2) = 2 \cdot 2\pi^2 \cdot 16 = 640 \text{ J}.$$

8-masala. Radiusi $R=1,5\text{m}$ va massasi $m_1=180\text{kg}$ bo'lgan disk tik o'q atrofida inersiya bo'yicha $\nu=10 \text{ min}^{-1}$ chastota bilan aylanmoqda. Disk markazida $m_2=60\text{kg}$ massali odam turibdi. Odam diskning chetiga o'tsa unda odamni bino poliga nisbatan chiziqli tezligi qanday bo'ladi?

Berilgan: $R=1,5\text{m} = 1,5\text{m}$
 $m_1=180\text{kg} = 180\text{kg}$
 $\nu=10 \text{ min}^{-1}$
 $m_2=60\text{kg} = 60\text{kg}$
 $\nu \sim ?$

Yechish. Impuls momentining saqlanish qonuniga asosan:

$$(J_1 + J_2)\omega = (J_1 + J_2^1)\omega^1 \quad (1)$$

bunda J_1 – diskning inersiya momenti; J_2 – disk markazida turgan odamning inersiya momenti; ω – markazida odam bo'lgan diskning burchak tezligi, J_2^1 – diskning chekkasida turgan odamning inersiya momenti; ω^1 – odam chekkasida turgan paytdagi diskning burchak tezligi.

Disk chekkasida turgan odamning chiziqli tezligi burchak tezlik bilan quyidagicha munosabat orqali bog'langan

$$v = \omega^1 R \quad (2)$$

(1) tenglamadan ω^1 ni aniqlab va olingan ifodani (2) formulaga qo'yib quyidagini olamiz

$$v = \frac{(J_1 + J_2)\omega R}{J_1 + J_2^1} \quad (3)$$

Diskning inersiya momenti $J_1 = \frac{1}{2} m_1 R^2$. Odamning inersiya momentini esa moddiy nuqtanikidek hisoblaymiz. Shuning uchun

$$J_2 = 0 \quad J_2^1 = M_2 R^2$$

Odam chetiga o'tgan diskning burchak tezligi $\omega = 2\pi\nu$ (3) formuladagi J_1, J_2, J_2^1 va ω kattaliklarni almashtirib, quyidagini olamiz

$$v = \frac{\frac{1}{2} m_1 R^2}{\frac{1}{2} m_1 R^2 + m_2 R^2} \cdot 2\pi\nu R = \frac{m_1}{m_1 + 2m_2} \cdot 2\pi\nu R$$

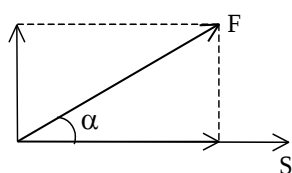
m_1, m_2, ν, R va π larning qiymatlarini o'rniga qo'yib, odamning chiziqli tezligini topamiz

$$v = \frac{180}{180 + 120} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{10}{60} \cdot 1,5 = 0,942 \text{ m/s}.$$

IV - BOB. ISH, QUVVAT, ENERGIYA

4.1-§. Ish va quvvat

Agar jism o'zgarmas F kuch ta'sirida to'g'ri chiziqli harakat qilib biror S -masofani bosib o'tsa, bu jarayonda kuchning siljitish ta'sirini xarakterlash uchun ish tushunchasi kiritiladi. Jismning to'g'ri chiziqli harakatida o'zgarmas kuchni bajargan ishi **kuch bilan yo'l ko'paytmasiga proporsional bo'ladi**. Agar kuch bilan jism harakat yo'nalishi orasida α burchak hosil bo'lsa ish (4.1-rasm)



4.1-rasm

$$A = F \cdot S \cos \alpha \quad (4.1)$$

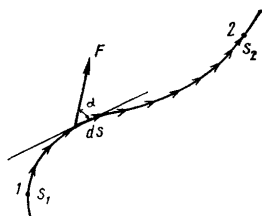
formula bilan aniqlanadi. $\alpha < \frac{\pi}{2}$ bo'lsa ish musbat, $\alpha > \frac{\pi}{2}$

bo'lganda ish manfiy, $\alpha = \frac{\pi}{2}$ bo'lganda $A=0$ bo'ladi, ya'ni kuch berilgan yo'lga jismning siljishi

bo'yicha hech qanday ish bajarmaydi. Ishqalanish kuchi ko'chish yo'nalishiga teskari tomonga yo'nalgan va u manfiy ish bajaradi. $\cos \alpha = 0$, ya'ni ta'sir etuvchi kuch siljishga perpendikulyar bo'lganda kuch mexanik ish bajarmaydi. Biroq biror og'irlikdagi yukni ko'tarib turish, aqliy mehnat qilish (masala yechish, mutolaa qilish, fikr yuritish) da ham mexanik ish bajarilmaydi, oddiy ish bajariladi.

Agar skolyar ko'paytma tushunchasidan foydalansak (4.1) ni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$A = \vec{F} \cdot \vec{S} \quad (4.2)$$



4.2 – rasm.

Demak, mexanik ish kuch vektori va ko'chish vektorining skolyar ko'paytmasiga teng.

SI da ish birligi sifatida Joul (J) qabul qilingan: **1 Joul - 1 Nyuton kuch ta'sirida jismni 1 metr masofaga ko'chirishda bajarilgan ishning miqdoridir.**

Eng umumiy hol uchun ishni aniqlaylik. Jism o'zgaruvchan kuch ta'sirida egri chiziqli harakat qilib S_1 nuqtadan S_2 nuqtaga o'tsin (4.2-rasm). Bu holda yo'lni xayolan cheksiz kichik elementar dS bo'lakchalarga ajratamiz. Ajratgan elementar yo'lda, kuchni o'zgarmas deb olib, ko'chishni esa to'g'ri chiziqdan iborat deb olamiz. Bu vaqtda elementar bajarilgan ish

$$dA = F dS \cos \alpha \quad (4.3)$$

S_1 S_2 yo'lda bajarilgan to'la ish

$$A = \int_{S_1}^{S_2} F dS \cos \alpha \quad (4.4)$$

Bu integralni yechish uchun grafik usulidan foydalanamiz. Abssissa o'qi bo'ylab S ning qiymatlarini, ordinata o'qi bo'ylab F_s ning qiymatlarini joylashtiramiz va $F_s = f(S)$ funktsiya grafigini chizamiz (4.3-rasm). Jismning dS elementar ko'chish uchun bajargan elementar ishning miqdori

$$dA = F_s dS = F dS \cos \alpha \quad (4.3)$$

rasmidagi ikki marta shtrixlangan yuzachaning qiymatiga teng. Jismni S_1 va S_2 nuqtalar orasida ko'chirishda bajarilgan ish esa rasmida $S_1 S_2$ bilan chegaralangan va chap tomondan qiyalatib shtrixlangan yuzaga teng.

Bajarilgan ishning bajarilish tezligini xarakterlash uchun quvvat tushunchasi kiritiladi. Demak, vaqt birligida bajarilgan ish bilan o'lanadigan kattalik **quvvat** deb ataladi, ya'ni

$$N = \frac{dA}{dt} \quad (4.5)$$

(4.5) ga dA ning (4.3) formuladagi qiymatini qo'ysak

$$N = F \frac{dS}{dt} \cos \alpha$$

yoki

$$N = F \cdot v \cos \alpha = \vec{F} \cdot \vec{v} \quad (4.6)$$

ni hosil qilamiz.

Demak, quvvat ta'sir etuvchi $\vec{F}$ kuch vektorining shu kuch ta'sirida jism olgan $\vec{v}$ tezlik vektoriga skolyar ko'paytmasiga teng

ekan.

SI da quvvat birligi sifatida Vatt (Vt) qabul qilingan: **1 Vatt- 1 sekund davomida 1 Joul ish bajaradigan mashinaning quvvatidir.**

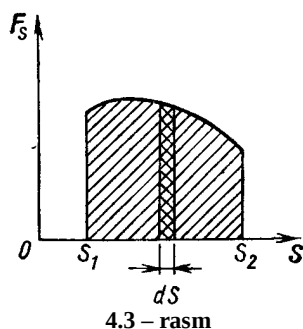
$$1 \text{ Vt} = 1 \text{ J} / 1 \text{ s.}$$

4.2-§. Energiya. Energiyaning saqlanish qonuni

a) **Energiya - materiyaning barcha turdagi harakati va ularning barcha turdagi o'zaro ta'sirlashishlarining miqdoriy o'lchovidir.** b) **energiya-jismning yoki jismlar sistemasining ish bajara olish qobiliyatini xarakterlovchi fizik kattalikdir.** Energiya ma'lum sharoitlarda sistema bajarishi mumkin bo'lgan ish miqdori bilan o'lanadi.

