XIMMATALIYEV D.O., TURAYEV S.J.

FIZIKA

MEXANIKA. MOLEKULYAR FIZIKA VA TERMODINAMIKA ASOSLARI

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI AXBOROT TEXNOLOGIYALARI VA KOMMUNIKATSIYALARINI RIVOJLANTIRISH VAZIRLIGI

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI QARSHI FILIALI

Ximmataliyev D.O., Turayev S.J.

FIZIKA

(MEXANIKA. MOLEKULYAR FIZIKA VA TERMODINAMIKA ASOSLARI)

"5330600-Dasturiy injiniring" bakalavriat ta'lim yo'nalishi uchun o'quv qo'llanma

«Mahalla va oila nashriyoti»
Qarshi-2021

UO'K 531/534(075.8)
KBK 22.3ya73
X 51

Fizika (Mexanika. Molekulyar fizika va termodinamika asoslari)/ O'quv qo'llanma. Ximmataliyev D.O., Turayev S.J. /TATU Qarshi filiali/ Qarshi-2021. **«Mahalla va oila nashriyoti»**– 113 b.

Ushbu o'quv qo'llanma 2 bo'limdan iborat bo'lib, nazariy qism, masalalar yechish namunalari va mustaqil yechish uchun masalalardan tashkil topgan. Shu bilan birga har bir bo'limda fizik jarayonlarda C++ va Delphi7 dasturlash tilidan foydalanish namunalari ko'rsatib o'tilgan. Bo'limlar mos ravishda "Mexanika", "Molekulyar fizika va termodinamika" deb nomlanib ta'limning kredit tizimiga to'liq mos keladi.

Darslik Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti va uning filiallarida "5330600-Dasturiy injiniring" bakalavriat ta'lim yo'nalishining fan dasturi asosida tayyorlangan bo'lib, undan ushbu ta'lim yo'nalishida tahsil olayotgan talabalar foydalanishlari mumkin.

Taqrizchilar:

Tashatov A.Q. – Qarshi davlat universiteti professori, f-m.f.d.
Jurayeva N.I. – TATU Qarshi filiali, f-m.f.n., dotsent.

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Qarshi filiali Kengashining bayonnomasi bilan tasdiqlangan va "Dasturiy injiniring" bakalavriat ta'lim yo'nalishi talabalari uchun o'quv qo'llanma sifatida foydalanishga tavsiya etilgan.

ISBN 978-9943-7777-2-9

MUNDARIJA

KIRISH

Oliy ta'lim muassasalarida umumiy fizika kursini o'qitishda zamonaviy pedagogik texnologiyalardan va axborot kommunikatsiya vositalaridan, bu vositalalarning imkoniyatlaridan o'z o'rnida foydalanish yuksak intellektual salohiyatga ega bo'lgan, bilimli kadrlar tayyorlash kafolatidir.

Mamlakatimizda zamon talablari asosida ta'lim jarayonini tashkil etish, jumladan, oliy ta'lim tizimida axborot kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etish orqali yuqori malakali kadrlar tayyorlashga alohida e'tibor qaratilmoqda. O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlan-tirish bo'yicha Harakatlar strategiyasida "Uzluksiz ta'lim tizimini yanada takomillashtirish, sifatli ta'lim xizmatlari imkoniyatlarini oshirish, mehnat bozorining zamonaviy ehtiyojlariga muvofiq yuqori malakali kadrlar tayyorlash siyosatini davom ettirish"[1] muhim ustuvor vazifa sifatida belgilangan. Bu borada dasturiy vositalar asosida bo'lajak dasturchilarni loyihaviy-konstruktorlik va ilmiy-tadqiqotchilik kasbiy faoliyatiga tayyorlash metodikasini metodologik yondashuvlar asosida takomillashtirish, dasturiy injiniring mutaxassisligiga xos sifatlarni va kasbiy faoliyatga tayyorgarlik darajalarini baholash metodikasini ishlab chiqish bo'lajak dasturchilarning loyihalash, konstruktorlik va ilmiy-tadqiqotchilik kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirishga xizmat qiladi.

Zamonaviy axborot kommunikatsiya vositalarini ta'lim jarayonlariga joriy etish o'quvchi shaxsining fikrlashini, kommunikativ qobiliyatini, optimal qaror qabul qilish malakasini, estetik tarbiyasini, axborot olish madaniyati hamda kasbiy malaka va ko'nikmalarini rivojlanishini ta'minlaydi.

Shu bilan bir qatorda o'qituvchiga ham o'ziga xos ma'suliyat yuklaydi. Ta'lim muassasalarining zamonaviy axborot kommunikatsiya texnologiyalari bilan ta'minlanishi - pedagoglarning o'z mexnat faoliyatiga yangicha yondashish lozimligini talab qiladi va shu orqali pedagogik faoliyatning mukammallashuviga olib keladi.

Hozirgi pedagoglar axborot kommunikatsiya vositalaridan foydalanish ko'nikmasiga ega bo'lishi bilan birga bir qator dasturiy vositalarni amaliyotda qo'llay bilishi lozim.

---

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining «O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida»gi Farmoni// O'zbekiston Respublikasi Qonun hujjatlari to'plami. – T., 2017. B.39.

Barcha sohalar kabi, axborot texnologiyalari sohalari doirasida tayyorlanayotgan mutaxassis kadrlar uchun tabiiy jarayonlarni modellashtirish va ularni o'rganishda har xil zamonaviy dasturiy vositalardan foydalana bilish ko'nikmalariga ega bo'lish ahamiyatlidir. Shuning uchun fizika fanini o'qitish jarayonida zamonaviy dasturiy tizimlardan foydalanish usullarini ko'rsatib o'tish maqsadga muvofiqdir.

Ushbu maqsadlarni ko'zda tutgan holda, hamda, talabalarni keyinchalik kasbiy faoliyat turlariga tayyorlash maqsadida oliy ta'lim muassasalarida tahsil olayotgan talabalarning fizika faniga qiziqishini orttirish - ta'lim sifatini oshirishning mezoni sifatida ushbu uslubiy qo'llanmada fizikaning mexanika bo'limiga dasturiy vositalarni samarali qo'llash, jumladan, fizik jarayonlarga dasturlash tilini qo'llashsh usullari keltiriladi.

Ushbu o'quv qo'llanma ikki bo'limdan iborat bo'lib, nazariy ma'lumotlar, masalalar yechish namunalari va mustaqil yechish uchun masalalardan tashkil topgan. Birinchi bo'lim "Mexanika" deb nomlanib, 6 ta paragraf "Moddiy nuqtaning ilgarilanma harakati", "Moddiy nuqtaning aylanma harakati", "Moddiy nuqta dinamikasi", "Qattiq jismning aylanma harakati", "Mexanik energiyaning saqlanish qonuni", "Noinersial sanoq tizimlari, relyativistik mexanika" dan, ikkinchi bo'lim "Molekulyar fizika", "Termodinamika" dan iborat. Bundan tashqari bo'limlar oxirida fizikaviy jarayonlarga dasturlash tilining tadbiqi keltirib o'tilgan.