Energiyaning eng sodda shakllaridan biri **mexanik energiya**, ya'ni **kinetik** va **potensial** energiyalardir. Qisqacha qilib kinetik energiyani - **harakat energiyasi**, **potensial** energiyani esa - **holat energiyasi** deb atash mumkin.

Kinetik energiya. Jism v tezlik bilan harkatlanayotgan bo'lsin. Uning kinetik energiyasi harakatlanayotgan jism to'xtaguncha bajargan ishlarining yig'indisidan iborat bo'ladi. Agar ish musbat bo'lsa, ($A > 0$) jismning kinetik energiyasi ortadi, aksincha $A < 0$ bo'lsa, jismning kinetik energiyasi kamayadi. Agar jism F kuch ta'sirida dS masofani bosib o'tsa, ishqalanish kuchi



manfiy ish bajaradi, u holda ishni uning kinetik energiyasining kamayishiga tenglashtirish mumkin:

$$dA = -dW_k,$$

yoki

$$dA = F dS = -madS = -m \frac{dv}{dt} dS = -m \frac{dv}{dt} v \cdot dt = -mv dv. \quad (4.7)$$

Bunda minus ishora harakat tormozlanish tufayli tezlanish manfiy ekanligini ko'rsatadi. To'la bajarilgan ishni hisoblash uchun oxirgi tenglikni v_1 dan v_2 integrallaymiz. Bu ish o'z navbatida kinetik energiyaga teng bo'ladi.

$$W_k = -A = \int_{v_1}^{v_2} mv dv = m \int_{v_1}^{v_2} v dv = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

yoki

$$W_k = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \quad (4.8)$$

Demak, jism kinetik energiyasining o'zgarishi uning tezligini v_1 dan v_2 ga o'zgarishi uchun jismga ta'sir etadigan kuch bajarishi lozim bo'lgan ishga teng. Oxirgi ifodadan umumiy holda $W_k = mv^2/2$ yozish mumkin. **Demak, massa bilan tezlik kvadrati ko'paytmasining yarimiga teng bo'lgan kattalik jismning kinetik energiyasi deb ataladi.**

Potensial energiya. Potensial energiya jism yoki jism qismlarini holatlarining bir-biriga nisbatan o'zgarishi natijasida bajarilgan ishdur.

Masalan, Yer sathidan h balandlikda turgan jismga $P=mg$ og'irlik kuch ta'sir etadi. Agar jismni h balandlikdan tashlab yuborilsa, u og'irlik kuchi ta'sirida Yerga tushadi. Yer sirti yaqinida jism v tezlikka erishadi va og'irlik kuchining h balandlikni o'tishdagi bajargan ishi evaziga $W_k = mv^2/2$ kinetik energiyaga ega bo'ladi.

U holda quyidagini yozishimiz mumkin:

$$A = Ph = mgh = mv^2/2 \quad (4.9)$$

Bu ish esa o'z navbatida jismning Yer sirtidan h balandlikka ko'tarilgandagi potensial energiyasiga teng.

$$W = mgh \quad (4.10)$$

Demak, Yer sirtidan h balandlikka ko'tarilgan jismning potensial energiyasi jism og'irligi (mg) va balandlik (h) ning ko'paytmasiga teng ekan.

Endi elastik deformatsiyalangan jismning potensial energiyasini topaylik. Elastiklik kuchi Guk qonuniga asosan deformatsiyaga proporsional bo'ladi.

$$\vec{F}_{el} = -k\vec{x}$$

bunda k - elastiklik koeffitsienti bo'lib, prujining bikrligi deb yuritiladi, x - siljishidir, formuladagi manfiy ishora elastiklik kuchining yo'nalishi siljish yo'nalishiga qarama-qarshi ekanligini ifodalaydi.

Kichik deformatsiyalarda (dx) F_{el} kuchining elementar ishi

$$dA = F_{el} dx = -kx dx,$$

to'la ish

$$A = -\int_x^0 kx dx = \frac{1}{2} kx^2. \quad (4.11)$$

Shunday qilib, elastik deformatsiya natijasida yuzaga kelgan potensial energiya prujina tarkibidagi zarrachalarning bir-biridan uzoqlashishi yoki bir-biriga yaqinlashishi va shunga mos ular orasida o'zaro tortishish yoki itarishish kuchlarining hosil bo'lishi oqibatidir.

To'la mexanik energiya va uning saqlanish qonuni. Ko'p hollarda jism bir vaqtning o'zida ham kinetik energiyaga, ham potensial energiyaga ega bo'ladi. **Kinetik va potensial energiyalarning yig'indisi to'la mexanik energiya deb ataladi.** Masalan, Yer sirtidagi h balandlikda Yerga nisbatan v tezlik bilan harakatlanayotgan jism

$$W = \frac{mv^2}{2} + mgh \quad (4.12)$$

to'la energiyaga ega bo'ladi.

Agar moddiy nuqtaga faqat konservativ (bajarilgan ish yo'lni shakliga bog'liq bo'lmaydi) kuchlar ta'sir etsa, bu kuchlarning elementar dr ko'chishida bajargan ishni moddiy nuqta potensial energiyasining kamayishiga teng, ya'ni

$$dA = -dW_p.$$

Ikkinchi tomondan moddiy nuqtaning bu ko'chishda bajargan ishi uning kinetik energiyasining ortishiga teng, ya'ni

$$dA = -dW_k.$$

Bu ikki ifodani taqqoslash tufayli

$$dW_k = -dW_p \quad \text{yoki} \quad d(W_k + W_p) = 0 \quad (4.13)$$

hosil qilamiz.

Oxirgi ifodadagi $(W_k + W_p)$ moddiy nuqta kinetik va potensial energiyalarining yig'indisidir, ya'ni to'la mexanik energiyasiga teng. Undan

$$W_T = W_k + W_p = \text{const} \quad (4.14)$$

hosil bo'ladi.

$$W = \frac{mv^2}{2} + mgh = \text{const} \quad (4.15)$$

Bu mexanik energiyaning saqlanish qonunining matematik ifodasidir. Bu qonun quyidagicha ta'riflanadi: **faqat konservativ kuchlar ta'sir etayotgan jismlar yopiq sistemasining to'la mexanik energiyasi o'zgarmaydi.**

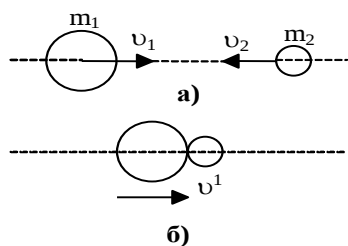
SI sistemada energiya ish birligida, ya'ni Joulida o'lchanadi.

4.3-§. Absolyut elastik va noelastik urilishlar

Jismlarning o‘zaro urilishida ularning sirtlari bevosita bir-biriga tegadi va deformatsiya yuz beradi. Bunda jismlarning urilishdan oldingi kinetik energiyasi qisman yoki to‘la ravishda elastik deformatsiya potensial energiyasiga va jismlarning ichki energiyasiga aylanadi. Ichki energiyani ortishi o‘z navbatida jismning haroratini ortishiga sabab bo‘ladi.

Urilishlarning ikki xil turi mavjud bo‘lib, bular - absolyut elastik va absolyut noelastik urilishlaridir.

Avval **absolyut noelastik urilishni** qarab chiqaylik. **Plastilin, loy, qo‘rg‘oshin** va boshqa



4.4-rasm

shular kabi moddalarning urilishi absolyut noelastik urilishga yaqin bo‘ladi. Absolyut noelastik urilish shu bilan harakaterlanadi, bunda deformatsiya potensial energiyasi vujudga kelmaydi; jismlarning kinetik energiyasi batamom yoki qisman ichki energiyaga aylanadi, urilishdan so‘ng to‘qnashgan sharlar yo bir xil tezlik bilan harakatlanadi, yo tinch holatda qoladi. Bu to‘qnashuvda faqat impulsning saqlanish qonuni bajariladi xolos. Massalari m_1 va m_2 bo‘lgan sharlar v_1 va v_2 tezliklar bilan harakatlanib absolyut noelastik to‘qnashsin. Impuls saqlanish qonuniga binoan sharlarning urilishdan keyingi impulsi ularning urilishdan oldingi impulsiga teng bo‘lishi kerak, ya’ni $m_1 v_1 +$

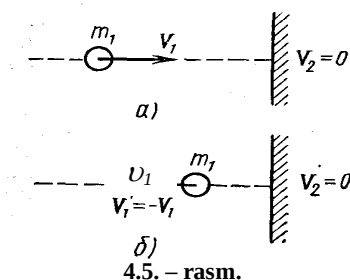
$$m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v'.$$

Bundan

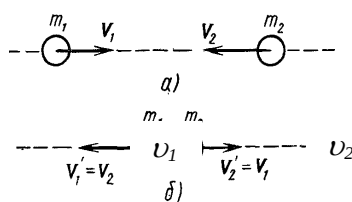
$$v' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} \quad (4.16)$$

v_1 va v_2 vektorlar bir to‘g‘ri chiziq bo‘ylab yo‘nalganligi uchun v' vektorining yo‘nalishi ham shu to‘g‘ri chiziq yo‘nalishida bo‘ladi. 4.4 - rasmdagi hol uchun qaysi bir sharining impulsi katta bo‘lsa, urilishdan

$$v' = -v.$$



4.5. – rasm.



4.6 – rasm.

so'ng ikkala sharning birgalikdagi harakatining yo'nalishi o'sha v' vektor yo'nalishida bo'ladi, ya'ni impulsi katta sharning yo'nalishida bo'ladi. Bu holda sharlarning urilishidan oldingi impulslari teng bo'lsa, urilishdan so'ng harakat to'xtaydi, ya'ni $v' = 0$ bo'ladi.

Endi **absolyut elastik urilishni** ko'rib chiqaylik. **Po'lat, fil suyagi va boshqa moddalardan iborat jismlarning urilishi absolyut elastik urilishga** ancha yaqin bo'ladi. Bunday urilishda impulsning saqlanish qonuni bilan mexanik energiyaning saqlanish qonuni bajariladi.

Massalari m_1 va m_2 , urilishga qadar tezliklari v_1 va v_2 , urilishdan keyingi tezliklari v_1' va v_2' bilan belgilangan sharlarni olamiz. Impuls va energiyaning saqlanish qonunlarini yozaylik:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \quad (4.17)$$

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2} \quad (4.18)$$

(4.17) va (4.18) ni birgalikda yechib

$$v_1' = \frac{2m_2 v_2 + (m_1 - m_2)v_1}{m_1 + m_2}; \quad v_2' = \frac{2m_1 v_1 + (m_2 - m_1)v_2}{m_1 + m_2} \quad (4.19)$$

ifodalarni hosil qilamiz.

Ba'zi xususiy xollarni ko'rib chiqaylik.

1. Sharchalarning massalari har xil bo'lib, ulardan ikkinchisi tinch holatda bo'lsin ($v_2 = 0$). U holda (4.19) tenglik yordamida urilishdan keyingi tezliklarni aniqlaylik:

$$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1; \quad v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1. \quad (4.20)$$

(4.20) dan ko'rinadiki, sharlarning to'qnashishidan keyingi tezliklari ular massalarining nisbatiga bog'liq bo'lar ekan.

Agar $m_2 \gg m_1$ shart bajarilsa, (4.20) ga asosan:

$$v_1' = -v_1, \quad v_2' = 0 \quad (4.21)$$

bo'ladi. Bunday hol elastik shar devoriga urilganda amalga oshishi mumkin (4.5 - rasm). Devorga urilgan absolyut elastik shar tezligining qiymati o'zgarmaydi, yo'nalishi esa qarama-qarshi tomonga o'zgaradi. Bu toifadagi urilishlar ideal gaz molekularining idish devoriga elastik urilishini va orqasiga qaytishini eslatadi.

2. Urilishda ishtirok etayotgan sharlarning massalari bir xil bo'lsin (ya'ni $m_1 = m_2$). U holda (4.19) ifodalar

$$v_1' = v_2, \quad v_2' = v_1$$

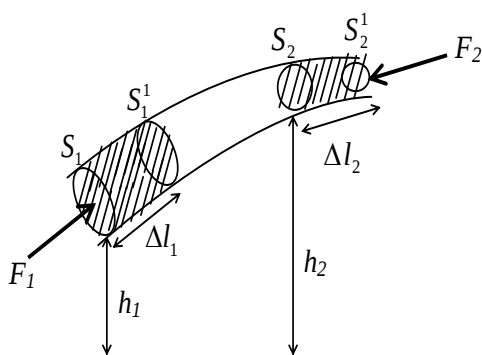
ko'rinishga keladi. Demak, massalari teng bo'lib to'qnashganda ular o'z tezliklarini almashadi (4.6 – rasm).

4.4-§ Uzulksizlik va Bernulli tenglamasi

1. Mexanik energiyaning saqlanish qonunini suyuqliklarda qanday kechishini ko'raylik. Mexanikaning suyuq muhit harakatinining qonunlarini va uning shu oqayotgan muhitdagi holatlarini xarakterlovchi **gidrodinamika** deyiladi. Suyuqliklarning harakatini **oqish** deyilib, harakatlanayotgan suyuqlik zarralarining quyilishini **oqim** deb yuritiladi.

Suyuqliklar, gazlar singari, ma'lum shaklga ega emas va qanday idishga quyilgan bo'lsa, o'sha idish shaklini egallaydi. Gaz aniq bir hajmga ega emas va u berilgan istalgan hajmeni egallaydi, suyuqlik esa to'laligicha ma'lum xususiy hajmga ega. Gazlar nisbatan oson siqiladi, suyuqliklar esa amalda deyarli siqilmaydi. Suyuqlik molekulari orasidagi masofa kichik bo'lgani uchun molekularlarning bir-biriga tortishish kuchi katta bo'ladi.

Real suyuqlikni **siqish** mumkin, ya'ni bosimning ortishi bilan uning hajmi kamayib, zichligi ortadi, biroq suyuqlikni siqilishi juda kam bo'ladi. Masalan, 100 m ga ortganda suvning zichligi, faqat 0,5% ga ortadi. Bundan tashqari real suyuqliklar yopishqoq bo'lib, ularda hamma vaqt ichki ishqalanish kuchlari bo'ladi. Yopishqoqligi mutlaqo bo'lmagan xayoliy suyuqlik **ideal** yoki **siqilmaydigan** suyuqlik deyiladi. 0°C dan yuqori temperaturalarda ba'zi real suyuqliklar (efir, atseton, spirt, suv, simob) ning yopishqoqligi juda kam bo'ladi, shuning uchun ularni ideal suyuqliklar deb qarash mumkin. Ideal suyuqlik zarralarining harakat tezligini vektorlar bilan tasvirlaylik. Ideal suyuqlik zarralarining harakatini xarakterlovchi shunday chiziqlar o'tkazaylikki, bu chiziqlarning har bir nuqtasidagi urinma, suyuqlik zarralarining harakat tezligi vektori bilan ustma-ust tushsin. Bunday chiziqlar **oqim chiziqlari** deyiladi. Oqim chiziqlarining soni shu sohadagi suyuqlik zarralari tezligining qiymatiga proporsional bo'ladi. Demak, tezligi kattaroq bo'lgan sohalarda oqim chiziqlari zichroq bo'lishi mumkin.