I BO'LIM. MEXANIKA

1-§. Fizika predmeti. Moddiy nuqtaning ilgarilanma harakati

Qadimdan tabiat sirlarini o'rganish, qonunlarini ochish asosida insoniyat o'zining turmush sharoitini, yashash imkoniyalarini yaxshilab borgan. Tabiat sirlarini o'rganish 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, "Physics"- tabiat degan ma'noni bildiradi. Fizika fanini birinchi bo'lib, qadimgi yunon mutafakkiri Aristotel (eramizdan avalgi 384-322 yil) o'z asarlarida bayon etgan.

Boshqa fanlar fizik asboblar yordamida taraqqiy topib yangi cho'qqilarni egallaydi, o'zining yutuqlari bilan fizikani ham boyitadi va uni oldiga yangi mukammal asboblar yaratish vazifasini qo'yadi. Shu tariqa o'zi ham, fizika fani ham rivojlanishda davom etadi. Astronomlarga osmon jismlarini mukammalroq o'rganishga yangi teleskoplarni yaratib berish, biologlarga elektron mikroskoplarni yaratilishi, hayotni qanday paydo bo'lish sirini ochilishiga olib keldi. Spektroskopni yaratilishi elementlar davriy tizimidagi 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 boshlab 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 kabi barcha jarayonlar tushuniladi.

Fizikaviy hodisalarini tabiat sharoitida o'rganish kuzatishlardan boshlanadi. Hodisalarni sun'iy ravishda laborotoriya sharoitida amalga oshirib, tajriba o'tkazishni eksperiment deb ataladi. Eksperimentni kuzatishga qaraganda, bir qator afzal tomoni bor, chunki tabiiy sharoitlarda biror hodisa sodir bo'lishi uchun sutkalab, oylab, hatto yillab kutishga to'g'ri keladi. Laboratoriya sharoitida esa bu hodisani hohlagan 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.

Fizikaviy 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 (yoki uning nusxasidan) necha marta faqlanishini ko'rsatadigan son tushuniladi. Har bir fizik kattalik o'lchov birligini boshqa fizik kattaliklarga bog'liq bo'lmagan holda mustaqil tanlash mumkin.

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 bolovchi qonunlar (formulalar) asosida tanlanadi. Bunday kattaliklarning o'lchov birliklari hosilaviy birliklar deb yuritiladi.

1960 – yil oktabrda Xalqaro birliklar tizimi qabul qilingan.

1961–yilning 24 avgustida "Sistema Internatsionalnaya" so'zlarini bosh harflari bo'yicha SI (XBT) tarzda belgilangan birliklar sistemasi tasdiqlandi. XBT da yettita asosiy birlik va ikki qo'shimcha birlik qabul qilingan:

Kattaliklar-ning nomi				
	o'lchamligi	nomi	belgisi	Kattalik o'lchov birligining ta'rifi
Uzunlik	l	metr	*m*	Kripton 86-atomining $2R_{10}$ va $5d_5$ sathlari orasidagi o'tishga mos bo'lgan nurlanishning vakuumdagi to'lqin uzunligidan 1650763,73 marta katta bo'lgan uzunlikni 1 m deb qabul qilingan
Massa	m	kilogramm	*kg*	Kilogramm bu-atom soatidagi Seziy-133 atomlari bilan bir xil chastotada tebranuvchi $1{,}4755214\cdot10^{40}$ dona fotonlarning energiyasiga teng.
Vaqt	t	sekund	*s*	Seziy-133 atomi asosiy holatining ikkita nozik sathlari orasidagi utishga mos bo'lgan nurlanish davridan 9192631770 marta katta vaqt 1 sekund deb qabul qilingan.
Elektr tokning kuchi	I	amper	*A*	1-Amper-Vakuumda bir-biridan 1 m masofada joylashgan ikki parallel cheksiz uzun, lekin kesimi juda kichik tug'ri o'tkazgichlardan o'tganda o'tkazgichning har bir metr uzunligi $2\ 10^{-7}$ N o'zaro ta'sir kuch hosil qiladigan o'zgarmas tok kuchiga teng.
Termodina-mik harorat	T	kelvin	*K*	Suvning uchlanma nuqtasini xarakterlovchi termodinamik haroratning ulushi 1 Kelvin deb qabul qilingan.

Modda miqdori	ν	mol	*mol*	Uglerod-12 ning 0,012 kg massasidagi atomlar soniga teng strukturaviy elementlardan tashkil topgan sistemadagi moddaning miqdori 1 mol deb qabul qilingan.
Yorug'lik kuchi	J	Kandela	*kd*	$540\cdot10^{12}$Gs chastotali monoxromatik nurlanish chiqarayotgan manba yorug'ligining energetik kuchi 1/683 Vt/ster ga teng bo'lgan yo'nalishdagi yoruglik kuchi 1 Kandela deb qabul qilingan.
Yassi burchak	α	radian	*rad*	Aylana uzunligi radiusga teng bo'lgan yoyni ajratadigan ikki radius orasidagi burchak 1 radian deb qabul qilingan.
Fazoviy burchak	Ω	steradian	*sr*	Uchi sfera markazida joylashgan va shu sfera sirtidan radius kvadratiga teng yuzli sirtni ajratuvchi fazoviy burchak 1 steradian deb qabul qilingan.

Mexanika jismlarning yoki ularning qismlarini bir-biriga nisbatan ko'chishidan iborat bo'lgan materiya harakatining eng sodda turi haqidagi ta'limotdir.

Jism harakati boshqa jismlarga nisbatan har xil tavsiflarda bo'lishi mumkin. Masalan, agar jism bizga nisbatan tinch turgan bo'lib, boshqa ikkita jism bir tomonga qarab bir xil tezlikda harakatlanayotgan bo'lsa, u holda uchinchi jism birinchi jismga nisbatan ko'chadi, ammo ikkinchi jismga nisbatan tinch qoladi. Shuning uchun harakatni tushuntirish uchun berilgan jismning harakatini boshqa jismga nisbatan hisoblash kerak. Shu sababli tanlab olingan jism sanoq tizimini tashkil etadi.

Odatda harakatni tavsiflash uchun sanoq tizimini tashkil etuvchi jismlar bilan biror koordinatalar tizimini, masalan, to'g'ri burchakli, qutb yoki sferik koordinatalar tizimini bog'lashga to'g'ri keladi.

Jismning koordinatalari uning fazodagi vaziyatini aniqlashga imkon beradi. Fazo va vaqt materiyaning mavjudlik formalari bo'lib, harakat aynan fazo va vaqtda sodir bo'ladi. Shu sababli harakatni tavsiflash uchun vaqtni ham hisobga olish lozim.

Odatda jismlarning harakati ularga kuchlar ta'sir etib turganda sodir bo'ladi. Bu kuchlarning ta'siri jismlarning harakatlanish tavsifini belgilash bilan birga ularni deformatsiyalaydi, ya'ni ularning o'lcham va shakllarini o'zgartiradi. Ba'zi hollarda deformatsiya juda kichik bo'lganda e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Qo'yilayotgan muammoning shartlariga ko'ra jismning deformatsiyalarini e'tiborga olmaslik mumkin bo'lsa, bunday jism *absolyut qattiq jism* deyiladi. Shuni alohida ta'kidlash mumkinki, tabiatda absolyut qattiq (umuman deformatsiyalanmaydigan) jism yuq. Faqat jismlarni ma'lum sharoitlarda harakatlangan vaqtda deformatsiyasini hisobga olmaydigan darajada kichikligi ularni absolyut qattiq jism deb qabul qilishimizga imkoniyat beradi.