4.7-rasm

Agar suyuqlikning tezligi oqim egallagan hajmning har bir nuqtasida vaqt o'tishi bilan o'zgarmasa, bu suyuqlikning harakati barqaror (statsionar) harakat deyiladi. Barqaror harakatda suyuqlik zarralarining trayektoriyasi oqim chiziqlari bilan mos keladi. Suyuqlik oqimining barqaror harakatini tekshirish uchun uni xayolan oqim naylariga ajratiladi va har bir oqim nayidagi harakat o'rganiladi. 4.7-rasmdagi S_1 va S_2 kesimlardagi suyuqlik oqimining tezliklari mos ravishda V_1 va V_2 suyuqlikning zichliklari esa ρ_1 va ρ_2 bo'lsin. Oqim nayining S_1 va S_2 kesimlaridan Δt vaqtda bir xil massali suyuqlik o'tadi, ya'ni:

$$\Delta m_1 = \rho_1 S_1 v_1 \Delta t \quad \Delta m_2 = \rho_2 S_2 v_2 \Delta t \quad (4.22)$$

$\Delta m_1 = \Delta m_2$ bo'lgani uchun $\rho_1 v_1 S_1 = \rho_2 v_2 S_2$ siqilmas suyuqliklar uchun $\rho_1 = \rho_2$ bo'ladi. U holda (4.22) quyidagi ko'rinishda yoziladi.

$$v_1 S_1 = v_2 S_2 \quad (4.23)$$

(4.22) ifoda siqiluvchan suyuqliklar uchun (4.23) esa siqilmas suyuqliklar uchun **uzulksizlik** tenglamasi deb yuritiladi. Bu yerda kesimlar ixtiyoriy tanlanganligi uchun

$$Sv = \text{const} \quad (4.24)$$

deb yozish mumkin, ya'ni berilgan oqim nayi uchun nay ko'ndalang kesim yuzining suyuqlikning oqim tezligiga ko'paytimasi o'zgarmas kattalikdir.

2. O'zgaruvchan kesimli qiya oqim nayi bo'ylab suyuqlik chapdan o'ngga harakatlanayotgan bo'lsin. (4.7 rasm) nay bo'ylab harakatlanayotgan suyuqlikni ideal (siqilmaydigan) suyuqlik deb, bu suyuqlikning oqim tezligi bilan bosimi orasidagi bog'lanishni

aniqlaylik. Oqim nayning S_1 kesimidagi suyuqlik tezligi va bosimini mos ravishda v_1 va ρ_1 bilan, S_2 kesimidagilarni esa v_2 va ρ_2 lar bilan belgilaylik S_1 va S_2 kesimlar markazlarning biror gorizontaal sathdan balandliklari mos ravishda h_1 va h_2 bo'lsin, S_1 va S_2 kesimlar bilan chegaralangan oqim nayi ichidagi suyuqlik massasining Δt vaqtdagi to'liq energiyasining o'zgarishini aniqlaylik. Siqilmaydigan ideal suyuqlikning to'liq energiyasi uning W_k kinetik energiyasi bilan W_p potensial energiyasi yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$\Delta W = (W_k + W_p)_2 - (W_k + W_p)_1 \quad (4.25)$$

yoki

$$\Delta W = \frac{\Delta m v_2^2}{2} + gh_2 - \frac{\Delta m v_1^2}{2} - \Delta m gh_1 \quad (4.26)$$

bu yerda g -erkin tushish tezlanish.

Energiyaning bu o'zgarishi, mexanik energiya saqlanish qonuniga asosan, tashqi kuchlarning bajargan ishiga teng bo'lishi lozim. Tashqi bosim kuchi F_1 oqib kiruvchi massani $v_1 \Delta t = \Delta l_1$ yo'lda ko'chirishda bajargan ΔA_1 ishini, F_2 bosim kuchi esa $v_2 \Delta t = \Delta l_2$ yo'lda ΔA_2 ni bajaradi. U holda:

$$\Delta A_1 = F_1 \Delta l_1 = p_1 S_1 v_1 \Delta t$$

F_2 kuch va suyuqlik zarralarining ko'chish yo'nalishlari teskari bo'lganligi tufayli u bajargan ish manfiy bo'ladi.

$$\Delta A_2 = F_2 \Delta l_2 = p_2 S_2 v_2 \Delta t$$

natijada tashqi kuchlarning to'liq ishi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi.

$$\Delta A = \Delta A_1 + \Delta A_2 = p_1 S_1 v_1 \Delta t - p_2 S_2 v_2 \Delta t \quad (4.27)$$

biroq

$$S_1 v_1 \Delta t = S_2 v_2 \Delta t = \Delta V$$

bu yerda ΔV S_1 va S_2 kesimlardan chiqayotgan suyuqlikning hajmidir.

Natijada (4.27) ni quyidagicha yozamiz:

$$\Delta A = p_1 \Delta V - p_2 \Delta V \quad (4.28)$$

yuqorida aytilganidek ideal suyuqlikning barqaror oqimida $\Delta W = \Delta A$ shart bajarilishi kerak.

Binabarin, (4.26) va (4.28) ifodalarni birlashtirib quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$\frac{m v_1^2}{2} + mgh_1 + p_1 \Delta V = \frac{m v_2^2}{2} + mgh_2 + p_2 \Delta V$$

Bu tenglikning ikkala tomonini ΔV ga bo'lib yuborsak va $\frac{m}{\Delta V} = \rho$ suyuqlik zichligi ekanligini hisobga olsak:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho gh_1 + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho gh_2 + p_2 \quad (4.29)$$

munosabat vujudga keladi.

Demak, barqaror oqayotgan ideal suyuqlikning ixtiyoriy oqish chizig'i bo'ylab

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = \text{const} \quad (4.30)$$

hosil qilamiz. (4.30) ifoda **Bernulli tenglamasi** deb yuritiladi

1. Bu yerda **P**-harakatlanuvchi suyuqlik ichidagi bosimni anglatadi va uni **statik bosim** deb yuritiladi.
2. $\frac{\rho v^2}{2}$ – **dinamik bosim**. U suyuqlik ichidagi bosimni kamaytirishini xarakterlaydi.
3. ρgh – **gidravlik bosim**. U oqim nayi h balandlikka ko'tarilgan taqdirda statik bosimning qanchaga kamayishini ifodalaydi.

Bernulli tenglamasi energiya saqlanish qonunini ifodalaydi va quyidagicha ta'riflanadi:

Siqilmaydigan ideal suyuqlikning barqaror harakatida bosim solishtirma energiyasi, kinetik va potensial solishtirma energiyalar yig'indisi oqimning har qanday ko'ndalang kesimida o'zgarmaydi.

Yoki boshqacha ta'rif berish mumkin: **ideal suyuqlikning barqaror oqishidagi to'liq bosim dinamik, gidravlik va statik bosimlarning yig'indisidan iborat bo'lib, uning qiymati oqim nayining barcha qismlari uchun birday bo'ladi.**

Gorizontal oqim nayi uchun Bernulli tenglamasi quyidagi ko'rinishdagi bo'ladi:

$$\frac{\rho v^2}{2} + p = \text{const} \quad (4.31)$$

chunki $\rho gh = 0$.

Bernulli (4.30) va uzuluksiz (4.24) tenglamalarini, faqat suyuqlik uchungina emas, balki siqilishini va yopishqoqligini e'tiborga olmasa ham bo'ladigan gazlarga ham tadbiq qilish mumkin. Bu vaqtda gazning harakat tezligi 150-200 m/s dan ortmasligi kerak, chunki bu holda xavoni bema'lol siqilmaydigan ideal suyuqlikka o'xshash deb hisoblab unga uzuluksizlik tenglamasi va Bernulli tenglamasini qo'llash mumkin. Shuning uchun ham, Bernulli tenglamasi gidro va aerodinamikaning asosiy qonunlaridan biri hisoblanadi va uning amaliy ahamiyati katta. Misol, **Gidroturbinada** Bernulli tenglamasiga muvofiq, suv bosimining potensial energiyasi tor suv chiqarish joyida (soploda) kinetik energiyaga aylanadi, bu kinetik energiya ishchi g'ildirakni aylantiradi.

Savollar

1. Mexanik ish formulasini ifodalang va qanday kuchlar manfiy ish bajarishini ko'rsating?
2. O'zgaruvchan kuch ta'sirida jismning bajargan to'la ishini hisoblashda qanday usuldan foydalaniladi?
3. Quvvatni ishning bajarilish tezligi bilan bog'liqligini xarakterlang.
4. Energiya, energiyaning turlari va to'la energiyaning saqlanish qonunlarini ifodalang?
5. Elastik deformatsiyalangan jismning potensial energiyasi qanday ifodalanadi?
6. Sharlarni absolyut elastik va noelastik urilishlarida qanday saqlanish qonunlari bajariladi?
7. Uzuluksizlik va Bernulli tenglamalarini mohiyatini ayting va misollar keltiring.