Ba'zi hollarda jismlarning harakati kuzatilayotganda ularning o'lchamini hisobga olmasa ham bo'ladi. Bunda jismning o'lchami berilgan masaladagi boshqa jismning o'lchamidan kichik bo'lishi kerak. Masalan, avtomobilning Qarshi shahridan Toshkent shahriga yetib borgunicha bosib o'tgan yo'lini aniqlayotganda avtomobilning o'lchamlarini hisobga olmasa bo'ladi.

Muayyan masalada o'lchamlarini hisobga olmasa ham bo'ladigan jism *moddiy nuqta* deb ataladi. Qaralayotgan jismni moddiy nuqta deb qabul qilish yoki moddiy nuqta deb qabul qilinmasligi jismning o'lchamlariga emas, balki qaralayotgan masalaning shartlariga bog'liq. Ayrim hollarda jismni moddiy nuqta deb qarash mumkin bo'lsa, boshqa hollarda o'lchamini hisobga olish kerak bo'ladi. Masalan, Yerni Quyosh atrofidagi harakati treyektoriyasini hisoblaganda Yerni moddiy nuqta deb olish mumkin. Tunneldan o'tayotgan poyezdni harakatida poyezd o'lchamlarini hisobga olish lozim.

Qattiq jismning har qanday harakatini ikkita asosiy harakat turiga – ilgarilanma va aylanma harakatlarga ajratish mumkin.

Ilgarilanma harakat – bu shunday harakatki, bunda harakatlanayotgan jism bilan bog'langan istalgan chiziq o'ziga parallelligicha qoladi.

Aylanma harakatda jismning barcha nuqtalari markazlari aylanish o'qi deb ataluvchi yagona to'g'ri chiziqda yotuvchi aylanalar bo'ylab harakatlanadi. Aylanish o'qi esa faqat jism tarkibidagi nuqtalarda emas, balki jism tashqarisida ham bo'lishi mumkin.

Biror jismni moddiy nuqta deb qabul qilganimizda uning o'lchamlarini hisobga olmaganligimiz sababli u orqali o'tuvchi o'q atrofidagi aylanma harakat haqidagi tushuncha bunday jismga yaroqli emas.

Mexanika uch qismga bo'linadi: *1) kinematika, 2) statika* va *3) dinamika*. Kinematikada jismlarning harakatini bu harakatni yuzaga keltiruvchi sabablarni hisobga olmagan holda o'rganiladi. Statikada jismlarning muvozanat shartlari o'rganiladi va nihoyat, dinamikada jismlarning harakatini u yoki bu xarakterdagi harakatlarni yuzaga keltiruvchi sabablar (jismlarning o'zaro ta'siri) bilan bog'langan holda o'rganiladi. Muvozanat harakatning xususiy holi bo'lganligi uchun dinamika qonunlari statika uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

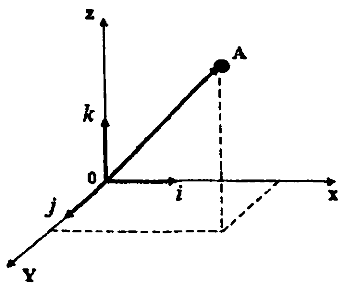
Moddiy nuqta deb hisoblanayotgan jismning to'g'ri chiziq bo'ylab bir tekis ko'chib borishidan iborat bo'lgan harakatini ko'rib chiqamiz.

Harakatdagi jism biror t vaqtda biror A nuqtada bo'lsa, uning o'rnini shartli ravishda sanoq boshi deb olingan O nuqtadan boshlab o'lchangan S kesma vaqt o'tishi bilan o'zgarib boradi. Agar jism boshlang'ich vaziyatda ($t = 0$) O nuqtada bo'lsa, S kesma jismning haqiqtda bosib o'tgan yo'liga teng bo'ladi.

Umuman olganda tanlab olingan fazoviy sanoq tizimidagi har bir nuqtaning o'rnini uchta koordinatalar orqali ifodalash mimkin (1.1-rasm). Koordinata boshidan A nuqtagacha yo'naltirilgan kesma *radius-vektor* deyiladi. Radius-vektor $\vec{r}$ ning koordinatalari o'qlardagi proyeksiyalardan iborat, ya'ni:

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k} \qquad (1.1)$$

bu yerda $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ koordinata o'qlari bo'ylab yo'nalgan birlik vektor.



1.1 - rasm. Fazoviy sanoq tizimida moddiy nuqtaning koordinatalari

$OXYZ$ koordinatalar sistemasida jismning har bir muayyan vaqtdagi o'rnini uning x, y va z koordinatalari orqali ham tavsiflash mumkin. Koordinatalar sistemasi 1-rasmdagidek tanlab olinsa, jismning

x, y va z koordinatalar o'qlaridagi S_x, S_y va S_z proyeksiyalariga teng bo'ladi. Shunday qilib, harakat qilayotgan nuqtaning o'rnini t vaqtning biror funksiyasi bo'lgan S kesma bilan:

$$S = f(t) \tag{1.2}$$

yoki nuqtaning koordinatalari x, y va z bilan tavsiflash mumkin. Nuqtaning koordinatalari ham o'z o'rnida vaqtning funksiyasi bo'ladi:

$$x = f_1(t); \quad y = f_2(t) \quad z = f_3(t) \tag{1.3}$$

Biz tekshirayotgan harakat trayektoriyasi to'g'ri chiziq bo'ylab sodir bo'layotganligi sababli *to'g'ri chiziqli harakat* deyiladi.

Agar harakatdagi jism ixtiyoriy, lekin teng vaqt oraliqlarida teng kesmalarni (yo'llarni) bosib o'tgan bo'lsa, bu jismning harakati *tekis harakat* deyiladi. Harakat bir-biridan shu bilan yaqqol ravishda farqlanadiki, jismlar teng vaqt oraliqlarida har xil yo'llarni bosib o'tishlari mumkin yoki teng yo'llarni har xil vaqtlarda bosib o'tishlari mumkin. Harakatlar orasida bu farqni tavsiflash uchun *tezlik* tushunchasini kiritamiz. Tekis harakatning tezligi deb shunday fizik kattalikka aytiladiki, ma'lum vaqt oralig'ida jism qancha ko'p yo'l bosib o'tsa, bu kattalikning miqdori shuncha katta bo'ladi yoki, ma'lum bir masofani bosib o'tish uchun qanchalik kam vaqt sarf bo'lsa, bu fizik kattalikning qiymati shuncha katta bo'ladi. Demak, tekis harakatning ϑ tezligi bosib o'tilgan yo'lga tog'ri mutanosib va bu yo'lni bosib o'tish uchun ketgan vaqtga teskari mutanosib bo'lgan fizik kattalikdir.