Masalalar

9-masala. Lemexlarining egallash eni $l=1,2\text{m}$ bo'lgan traktor $t=8$ soat davomida $S=2$ gektar yer haydaydi. Tuproqning qarshiligi $F_{ishq}=17640\text{N}$ ga teng. Traktorning foydali ish koeffitsienti $\eta=80\%$ traktor motorining quvvati N ni aniqlang.

Berilgan: $F_{ishq}=17640\text{N}=17640\text{ N}$
 $t=8\text{ soat} = 8 \cdot 60 \cdot 60 = 28800\text{ s}$
 $S=2\text{ gektar} = 2 \cdot 10^4\text{ m}^2$
 $\eta=80\%$
 $\frac{l=1,2\text{m}}{N \sim ?} = 1,2\text{ m}$

Yechish. Traktorni tuproqning qarshilik kuchiga qarshi bajargan ishi foydali ish koeffitsientni hisobga olganda quyidagicha bo'ladi.

$$A = F_{ishq} \frac{S}{l \cdot \eta}$$

bu yerda $\frac{S}{l}$ – traktorning bosib o'tgan yo'li, u holda traktor motorining quvvati

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F_{ishq} S}{t l \eta} = \frac{17640 \cdot 2 \cdot 10^4}{8 \cdot 3600 \cdot 1,2 \cdot 0,8} = 1,28 \cdot 10^4\text{ Vt}$$

10-masala. Massasi $m=3 \cdot 10^3\text{kg}$ bo'lgan vagonetka qiyaligi gorizont bilan $\alpha=30^\circ$ burchak tashkil qiluvchi rels bo'ylab tepalikka ko'tarilmoqda. Agar vagonetka $a=0,2\text{m/s}^2$ tezlanish bilan

harakatlanayotgan bo'lsa, tortish kuchini $S=50\text{m}$, yo'lda bajargan A ishi topilsin. Ishqalanish koeffitsienti $k=0,1$ ga va $g=10\text{m/s}^2$ teng deb olinsin

Berilgan: $m = 3 \cdot 10^3 \text{kg}$, $\alpha = 30^\circ$, $a = 0,2\text{m/s}^2$
 $S=50\text{m}$ $k=0,1$, $g=10\text{m/s}^2$
 $A \sim ?$

Yechish. Vagonetkaga ta'sir qiluvchi F_T tortishish kuchini aniqlash uchun p og'irlik kuchini $F_S = P \sin \alpha$ pastga sudrovchi va $F_N = P \cos \alpha$ normal bosim kuchlaridan iborat ikki tashkil etuvchi kuchlarga ajratamiz hamda dinamikaning ikkinchi qonuniga binoan quyidagi harakat tenglamasini yozamiz:

$$ma = F_T - P \sin \alpha - P \cos \alpha$$

bunda ishqalanish kuchi $F_{ishq} = kP = kmg$ ekanligini hisobga olib tenglamani quyidagicha yozamiz:

$$F_T = m(a + g \sin \alpha + kg \cos \alpha)$$

u vaqtda F_T tortishish kuchining bajargan A ishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\begin{aligned} A &= m(a + g \sin \alpha + kg \cos \alpha) \cdot S = \\ &= 3 \cdot 10^2 (0,2 + 10 \sin 30^\circ + 0,1 \cdot 10 \cos 30^\circ) \cdot 50 = \\ &= 3 \cdot 10^3 \cdot 6,066 \cdot 50 = 910 \cdot 10^3 \text{ J} = 910 \text{ kJ} \end{aligned}$$

11-masala. Agar biz tanlagan prujina $F_0 = 3 \cdot 10^4 \text{N}$ kuch ta'sirida $x_0 = 1\text{sm}$ siqilsa, prujinani $x = 5\text{sm}$ ga siqish uchun qacha A ish bajariladi.

Berilgan: $x_0 = 1\text{sm} = 1 \cdot 10^{-2} \text{m}$
 $x = 5\text{sm} = 5 \cdot 10^{-2} \text{m}$
 $F_0 = 3 \cdot 10^4 \text{N} = 3 \cdot 10^4 \text{N}$
 $A \sim ?$

Yechish. Prujinani siqishda unga o'zgaruvchan kuch ta'sir qiladi. Prujinani siquvchi kuch F Guk qonuniga binoan siljishga proporsional bo'lib, bajarilgan ish $F_{el} = \frac{kx}{2}$:

$$dA = Fdx \text{ yoki } A = \frac{kx^2}{2}$$

bunda k — prujinaning bikirligi yoki elastiklik koeffitsienti deb yuritiladi, u quyidagicha aniqlanadi $k = \frac{F_0}{x_0}$

bu ifodani formulaga qo'yib quyidagini hosil qilamiz

$$A = \frac{F_0}{x_0} \frac{x^2}{2} = \frac{3 \cdot 10^4}{1 \cdot 10^{-2}} \cdot \frac{25 \cdot 10^{-4}}{2} = 3750 \text{N} \cdot \text{m} = 3750 \text{J}$$

12-masala. Massasi m_1 bo'lgan, muayyan v_1 tezlik bilan harakatlanayotgan shar m_2 massali harakatsiz shar bilan to'qnashdi. Urilishni bir to'g'ri chiziq bo'ylab absolyut elastik deb qaralsin. Birinchi shar o'z kinetik energiyasining qancha qismi w ni ikkinchi sharga beradi.

Berilgan: v_1, m_1, m_2
 $w \sim ?$

Yechish. Birinchi shar energiyasining qancha qismi ikkinchi sharga berilganligini quyidagi munosabat orqali ifodalanadi

$$w = \frac{W_2^1}{W_1} = \frac{m_2 u_2^2}{m_1 v_1^2} = \frac{m_2}{m_1} \left(\frac{u_2^2}{v_1^2} \right) \quad (1)$$

Bu yerda W_1 — birinchi sharning urilishgacha bo'lgan kinetik energiyasi; u_2 va W_2^1 — ikkinchi sharning urilishdan keyingi tezligi va kinetik energiyasi. (1) ifodadan ko'rinish turibdiki,

w ni aniqlash uchun u_2 ni topish kerak. Absolyut elastik to‘qnashganda bir paytning o‘zida ikkita-impulsning saqlanish qonunlari bajarilishidan foydalanamiz.

Urilishgacha ikkinchi shar harakatsiz bo‘lganligini hisobga olib, impuls saqlanish qonunini $m_1 v_1 = m_1 v_1 + m_2 u_2$ va energiya saqlanish qonunini $\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}$ ko‘rinishda yozamiz. Bu ikki tenglamani birgalikda yechib, quyidagini topamiz

$$u_2 = \frac{2m_1 v_1}{(m_2 + m_1)}$$

u_2 ning bu ifodasini (1) tenglamaga qo‘yib w ni topamiz

$$w = \frac{m_2}{m_1} \left[\frac{(2m_1 v_1)^2}{v_1 (m_1 + m_2)^2} \right] = \frac{4m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2}$$

13-masala. Purkagichdan suyuqlik $v = 25 \text{ m/s}$ tezlik bilan otilib chiqmoqda, suyuqlikning zichligi $\rho = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Purkagich idishining hajmida kompressor qanday p_1 bosim hosil qiladi?

Berilgan: $v = 25 \text{ m/s} = 25 \text{ m/s}$

$$\rho = 1 \text{ g/sm}^3 = 1 \frac{10^{-3} \text{ kg}}{10^{-6} \text{ m}^3} = 1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$p_1 \sim ?$

Yechish. Bernulli tenglamasi (4.30) ga muvofiq $\rho gh = \text{const}$ deb hisoblab quyidagini yozamiz:

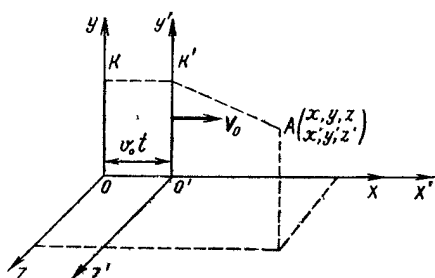
$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2,$$

bu yerda v_1 – purkagich idishidagi suyuqlikning tezligi, p_2 – purkagichdan chiqishda suyuqlik oqimidagi bosim. $v_1 = 0$, chunki idishda suyuqlikning tezligi v_2 ga nisbatan kichik, $p_2 = 0$, chunki Bernulli bosimida ortiq. Shuning uchun

$$p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} = \frac{1 \cdot 10^3 \cdot 625}{2} = 3,12 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 3,1 \text{ atm}.$$

V - BOB. NISBIYLIK NAZARIYASI ELEMENTLARI

5.1- §. Galileyning nisbiylik prinsipi



5.1 – rasm.