To'g'ri chiziq bo'ylab harakatlanayotgan jismning biror t_0 vaqt momentidagi o'rni esa S kesma bilan aniqlanadigan bo'lsin. U holda jism Δt vaqt ichida ΔS yo'lni bosib o'tadi va ϑ tezlikning matematik ifodasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\bar{\vartheta} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \bar{r}}{\Delta t} = \frac{d\bar{r}}{dt} \tag{1.4}$$

Agar $|\bar{r}| = S$ deb olsak tezlik vektorining modulini quyidagicha yozish mumkin:

$$\vartheta = |\bar{\vartheta}| = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{|\Delta \bar{r}|}{\Delta t} = \lim_{t \to 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{dS}{dt} \tag{1.5}$$

Tezlik vaqtning funksiyasi bo'lganligi sabali ($\vartheta = \vartheta(t)$) t_1 va t_2 vaqt oralig'ida jismning bosib o'tgan yo'li aniq integralga teng:

$$S = \int_{t_1}^{t_2} \vartheta(t) dt \tag{1.6}$$

Moddiy nuqta tezligining vaqt bo'yicha o'zgarish sur'atini quyidagi kattalik bilan tavsiflash mumkin:

$$\vec{a}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{\vartheta}}{\Delta t}=\frac{d\vec{\vartheta}}{dt}=\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} \qquad (1.7)$$

Bu kattalik moddiy nuqtaning *tezlanishi* deyiladi.

Agar tezlanish vaqtning funksiyasi $\vec{a}=\vec{a}(t)$ sifatida berilgan va boshlang'ich momentdagi ($t=0$) tezlik $\vec{\vartheta}_0$ ma'lum bo'lsa, u holda vaqtning ixtiyoriy momentidagi $\vec{\vartheta}$ tezlikni quyidagi formula yordamida topish mumkin:

$$\vec{\vartheta}=\vec{\vartheta}_0+\int_0^t\vec{a}(t)dt \qquad (1.8)$$

$\vec{a}=const$ bo'lsa,

$$\vec{\vartheta}=\vec{\vartheta}_0+\vec{a}t \qquad (1.9)$$

Tezlik vektorini

$$\vec{\vartheta}=\vec{i}\,\vartheta_x+\vec{j}\,\vartheta_y+\vec{k}\,\vartheta_z=\vec{i}\,\frac{dx}{dt}+\vec{j}\,\frac{dy}{dt}+\vec{k}\,\frac{dz}{dt}$$

ko'rinishda yozib olamiz. Bu ifodani vaqt t bo'yicha differensiallasak:

$$\vec{a}=\frac{d\vec{\vartheta}}{dt}=\vec{i}\,\frac{d^2x}{dt^2}+\vec{j}\,\frac{d^2y}{dt^2}+\vec{k}\,\frac{d^2z}{dt^2} \qquad (1.10)$$

To'g'ri chiziqli harakatda tezlik vektori har doim to'g'ri chiziqli trayektoriya bo'ylab yo'nalganligi uchun $\vec{a}$ vektorning yo'nalishi $\vec{\vartheta}$ vektorning yo'nalishiga ustma-ust tushadi yoki unga teskari yo'nalgan bo'ladi. Agar $\vec{a}$ ning yo'nalishi $\vec{\vartheta}$ ning yo'nalishi bilan bir-xil bo'lsa, u holda tezlik kattalik jihatidan ortda boradi va harakat tezlanuvchan bo'ladi. $\vec{a}$ yo'nalish jihatidan $\vec{\vartheta}$ ga teskari bo'lsa, u holda tezlik kamaya boradi va harakat sekinlanuvchan bo'ladi.

Tezlanishi o'zgarmaydigan to'g'ri chiziqli harakat *tekis o'zgaruvchan harakat* deyiladi. Tezlik vaqt bo'yicha qanday o'zgarayotganligiga qarab harakat *tekis tezlanivchan* va *tekis sekinlanuvchan* harakatlarga ajratiladi.

Tekis o'zgaruvchan harakat uchun (1.7) formula o'rinli bo'lib, bunda unga kiruvchi $\vec{\vartheta},\vec{\vartheta}_0$ va $\vec{a}$ vektorlar bitta to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalgan. Bu vektorlarni $\vec{\vartheta}_0$ vektorning yo'nalishi bilan ustma-ust tushuvchi x yo'nalishiga proyeksiyasini olsak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\vartheta_x=\vartheta_{0x}+a_xt \qquad (1.11)$$

ϑ_x, ϑ_{0x} va a_x mos vektorlarning modullariga teng. Bu modullar agar vektorning yo'nalishi x ning yo'nalishi bilan bir xil bo'lsa "+" ishora bilan, vektorning yo'nalishi x ning yo'nalishiga qarama-qarshi bo'lsa, "-" ishora bilan olinadi. Odatda to'g'ri chiziqli harakat o'rganilayotganda (1.11) tenglamada x ning indeksi tushirib qoldiriladi va to'g'ridan to'g'ri

$$\vartheta = \vartheta_0 + at \tag{1.12}$$

ko'rinishda yoziladi, bunda (1.12) tenglama tarkibiga kiruvchi kattaliklar vektorlarning proyeksiyalariga o'xshash kattaliklar deb qabul qilinadi. Bosib o'tilgan yo'lni topish ichun integrallash natijasida quyidagi formulani topamiz:

$$S = \int_0^t (\vartheta_0 + at)dt = \vartheta_0 t + \frac{at^2}{2} \tag{1.13}$$

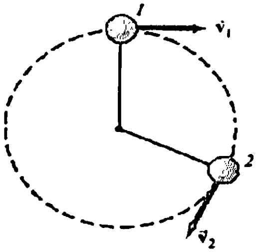
Shuni ta'kidlash joizki, bu formula t vaqt davomida nuqta harakatining yo'nalishi (tezlikning ishorasi) o'zgarmagandagina bosib o'tilgan yo'l uchun to'g'ri natija beradi.

2-§. Moddiy nuqtaning aylanma harakati

Faraz qilaylik, vaqtning tekshirilayotgan t vaqt momentida nuqta 1 holatda bo'lsin. Δt vaqtdan keyin nuqta $1-2$ yoyga teng bo'lgan Δt yo'lni bosib o'tib 2 holatga keladi (2.1-rasm). Bunda nuqtaning $\vec{\vartheta}$ tezligi $\Delta\vec{\vartheta}$ orttirma oladi va tezlik vektori kattalik jihatdan o'zgarmas (tekis harakatda $|\vartheta| = const$) $\Delta\varphi$ burchakka buriladi; bu burchakning kattaligi ΔS uzunlikdagi yoyga tiralgan markaziy burchakka teng:

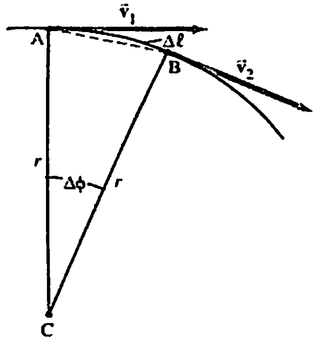
$$\Delta\varphi = \frac{\Delta S}{R} \tag{2.1}$$

bu yerda R – nuqta harakatlanayotgan aylana radiusi.

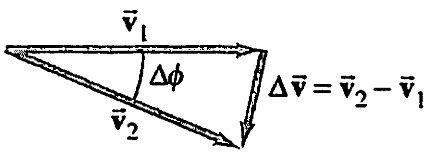


2.1-rasm.

Tezlik vektorining $\Delta\vec{\vartheta}$ orttirmasini topamiz (2.2-rasm). Buning uchun $\vec{\vartheta} + \Delta\vec{\vartheta}$ vektorni uning boshi $\vec{\vartheta}$ vektorning boshiga ustma-ust tushadigan qilib ko'chiramiz. Bunda $\Delta\vec{\vartheta}$ vektor $\vec{\vartheta}$ vektorning oxiridan $\vec{\vartheta} + \Delta\vec{\vartheta}$ vektorning oxiriga o'tkazilgan kesma bilan ifodalanadi (2.3-rasm).



2.2-rasm.



2.3-rasm.

$$\frac{\Delta \vartheta}{\vartheta} = \frac{\Delta S}{R}$$

tenglikdan,

$$\vec{a}_n = \lim_{\Delta t \to} \frac{\Delta \vartheta}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to} \frac{\vartheta}{R} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{\vartheta}{R} \vartheta = \frac{\vartheta^2}{R} \tag{2.2}$$

Biz topgan bu tezlanish trayektoriyaga o'tkazilgan normal bo'ylab yo'nalgan va normal tezlanish deb ataladi.

Ixtiyoriy egri chiziq bo'ylab harakatlanuvchi nuqtaning tezlanishi ham trayektoriyaning egriligiga (bu egrilik trayektoriyaning turli nuqtalarida turlicha bo'lishi mumkin) bog'liq bo'ladi.

Egri chiziqning egriligini quyidagicha ifodalaymiz:

$$C = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dS}$$

bu yerda $\Delta\varphi -$ egri chiziqning bir-biridan ΔS nasofada yotgan nuqtalariga o'tkazilgan urinmalar orasidagi burchak. Shunday qilib, egrilik egri chiziq yo'nalishining o'zgarish tezligi, ya'ni egri chiziq bo'ylab harakatlanayotgan urinmaning burilish tezligi bilan tavsiflanadi. C ga teskari bo'lgan kattalik R egrilik rediusiga teng. Aylana uchun ushbu yo'l bilan topilgan egrilik radiusi aylana radiusidan iboratdir.

Tezlikning $\Delta\vec{\vartheta}$ orttirmasini ikkita $\Delta\vec{\vartheta}_n$ va $\Delta\vartheta_\tau$ tashkil etuvchilarga ajratamiz. Bu tashkil etuvchilarni shunday tanlab olamizki, berilgan nuqtadan $\Delta\vec{\vartheta}_n$ vektorning oxirigacha bo'lgan masofa boshlang'ich momentdagi tezlikning moduliga teng bo'lsin. Bunday holda, $\Delta\vec{\vartheta}_\tau$ vektorning moduli tezlik moduli orttirmasiga teng bo'ladi:

$$\left|\Delta\vec{\vartheta}_\tau\right| = \Delta\left|\vec{\vartheta}\right| = \Delta\vartheta$$

Yo'nalishi $\Delta\vec{\vartheta}_\tau$ vektorga mos bo'lgan $\vec{\tau}'$ birlik vektor kiritib, so'ngi ifodani quyidagicha yozish mumkin:

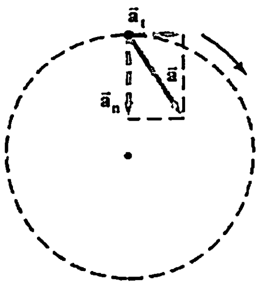
$$\Delta\vartheta_\tau = \Delta\vartheta\vec{\tau}' \qquad (2.3)$$

To'la tezlanish vektori quyidagiga teng:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{\vartheta}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{\vartheta}_n + \Delta\vec{\vartheta}_\tau}{\Delta t} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{\vartheta}_n}{\Delta t} + \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{\vartheta}_\tau}{\Delta t}$$

Birinchi limit $\lim\limits_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{\vartheta}_n}{\Delta t} = \vec{a}_n$ – normal tezlanishni, ikkinchi limit $\lim\limits_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vartheta_\tau}{\Delta t} = \vec{a}_\tau$ – tangensial tezlanishni ifodalaydi. Umumiy tezlanish uchun quyidagi formulaga ega bo'lamiz:

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau \qquad (2.4)$$



2.4-rasm.

Tangensial tezlanish tezlikni kattalik jihatdan o'zgarishini tavsiflaydi. Agar tezlik kattalik jihatidan o'zgarmasa tangaensial tezlanish nolga teng bo'ladi, ya'ni $\vec{a}_\tau = 0$, $\vec{a} = \vec{a}_n$ bo'ladi.

Normal tezlanish ($\vec{a}_n$) tezlikni yo'nalishi bo'yicha o'zgarishini tavsiflaydi. Agar tezlikning yo'nalishi o'zgarmasa, harakat to'g'ri chiziqli trayektoriya bo'ylab sodir bo'ladi. To'g'ri chiziqning egriligi nolga teng bo'lsa normal tezlanish ham nolga teng bo'ladi va $\vec{a}_n = 0$.

Umumiy holda to'la tezlanishning moduli quyidagiga teng:

$$|\vec{a}| = |\vec{a}_n + \vec{a}_\tau| = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = \sqrt{\left(\frac{\vartheta^2}{R}\right)^2 + \left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)^2}.$$

Biror o'q atrofida aylanuvchi absolyut qattiq jismni tashkil qilgan barcha nuqtalarning markazlari aylanish o'qida yotgan aylanalar bo'ylab harakatlanadi. Har bir nuqtaning radius-vektori (aylana markazidan berilgan nuqtaga o'tkazilgan vektor) Δt vaqt ichida bir-biridan $\Delta\varphi$ burchakka buriladi.

Jismni Δt vaqt ichida $\Delta\vec{\varphi}$ burchakka burilishiga *burchak tezlik* deyiladi. Burchak tezlik vektori ichun quyidagi formulani yozish mumkin:

$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{\varphi}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} \qquad (2.5)$$

Burchak tezlik vektorining moduli $\frac{d\varphi}{dt}$ ga teng. O'zgarmas burchak tezlikda bo'ladigan aylanish tekis aylanish deyiladi, bunda $\omega = \frac{\varphi}{t}$. Shunday qilib, ω tekis aylanishda jism vaqt birligi ichida qanday burchakka burilishini ifodalaydi.

Tekis aylanishni aylanish davri T bilan tavsiflasa ham bo'ladi. Jismni 2π burchakka burilishi uchun ketgan vaqt aylanish davri deyiladi.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \qquad (2.6)$$

bundan

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \qquad (2.7)$$

Ma'lumki, vaqt birligida sodir bo'ladigan aylanishlar soni aylanish chastotasi deyilib quyidagiga teng:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \qquad (2.8)$$

Aylanishlar davri va aylanishlar soni tushunchalari notekis aylanma harakatlar uchun ham bajariladi. Bunda jism berilgan oniy burchak tezlik bilan aylanganda bir aylanib chiqish uchun ketgan vaqt tushuniladi.