Agar sanoq-sistemalari bir-biriga nisbatan to‘g‘ri chiziqli tekis harakat qilsa, bu sistemalarni **inersial sanoq sistemalari** deyiladi. Bunday sanoq sistemalarida Nyuton dinamikasining barcha qonunlari bajariladi. Fikrimizni oydinlashtirish uchun ikki sanoq sistemasini tekshiraylik. **K** sistemani tinch holatda deb olib, ikkinchi **K'** sistema unga nisbatan o‘zgarmas v_0 tezlik bilan OX o‘qi yo‘nalishida to‘g‘ri chiziqli tekis harakatlansin (5.1-rasm). $t=0$ vaqtda ikkala sanoq sistemasi bir-birini ustiga tushadi. Agar vaqtni ikkala sistemaning koordinata boshlari ustma-ust

tushgan paytdan boshlab hisoblasak, u vaqtda 5.1 - rasmga binoan $X = X' + v_0 t$, $U = U'$, $Z = Z'$ bo‘ladi. Ikkala sistemada ham vaqt bir tarzda o‘tadi ($t = t'$) deb faraz qilsak, u holda quyidagi ifodalarga ega bo‘lamiz

$$\left. \begin{aligned} x &= x' + v_0 t \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= t' \end{aligned} \right\} \quad (5.1) \qquad \left. \begin{aligned} x' &= x - v_0 t \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= t \end{aligned} \right\} \quad (5.2)$$

(5.1) va (5.2) ifodalar Galiley almashtirishlari deb ataladi. Bu ifoda o'z navbatida moddiy nuqta (A) ning ixtiyoriy paytda ikkala sanoq sistemasidagi koordinatalarini o'zaro bog'laydi. (5.1) munosabatlarni vaqt bo'yicha differensiallasak, A nuqtaning K va K' sanoq sistemalaridagi tezliklar orasidagi bog'lanishni topamiz

$$\left. \begin{aligned} v_x &= \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}(x' + v_0 t) = v'_x + v_0 \\ v_y &= \frac{dy}{dt} = \frac{d}{dt}(y') = v'_y \\ v_z &= \frac{dz}{dt} = \frac{d}{dt}(z') = v'_z \end{aligned} \right\} \quad (5.3)$$

Bu munosabatni vektor ko'rinishda

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_0 \quad (5.4)$$

ko'rinishda yozish mumkin. (5.4) ifoda **tezliklarni qo'shish qoidasi** deb ataladi.

Umuman, bir sanoq sistemadan ikkinchi sistemaga o'tganda biror kattalikning qiymati o'zgarmasa, bu kattalik shu almashtirishga nisbatan **invariant** deb ataladi. Masalan, uzunlik ($l = l'$), massa ($m = m'$), kuch ($F = F'$), teزلanish ($a = a'$) kabi kattaliklar Galiley almashtirishlariga nisbatan invariantdir.

Demak, turli inersial sanoq sistemalarida barcha mexanik hodisalar bir xil sodir bo'lganligi sababli hech qanday mexanik tajribalar yordamida berilgan sanoq sistemasi tinch turganligi yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatlanayotganini aniqlab bo'lmaydi. Bu Galiley nisbiylik prinsipidir.

5.2- §. Nisbiylik prinsipining postulatlar

Fizika fanining asosiy qonunlaridan bo'lgan elektrodinamika qonunlarini umumlashtiruvchi Maksvell tenglamalari sistemasi 1865 yilda yaratildi. Lekin Maksvell tenglamalarini Galiley almashtirishlaridan foydalanib, bir inersial sanoq sistemadan ikkinchisiga o'tkazilsa, tenglamalar mutlaqo boshqacha ko'rinishga ega bo'lib qolishi aniqlanadi. Bundan quyidagi xulosa kelib chiqadi, demak, Maksvell tenglamalari Galiley almashtirishlariga nisbatan invariant emas ekan.

O'sha davrdayoq Enshteyn va boshqa olimlar tomonidan Maksvell tenglamalarining ifodalarini o'z ko'rinishlarini o'zgartirmasligi uchun yangi almashtirishlardan foydalanish zarurligi aytili. Enshteyn bunday almashtirishlar quyidagi ikki prinsip, ya'ni postulat asosida bo'lishini ko'tarib chiqadi:

I Nisbiylik prinsipi. *Barcha inersial sanoq sistemalarda hamma fizik hodisalar (mexanik, elektromagnit, optik va boshqalar) bir xilda ro'y beradi.*

II Yorug'lik tezligining doimiylik prinsipi. *Yorug'likning bo'shliqdagi tezligi barcha inersial sanoq sistemalarida bir xil bo'lib o'zgarmas kattalikdir, ya'ni S ga tengdir.*

Galiley almashtirishlariga asosan K sanoq sistemasidagi kuzatuvchi uchun yorug'lik tezligi $S + v_0$ bo'lish lozim edi. Lekin, K sanoq sistemasida ham, K' sanoq sistemasida ham yorug'lik tezligi bir xil bo'lib, u doimiy S ga teng bo'ladi.

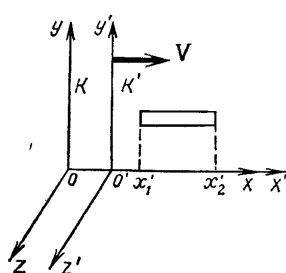
5.3-§. Lorens almashtirishlari

Yuqorida ko'rib chiqqan nisbiylik nazariyasining prinsiplaridan ravshanki, klassik mexanika nisbiylik prinsiplariga mos bo'lgan Galiley almashtirishlari Enshteyn postulatlarini qanoatlantirmaydi. Shuning uchun nisbiylik prinsiplariga mos bo'lgan Lorens almashtirishlaridan foydalanamiz, u quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$x = \frac{x' + v_0 t'}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}; y = y'; z = z'; t = \frac{t' + \frac{v_0}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} \quad (5.5)$$

Bu munosabatlardan foydalanib K' sanoq sistemasidagi koordinatalar (x', u', z') va vaqt (t') dan K sanoq sistemasidagi koordinatalar (x, u, z) hamda vaqt (t) ga o'tish mumkin. K sistemadan K' sistemaga o'tish uchun (5.5) ifodani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$x' = \frac{x - v_0 t}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}; y' = y; z' = z; t' = \frac{t - \frac{v_0}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} \quad (5.6)$$



5.2 – rasm.

Yuqoridagi tenglamalardan ko'rinadiki $v \ll c$ shart bajarilganda Lorens almashtirishlari Galiley almashtirishlariga o'tadi. Endi Lorens almashtirishlaridan kelib chiqadigan natijalarni ko'rib chiqaylik.

a) jism uzunligining o'zgarishi. K sistemaga nisbatan X yo'nalishida $\vec{v}$ tezlik bilan harakatlanayotgan K' sistemada sterjen tinch holatda bo'lsin. K' sistemada turgan kuzatuvchi sterjenning uzunligini l_0 ga teng ekanligini e'tirof etadi. K sistemadagi kuzatuvchi uchun sterjen $\vec{v}_0$ tezlik bilan harakatlanadi. Ixtiyoriy t' vaqtda sterjen uchlarining koordinatalari mos ravishda X_1' va X_2' bo'lsin. U holda sterjen uzunligi K' sistemada $l_0 = X_2' - X_1'$ ifoda bilan aniqlanadi. K sistemadagi kuzatuvchi uchun sterjen uzunligi ($l = X_2 - X_1$) ni aniqlaylik. Lorens almashtirishlariga asosan X_1 va X_2 koordinatalar ifodalangan sterjenning K' dagi koordinatalar X_1' va X_2' lar quyidagicha bog'langan:

$$x_1' = \frac{x_1 - v_0 t}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}; \quad x_2' = \frac{x_2 - v_0 t}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}$$

Bundan $x_2' - x_1' = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}$ yoki $l_0 = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}$

Demak,

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}. \quad (5.7)$$

K sistemadagi sterjen uzunligi K' sistemadagiga nisbatan qisqaroq bo'lar ekan. Buni uzunlikning **Lorens qisqarishi** deb ataladi.

b) vaqt intervalini o'zgarishi. Lorens almashtirishlariga asosan t_1 va t_2 vaqtlar K' sanoq sistemasidagi soat bo'yicha qayd qilinadigan t_1' va t_2' vaqtlar bilan quyidagicha bog'langan:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{t_2' - t_1'}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} \quad (5.8)$$

Demak, nisbiylik nazariyaga asoslanib aynan bir voqeaning o'tish vaqti bir-biriga nisbat harakatlanayotgan inersial sanoq sistemalarida turlicha davom etadi. Bu effektini harakatlanuvchi sanoq sistemalarda **vaqt o'tishning sekinlashishi** deb ataladi. K' sistemada, ya'ni harakatdagi

sanoq sistemasida vaqtning o'tishi tinch turgan K sanoq sistemasiga nisbatan sekinroq o'tganligi aniqlanadi.

v) Tezliklarni qo'shish. Klassik mexanikada tezliklarni qo'shishda [(5.4) ifodaga qarang] $v = v' + v_0$ tenglamadan foydalangan bo'lsak, katta tezliklarda undan foydalanish xatolikka olib keladi.

Lorens almashtirishlaridan foydalanib, tezliklarning qo'shish qoidasini aniqlaylik. Jismning K sanoq sistemadagi tezligi $v = dx/dt$ bo'lsa, K' sanoq sistemadagi tezligi esa $v' = dx'/dt'$ teng bo'ladi. Bularni aniqlash uchun Lorens almashtirishlarini ifodalovchi (5.5) tenglamadan hosilaga o'taylik:

$$dx = \frac{dx' + v_0 dt'}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}; \quad dt = \frac{dt' + \frac{v_0}{c^2} dx'}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}.$$

Bu ifodalardan foydalanib tezlikni topaylik:

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{dx' + v_0 dt'}{dt' + \frac{v_0}{c^2} dx'} = \frac{\frac{dx'}{dt'} + v_0}{1 + \frac{v_0}{c^2} \frac{dx'}{dt'}} = \frac{v' + v_0}{1 + \frac{v_0 v'}{c^2}}. \quad (5.9)$$

Masalan, $v_0 = 2 \cdot 10^8$ m/s, $v' = 1,5 \cdot 10^8$ m/s bo'lsa, (5.4) ga asosan $v = v' + v_0 = 3,5 \cdot 10^8$ m/s, ya'ni $v > c$ bo'lganligi uchun nisbiylik prinsipiga ziddir. (5.9) dan foydalansak

$$v = \frac{v' + v_0}{1 + \frac{v_0 v'}{c^2}} = \frac{3,5 \cdot 10^8}{1 + \frac{3 \cdot 10^{16}}{9 \cdot 10^{16}}} \approx 262500 \text{ km/s}.$$

Agar $v' = v_0 = c$ bo'lsa

$$v = \frac{v' + v_0}{1 + \frac{v_0 v'}{c^2}} = \frac{c + c}{1 + \frac{c^2}{c^2}} = c.$$

Demak, (5.9) tenglama katta tezliklar uchun nisbiylik nazariyaning prinsiplarni, ya'ni yorug'lik tezligi hamma inersial sistemalarda o'zgarmaslik prinsipini to'la qanoatlantiradi.

5.4-§. Relyativistik dinamikaning asosiy qonuni

Lorens almashtirishlariga asoslangan mexanikani Nyuton mexanikasidan farqlash maqsadida **relyativistik mexanika** deb yuritiladi.

Klassik mexanika ko'rsatmalariga asosan jism massasi o'zgarmas kattalikdir. Biroq XX asrning boshlarida katta tezliklarda harakatlanayotgan elektronlar ustida o'tkazilgan tajribalar shuni ko'rsatdiki, jism massasi uning harakat tezligiga bog'liq ekan, ya'ni tezlik ortishi bilan massa quyidagi qonunga asosan ortib boradi:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}, \quad (5.10)$$

bu yerda m_0 - tinch holatdagi massa deb ataladi, m - ni esa **relyativistik massa** deb yuritiladi. Jism harakatining tezligi yorug'lik tezligiga yaqinlashgan sari relyativistik effekt keskinroq namoyon bo'la boshlaydi va jism massasi nihoyatda tez ortib boradi. $v=c$ da massaning qiymati cheksizlikka intiladi. m massali v tezlikka ega bo'lgan yakkalangan jismning impulsi $\vec{p} = m\vec{v}$ ga tengdir. Bu tenglikdagi m massa o'rniga relyativistik massa (5.10) qiymatini qo'ysak, Lorens almashtirishlariga asoslangan **relyativistik impuls** quyidagicha aniqlanadi:

$$\vec{p} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v_0^2 / c^2}} \cdot \vec{v}. \quad (5.11)$$

Nyuton II qonunini eslasak, ta'sir etuvchi kuch impulsning o'zgarish tezligiga proporsional bo'ladi. ya'ni

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

Bu qonun Lorens almashtirishlariga nisbatan kovariant deb qarab, Nyuton qonunining umumiy ko'rinishi relyativistik shaklda quyidagicha ifodalanadi:

$$F = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \vec{v}^2 / c^2}} \right). \quad (5.12)$$

Bu **relyativistik dinamikaning asosiy qonuni** ifodasi bo'lib, ko'pincha moddiy nuqtaning relyativistik **dinamikadagi harakat tenglamasi** deb ham yuritiladi.

5.5-§. Massa, energiya va impuls orasidagi bog‘lanish

Enshteyn nisbiylik nazariyasining eng ahamiyatli natijalaridan biri massa va energiya orasidagi universal bog‘lanish ifodasidir:

$$W = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}. \quad (5.13)$$

(5.13) tenglama tabiatning fundamental qonuni deb yuritiladi. (5.13) ifodani qatorga yoysak va $v \ll c$ holat uchun ikkinchi tartibli yig‘indilarni e‘tiborga olmasak quyidagini hosil qilamiz:

$$W = m_0 c^2 + m_0 v^2 / 2 + \dots \quad (5.14)$$

bu yerda $m_0 c^2$ - tinch holatdagi jism energiyasini, $m_0 v^2 / 2$ - harakatlanayotgan **jismning kinetik energiyasini** ifodalaydi (5.14) ifodadagi

$$W_0 = m_0 c^2 \quad (5.15)$$

kattalikni **tinch holatdagi jism energiyasi** deb ataladi. Klassik mexanikada tinch holatdagi jism energiyasi W_0 hisobga olinmaydi, chunki $v=0$ da tinch holatdagi jism energiyasi nolga teng bo‘ladi.

Relyativistik kinetik energiya uchun quyidagi ifodani yozamiz

$$W_k = mc^2 - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} - 1 \right). \quad (5.16)$$

mc^2 ni W bilan belgilab (5.16) ni quyidagi shaklni yozamiz:

$$W = mc^2 = m_0 c^2 + W_k. \quad (5.17)$$

Bu tenglama Enshteyn kashf etgan energiya va massaning o‘zaro bog‘lanish qonunini ifodalaydi va jismning ixtiyoriy holatdagi to‘liq relyativistik energiyasi deb yuritiladi. (5.17) tenglama o‘z navbatida jism massasining o‘zgarishi uning energiyasini o‘zgarishi bilan birgalikda yuz berishini ko‘rsatadi.

Endi energiya bilan impuls orasidagi bog‘lanishni aniqlaylik. Buning uchun relyativistik massa ifodasi (5.10) ni kvadratga ko‘tarib, quyidagicha o‘zgartirib yozamiz:

$$m^2 c^2 - m^2 v^2 = m_0^2 c^2 \quad (5.18)$$

Bu ifodaning ikki tomonini c^2 ga ko‘paytirib, (5.11), (5.15) va (5.17) larni e‘tiborga olsak

$$W^2 = P^2 c^2 + m_0^2 c^4$$

yoki

$$W = \sqrt{P^2 c^2 + m_0^2 c^4} \quad (5.19)$$

hosil bo‘ladi. Bu munosabat **to‘liq energiya va impuls orasidagi bog‘lanishni** ifodalaydi.