Nuqtaning aylana bo'ylab harakatidagi chiziqli tezligi $\vec{\vartheta}$ burchak tezlik vektori $\vec{\omega}$ va radius-vektorning vektor ko'paytmasiga teng:

$$\vec{\vartheta} = [\vec{\omega}\vec{r}] \qquad (2.9)$$

$\vec{\omega}$ vektor jismning o'z o'qi atrofida aylanish tezligi hisobiga bo'lgani kabi, aylanish o'qining fazoda burilishi hisobiga ham o'zgarishi mumkin. Burchak tezligi vektorining vaqt bo'yicha o'zgarishi *burchak tezlanish* deb ataluvchi quyidagi kattalik bilan tavsiflanadi:

$$\vec{\beta} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \qquad (2.10)$$

Aylanish o'qining yo'nalishi fazoda o'zgarmasa, tezlik faqat kattalik jihatdan o'zgaradi va bunda

$$\beta = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{|\Delta\omega|}{\Delta t} = \left|\frac{d\omega}{dt}\right| \qquad (2.11)$$

bu yerda β — algebraik kattalik bo'lib, agar ω vaqt o'tishi bilan ortsa musbat qiymatga, kamayganda esa manfiy qiymatga ega bo'ladi.

Aylanayotgan jismning turli nuqtalari turli chiziqli tezliklarga ega bo'lib, aylanaga o'tkazilgan urinmalar bo'ylab yo'nalgan hamda o'z yo'nalishini uzluksiz ravishda o'zgartirib boradi. Nuqta tezligining kattaligi jismning aylanish o'qidan berilgan nuqtagacha masofaga bog'liq.

Δt qisqa vaqt oralig'ida jism $\Delta\varphi$ burchakka burilgan bo'lsin. Bunda R o'qdan ΔS masofada yotgan nuqta

$$\Delta S = R\Delta\varphi$$

yo'l bosib o'tadi.

Ta'rifga asosan nuqtaning chiziqli tezligi

$$\vartheta = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} R\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = R\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = R\omega = \omega R \qquad (2.12)$$

Tangensial tezlanish uchun quyidagi formula kelib chiqadi:

$$a_\tau = \left|\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vartheta}{\Delta t}\right| = \left|\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta(\omega R)}{\Delta t}\right| = R\left|\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t}\right| = R\frac{d\omega}{dt} = R\beta$$

ya'ni

$$a_\tau = \beta R \qquad (2.13)$$

Shunday qilib, normal tezlanishi ham tangensial tezlanish ham aylanish o'qidan nuqtagacha bo'lgan R masofa ortishi bilan chiziqli ravishda ortadi.

3-§. Moddiy nuqta dinamikasi

Dinamika jismlarning harakatini uning u yoki bu tavsiflarini belgilovchi sabablar bilan bog'langan holda o'rgatadi.

Klassik mexanika yoki Nyuton mexanikasiga dinamikaning 1687 yilda Nyuton tomonidan aniqlagan uchta qonun asos qilib olingan.

Nyuton qonunlari tajribada topilgan ko'p faktlarni umumlashtirish natijasida kelib chiqqan. Bu qonunlarning to'g'riligi tajriba natijalariga mos kelishi bilan o'z tasdig'ini topadi.

Nyuton mexanikasi so'ngi ikki yuz yilda (XX asrgacha) yuqori muvaffaqiyatlarga erishgan. Nyuton qonunlari istalgan fizikaviy hodisani tushuntirishi, ya'ni fizikaviy jarayonlarni mexanik jarayonga keltirish orqali yechim topish mumkin deb hisoblangan. Ammo fan rivojlanishi bilan klassik mexanika tushunchalariga umuman mos kelmaydigan faktlar yuzaga keldi. Bu faktlarni esa yangi nazariya – maxsus nisbiylik nazariyasi va kvant mexanikasi tushuntirib berdi.

1905 yila A.Eynshteyn yaratgan maxsus nisbiylik nazariyasida fazo va vaqt haqidagi Nyuton tushunchalari yangidan qayta ko'rib chiqildi. Bundan "katta tezliklar mexanikasi" yoki relyativistik mexanika yaratildi. Biroq relyativistik mexanika Nyuton mexanikasini butunlay inkor qilmadi. Relyativistik mexanika tenglamalari limitda (yorug'lik tezligidan kichik tezliklarda) klassik mexanika tenglamalariga aylanadi. Klassik mexanika relyativistik mexanikaga uning xususiy holi sifatida kirdi va yorug'lik tezligidan kichik tezliklar bilan sodir bo'ladigan jarayonlarni ta'riflash uchun o'zining ahamiyatini saqlab qoldi.

Shunday qilib, fanning taraqqiyoti klassik mexanikani yo'qqa chiqarmasdan faqat uning qo'llanish chegarasi cheklanganligini ko'rsatdi. Nyuton qonunlariga asoslangan klassik mexanika katta massali va kichik tezliklar bilan harakatlanayotgan jismlar mexanikasidir.

Nyutonning birinchi qonuni quyidagicha ta'riflanadi: *har qanday jism tinch yoki to'g'ri chiziqli va tekis harakatini boshqa jismlar tomonidan ko'rsatiladigan ta'sir bu holatni o'zgartirishga majbur etmaguncha saqlab qoladi.* Ko'rsatilgan bu ikki holat jismning tezlanishi nolga tengligi bilan ajralib turadi. Shuning uchun birinchi qonunni quyidagicha ta'riflash ham mumkin: har qanday jismning tezligi unga boshqa jismlar tomonidan ko'rsatiladigan ta'sir uni o'zgartirmaguncha doimiyligini saqlaydi.

Tabiatda biror bir jismga boshqa bir jism ta'sir qilmaydigan holat mavjud emas. Amalda tinch yoki to'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotgan jismga ko'rsatiladigan ta'sirlar o'zaro muvozanatlashgan bo'ladi. Masalan, stol ustida yotgan jismga Yer tomonidan tortish kuchi hamda stol tomonidan ta'sir qiladigan bosim kuchi ta'sir qiladi, bunda har ikkala kuch o'zaro muvozanatlashganligi bois jism tinch turadi.

Nyutonning birinchi qonunini matematik jihatdan quyidagicha yozish mumkin:

$$\sum_{i=1}^{n} F_i = 0, \quad \vartheta = const \qquad (3.1)$$

Nyutonning birinchi qonunini har qanday sanoq tizimida ham qo'llab bo'lmaydi. Bu harakatning tavsifi sanoq tizimining tanlab olinishiga bog'liq. Bir-biriga nisbatan biror tezlanish bilan harakat qilayotgan ikki sanoq tizimini tekshiraylik. Agar jism ulardan biriga nisbatan tinch turgan bo'lsa, ma'lumki, ikkinchisiga nisbatan u tezlanish bilan harakatlanadi. Demak, Nyutonning birinchi qonuni bir vaqtning o'zida ikkala sistemada qanoatlantirilishi mumkin emas.

Agar sanoq tizimida Nyutonning birinchi qonuni qanoatlantirilsa, bu tizimni inersial sanoq tizimi deyiladi. Nyuton qonunlari bajarilmaydigan sanoq tizimlari noinersial sanoq tizimlari deyiladi. Biror inersial sanoq tizimiga nisbatan to'g'ri chiziqli tekis harakatlanuvchi sanoq tizimlari ham inersial bo'ladi.