(5.19) dan kelib chiqadigan xulosalardan biri shundan iboratki, tinch holatda massaga ega bo‘lmaydigan neytrino va foton kabi zarrachalar ham relyativistik energiyaga ega bo‘lishlari mumkin ekan. $m_0=0$ bo‘lsa (5.19) quyidagi ko‘rinishga keladi.

$$W = p \cdot c \quad (5.20)$$

5.6-§. Klassik mexanikaning qo‘llanish chegaralari

Relyativistik mexanika qonunlari $v \ll c$ bo‘lgan hollarda klassik mexanika qonunlariga o‘tadi. Misol uchun tovush tezligi ($v_0 \approx 300 \text{ m/s}$) da uchayotgan reaktiv samolyot harakati uchun

$$\frac{v_0^2}{c^2} = \left(\frac{3 \cdot 10^2 \text{ m/s}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} \right)^2 = 10^{-12}$$

nisbatni hosil qilamiz.

Kosmik tezliklarda harakatlanayotgan kemalar uchun $\frac{v_0^2}{c^2} \sim 10^{-9}$ atrofida bo'ladi. Demak, $v_0 \ll c$ bo'lgan hollarda $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ ning qiymati 1 dan deyarli farqlanmas ekan. Shuning uchun kichik tezliklarda Lorens almashtirishlari Galiley almashtirishlariga o'tadi. Klassik mexanika kichik tezliklarda $\frac{v_0^2}{c^2} \ll 1$ shart bajarilganda o'rinli bo'ladi, bu hol o'z navbatida klassik mexanikaning qo'llanish chegarasini belgilaydi. Shunday qilib, kichik tezliklarda klassik mexanika relyativistik mexanikaning xususiy holi hisoblanishi mumkin.

Biroq elektronlar bilan qilingan tajribalarda shu narsa aniqlandiki, klassik mexanika tasavvurlariga qarama-qarshi jismning massasi o'zgarmas kattalik emas ekan, balki tezlik ortishi bilan relyativistik dinamika qonuni asosida ortar ekan.

Uncha katta bo'lmagan harakat tezliklarida (3000 km/s gacha tezliklarda) jismning massasi deyarli o'zgarmaydi. Katta tezliklarda massa sezilarli ortib ketadi, masalan, $v=270\,000$ km/s da tinch holatdagi massadan ikki baravarga ortib ketadi.

Massa va energiyaning o'zaro bog'liqligi qonunining ifodasidagi, S^2 ning son qiymati juda katta bo'lganligi uchun jism energiyasining o'zgarishi juda katta bo'lganda ham massaning o'zgarishi juda kichik amalda payqab bo'lmaydigan darajada bo'ladi. Masalan, Oyga tomon ikkinchi kosmik tezlik $v_2 = 11,2$ km/s bilan uchirilgan tinch holatdagi massa $m_0 = 1500$ kg bo'lgan kosmik raketaning energiyasi

$$\Delta W = \frac{m_0 v_2^2}{2} = \frac{1500 \cdot 11200^2}{2} = 9,4 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

ga ortadi, uning massasi esa

$$\Delta m = \frac{9,4 \cdot 10^{10}}{(3 \cdot 10^8)^2} \approx 10^{-6} \text{ kg}$$

ortadi xolos.

Shunday qilib, raketa massasining nisbiy o'zgarishi

$$\frac{\Delta m}{m_0} = \frac{10^{-6}}{1500} < 10^{-9} = 10^{-7} \%,$$

buni eksperimental yo'l bilan aniqlab bo'lmaydi.

Shuning uchun massa va energiyaning o'zaro bog'liqlik qonunini faqat mikroolam hodisalarida, ya'ni yadro jarayonlarida va elementar zarrachalarning bir turdan ikkinchi turga aylanishda eksperimental tekshirish mumkin.

Ayniqsa, yadro reaksiyalarida massaning energiya bilan o'zaro bog'liqligi juda sezilarli bo'ladi.

Shunday qilib, nisbiylik nazariyasi Galiley, Nyuton va boshqa olimlar tomonidan asoslangan klassik mexanikaning qonun va prinsiplarini inkor etmaydi, aksincha ularni rivojlantiradi va umumlashtiradi hamda klassik mexanikaning qo'llanish chegaralarini belgilab beradi.

Savollar

1. Galileyning nisbiylik prinsipini va uni qo'llanish chegarasini ayting?
2. Qanday kattaliklar Galiley almashtirishlarga nisbatan invariant bo'ladi?
3. Enshteyn postulatlarini va Lorens almashtirishlarini ayting?
4. Lorens almashtirishlari, Enshteyn postulatlarini qanoatlantirishini, uzunlikning Lorens qisqarishi va vaqt o'tishining sekinlashishlari asosida yotganligini ifodalang.
5. Relyativistik dinamikaning asosiy qonunlarini, massa, energiya va impuls orasidagi bog'lanishlarni ifodalang.

Masalalar

14-masala. Fazoviy kema $v = 0,9m/s$ tezlik bilan Yer markazi tomon harakatlanmoqda. Kema o'zida joylashtirilgan (K' sistema) soat bilan hisoblangan $\Delta t_0 = 1s$ vaqt oralig'ida Yer bilan bog'langan (K sistema) hisob tizimida qanday l masofani o'tadi. Yerning sutkalik aylanishi va Quyosh atrofidagi orbital harakati hisobga olinmasin.

Berilgan: $v = 0,9m/s$ $\Delta t_0 = 1$
 $l \sim ?$

Yechish. Fazoviy kemaning Yer bilan bog'langan (K' sistema) hisob tizimida o'tgan l masofasini ushbu formula orqali aniqlaymiz

$$l = v \cdot \Delta t \quad (1)$$

bu yerda $\Delta t - K$ sanoq sistemasida hisoblangan vaqt oralig'i. Bu vaqt oralig'i K' sistemada hisoblangan vaqt oralig'i bilan

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

munosabatga bog'langan Δt ning ifodasini (1) formulaga qo'yib quyidagini olamiz:

$$l = \frac{v \cdot \Delta t_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

hisoblashlarni bajarsak $l = 619 \text{ Mm}$

15-masala. Elektronning kinetik energiyasi $W_k = 1 \text{ MeV}$. Elektronning tezligi aniqlansin.

Berilgan: $W_k = 1 \text{ MeV}$
 $v_0 \sim ?$

Yechish. Kinetik energiyaning relyativistik formulasi

$$W_k = W_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right)$$

β ga nisbatan o'zgarishlar qilib zarraning yorug'lik tezligining ulushlarida ($\beta = \frac{v}{c}$) ifodalangan tezligini topamiz:

$$\beta = \frac{\sqrt{(2W_0 + W_k)W_k}}{W_0 + W_k}$$

bu yerda W_0 –elektronning tinchlikdagi energiyasi ($W_0 = 8,16 \cdot 10^{-14} \text{ J}$ yoki $W_0 = 0,511 \text{ MeV}$). Bu formula bo'yicha hisoblashlarni energiyaning istalgan birliklarda bajarish mumkin, chunki formulaning o'ng tomonidagi birliklar qisqarib ketadi va hisoblash natijasida birliksiz son olinadi.

W_0 va W_k larning son qiymatlarini megaelektronovoltlarga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$\beta = 0,941$$

$$v = \beta c \text{ ekanligidan } v = 2,82 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

16-masala. $v = 0,9m/s$ tezlik bilan harakatlanayotgan elektronning relyativistik impulsi p va kinetik energiyasi W_k aniqlansin (bunda s – yorug'likning vakuumdagi tezligi)

Berilgan: $v = 0,9m/s$
 $p \sim ?$ $W_k \sim ?$

Yechish. Relyativistik impuls

$$p = m_0 c \frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (1)$$

(1) formula bo'yicha hisoblab quyidagini olamiz

$$p = 5,6 \cdot 10^{-22} kg \cdot m/s$$

Relyativistik mexanikada to'la energiya quyidagicha aniqlanadi

$$W = W_k - W_0$$

$W_k = mc^2$ va $W_0 = m_0 c^2$ ekanligidan, massaning tezlikka bog'liqligini nazarda tutib, quyidagini olamiz:

$$W = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} - m_0 c^2$$

yoki

$$W = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right) \quad (2)$$

hisoblashlarni bajarsak ($W_0 = m_0 c^2 = 0,51 MeV$)

$$W = 106 \cdot 10^{-15} \cdot \frac{1}{1,6} \cdot 10^{19} eV = 66,25 \cdot 10^4 eV = 0,66 MeV.$$