Nyutonning ikkinchi qonunida ikkita fizik kattalik kuch va massa ishtirok etadi. Kuch berilgan jismga boshqa jismlar tomonidan ko'rsatilayotgan ta'sirining miqdori bilan yo'nalishini ko'rsatadi. Massa esa jismning bu ta'sirga "javob beruvchanligini" miqdor jihatdan tavsiflaydi.

Kuchning kattaligi va yo'nalishi qanday bo'lmasin $\vec{F}$ kuch kattaligi bu kuch yuzaga keltirayotgan $\vec{a}$ tezlanishga nisbati berilgan jism uchun o'zgarmaydi. Turli jismlar uchun bu nisbat har xil bo'lar ekan. Ma'lumki, F/a nisbatning kattaligi berilgan jismning inertligini tavsiflaydi. Shuning uchun jismning inertligini miqdor jihatdan tavsiflaydigan va F/a nisbatga mutanosib bo'lgan hamda jismning massasi deb ataladigan fizik kattalikdan foydalamiz. Jismning masasini m bilan belgilab quyidagi tenglikni yozish mumkin:

$$m \sim \frac{F}{a} \qquad (3.2)$$

Ushbu formulani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\vec{a} = k\frac{\vec{F}}{m} \qquad (3.3)$$

bu yerda k – proporsionallik koeffisiyenti. (3.3) munosabat esa Nyutonning ikkinchi qonunini analitik ifodasidir.

Shunday qilib, Nyutonning ikkinchi qonuni quyidagicha ta'riflanadi: *har qanday jismning tezlanishi unga ta'sir etuvchi kuchga to'g'ri va jismning massasiga teskari mutanosib.* Bu qonun ham Nyutonning birinchi qonuni kabi faqat inersial sanoq tizimlarida o'rinli.

Xalqoro birliklar (XB) tizimida Nyutonning ikkinchi qonuni formulasi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\vec{F} = m\vec{a} = m\frac{d\vec{\vartheta}}{dt} = m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} \qquad (3.4)$$

Tajribalar shuni ko'rsatadiki, o'zaro ta'sirlashuvchi jismlarning bir-biriga ta'sir kuchlari doim kattalik jihatdan teng va yo'nalish jihatdan qarama-qarshi bo'lar ekan.

Nyuton o'zining uchinchi qonunini quyidagicha ta'riflagan: "ta'sirga doim teng va qarama-qarshi yo'nalgan aks ta'siri bor, boshqacha aytganda – ikki jismning bir-biriga ta'siri o'zaro teng va qarama-qarshi tomonlarga yo'nalgan". Bu ta'rifda "ta'sir" va "aks ta'sir" terminlari uchraydi, shuning uchun ham jismlarning bir-biriga ta'sir etuvchi kuchlari bir-biridan farq qilsa kerak degan tasavvur paydo bo'lishi mumkin. Aslida esa bu kuchlar $\vec{F}_{12}$, $\vec{F}_{21}$ modul jihatdan o'zaro teng. Shuning uchun Nyutonning uchunchi qonunini quyidagicha ta'riflagan yaxshiroq: *jismlarning bir-biriga ko'rsatadigan har qanday ta'siri o'zaro teng xarakterga ega, o'zaro ta'sirlashuvchi jismlarning bir-biriga ta'sir kuchlari doim kattalik jihatdan teng va yo'nalish jihatdan qarama-qarshidir.*

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \tag{3.5}$$

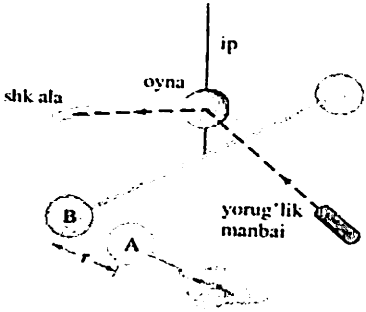
Tabiatda kuchlar doim juft holda poydo bo'lib, biror jismga qo'yilgan istalgan kuchga unga kattalik jihatdan teng va qarama-qarshi yo'nalgan o'zaro ta'sirlashayotgan ikkinchi jismga qo'yilgan boshqa bir kuchni taqqoslash mumkin.

Tabiatda barcha jismlar o'zaro bir-biriga tortishib turadi. Bu tortishish bo'ysunadigan qonunni Nyuton kashf qilgan bo'lib, *butun olam tortishish qonuni* deyiladi. Bu qonunga binoan *ikkita jismning bir-biriga tortishish kuchi bu jismlarning massalari ko'paytmasiga to'g'ri proporsional va ular orasidagi masofaning kvadratiga teskari proporsionaldir:*

$$\vec{F} = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^3} \vec{r} \tag{3.6}$$

bu yerda γ – gravitatsion doimiy deb ataluvchi proporsionallik koeffisiyenti, m_1, m_2 – jismlarning massalari, r – ularning massalari orasidagi masofa. Gravitatsion doimiysining son qiymatini birinchi bo'lib Kavendish (1798 y) o'zining buralma tarozisi yordamida aniqlagan (3.1-rasm), unga ko'ra:

$$\gamma = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2} \tag{3.7}$$



3.1-rasm. Kavendish buralma tarozisining sxemasi

Agar jismlar massalarini va ular orasidagi masofani birga teng deb olsak, u holda kuchning qiymati γ ga teng bo'ladi. Shunday qilib, har birining massasi $1kg$ ga teng va markazlari orasidagi masofa $1m$ bo'lgan ikkita jism o'zari $6.67\cdot10^{-11}N$ kuch bilan o'zaro tortishar ekan.Jismga Yer tomonidan ta'sir qiluvchi kuch og'irlik kuchi deyiladi va quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$F=\gamma\frac{M_{Yer}m}{(R_{Yer}+h)^2} \qquad (3.8)$$

bu yerda M_{Yer} –Yerning massasi, m–jism massasi, R_{Yer} –Yer radiusi, h–Yer sirtidan jismgacha masofa. (3.8) formuladan $g=\gamma\frac{M_{Yer}}{(R_{Yer}+h)^2}$ belgilash kiritamiz. Bu yerda g–erkin tushish tezlanishi deyiladi. Bunda og'rlik kuchi uchun (3.8) formula quyidagicha yoziladi:

$$F=P=mg \qquad (3.9)$$

Erkin tushish tezlanishi geografik kenglikka ham bog'liq bo'lib, bunda markazgan qochma kuch inobatga olinadi:

$$F_{m.q.}=m\omega^2R_{Yer}\cos\varphi \qquad (3.10)$$

bu yerda φ–geografik kenglik bo'lib, Yer ekvatorida markazdan qochma kuch og'irlik kuchidan taxminan 300 marta kichik bo'lar ekan.

4-§. Qattiq jismning aylanma harakati

Qattiq jism harakati asosan ikki turga bo'linadi: 1.Ilgarilanma harakat, 2.Aylanma harakat.

Ilgarilanma harakatda jismning barcha nuqtalarining bir xil vaqt oraliqlarida ko'chishi kattalik va yo'nalish jihatidan bir xil bo'ladi, shu sababli barcha nuqtalarning tezligi va tezlanishi vaqtning bir momentida bir xil bo'ladi.

Aylanma harakat vaqtida qattiq jismning barcha nuqtalari markazlari aylanish o'qi deb ataluvchi bir to'g'ri chiziqda joylashgan aylanalar bo'ylab harakatlanadi. Aylanma harakatda tezlanish faqat jismga ta'sir etuvchi kuchgagina emas, balki aylanish o'qidan kuchning ta'sir etuvchi chizig'igacha bo'lgan l masofaga ham bog'liq ekan. Biror O nuqtaga nisbatan F kuchning momenti deb

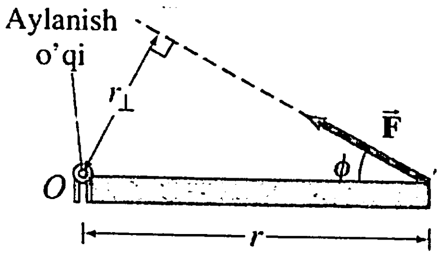
$$\vec{M} = \left[\vec{F}\vec{r}\right] \qquad (4.1)$$

ifoda bilan belgilanuvchi bektor kattalikka aytiladi, bu yerda $\vec{r} - O$ nuqtadan kuchlar qo'yilgan nuqtagacha o'tkazilgan radius vektor.

$\vec{M}$ vektorning moduli

$$M = Fr\sin\alpha = Fl \qquad (4.2)$$

bu yerda $\alpha - \vec{r}$ va $\vec{F}$ orasidagi burchak, $l = r\sin\alpha$ esa O nuqradan kuchning ta'sir chizig'iga tushirilgan perpendikulyarning uzunligi. Bu uzunlik kuchning O nuqtaga nisbatan yelkasi deyiladi (4.1-rasm).



4.1-rasm.

Agar jism O nuqtaga nisbatan ixtiyoriy aylanadigan bo'lsa, u holda $\vec{F}$ kuchning ta'siri ostida jism kuch bilan O nuqta yotgan tekislikka perpendikulyar o'q atrofida, ya'ni berilgan nuqtaga nisbatan olingan kuchlar momentining yo'nalishi bilan ustma-ust tushuvchi o'q atrofida buriladi. Momentning kattaligi kuchning jismni shu o'q atrofida aylantirish qobiliyatini tavsiflaydi.

Moddiy nuqtaning impuls momenti (harakat miqdori momenti) ham xuddi kuch momentiga o'xshash usul bilan aniqlanadi. O nuqtaga nisbatan impuls momenti quyidagiga teng:

$$L = [\vec{p}\vec{r}] = m\left[\vec{r}\vec{\vartheta}\right] \qquad (4.3)$$

bu yerda $r - O$ nuqtadan fazoning moddiy nuqta yotgan nuqtasiga o'tkazilgan radus-vektor. $\vec{p} = m\vec{\vartheta}$ – moddiy nuqtaning impulsi deyiladi.

$l = r\sin\alpha$ yelkani kiritib, impuls momenti vektorining modulini quyidagicha yozish mumkin:

$$L = rp\sin\alpha = lp \qquad (4.4)$$

Impulsning z o'qqa nisbatan momenti deb, o'qda yotgan O nuqtaga nisbatan $\vec{L}$ impuls momentining shu o'qdagi tashkil etuvchisi $\vec{L}_z$ ga aytiladi:

$$\vec{L}_z = [\vec{r}p]_z$$

Impuls momentining vaqtga qarab o'zgarishi nimaga bog'liq ekanligini aniqlaylik. Buning uchun ko'paytmani differensiallash qoidasidan foydalanib (4.3) formulani vaqt t bo'yicha differensiallaymiz:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d}{dt}[\vec{r}\,\vec{p}] = \left[\frac{d\vec{r}}{dt}\vec{p}\right] + \left[\frac{d\vec{p}}{dt}\vec{r}\right] \tag{4.5}$$

Yig'indining birinchi hadi nolga teng, sababi bir-xil yo'nalgan $\frac{d\vec{r}}{dt}$ va $\vec{p} = m\vec{\vartheta}$ vektorlardan tashkil topgan. $\frac{d\vec{p}}{dt}$ vektor Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan jismga ta'sir etuvchi kuchga teng. Demak, (4.5) formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = [\vec{r}\vec{F}] = \vec{M} \tag{4.6}$$

bu yerda $\vec{M} - \vec{L}$ impuls momenti qaysi O nuqtaga nisbatan olinayotgan bo'lsa, o'sha moddiy nuqtaga qo'yilgan kuchlarning momenti. (4.6) munosabatda moddiy nuqtaga ta'sir etuvchi kuchlarning biror O nuqtaga nisbatan natijaviy momenti nolga teng bo'lsa, u holda moddiy nuqta impulsining shu O nuqtaga nisbatan momenti o'zgarmaydi.

N ta moddiy nuqtadan tashkil topgan tizimda joylashgan nuqtalarga ta'sir etuvchi kuchlarni ikkita ichki va tashqi kuchlarga ajratamiz. $i-$ moddiy nuqtaga ta'sir etuvchi ichki kuchlarning natijaviy momentini $\vec{M}_i'$ bilan, shu nuqtaga ta'sir etuvchi tashqi kuchlarning natijaviy momentini $\vec{M}_i$ bilan belgilab olamiz. U holda (4.6) formulaga muvofiq quyidagi formulani yozamiz:

$$\frac{d}{dt}\vec{L}_i = \vec{M}_i' + \vec{M}_i \quad (i = 1, 2, \ldots N)$$

Bu ifoda bir-biridan i indeksi bilan farqlanuvchi N ta tenglamadan iborat bo'lib, moddiy nuqtalar tizimi impulsining momenti formulasini quyidagicha yozish mumkin.

$$L=\sum_{i=1}^{N}L_i=\sum_{i=1}^{N}[\vec{r}_i\,\vec{p}_i] \qquad (4.7)$$

Moddiy nuqtalarning yopiq tizimi uchun $\vec{M}=0$ bo'lganligi uchun impulsning yig'indi momenti $\vec{L}$ vaqtga bog'liq emas. Shunday qilib impuls momentining saqlanish qonuni quyidagicha: *moddiy nuqtalar yopiq tizimining impuls momenti o'zgarmaydi.*

Agar tizimdagi jismlarga ta'sir etuvchi kuchlarning yig'indi momenti nolga teng bo'lsa, tashqi kuchlar ta'sirada turgan bunday tizim uchun ham impuls momenti o'zgarmaydi. Moddiy nuqtaning aylanish o'qiga nisbatan impuls momenti ifodasini topamiz:

$$\vec{L}=[\vec{r}\,\vec{p}]=m[\vec{r}\,\vec{\vartheta}]$$

$\vec{\vartheta}=[\vec{\omega}\vec{r}]$ va $\vec{\omega}\perp\vec{r}$ ekanligidan, $\vartheta=\omega r$ kelib chiqadi. Moddiy nuqtalar tizimi uchun impuls momenti uchun quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$\vec{L}=\vec{\omega}\sum_{i=1}^{N}m_i r_i^2 \qquad (4.8)$$

Moddiy nuqtalar massalarining ulardan oylanish o'qining kvadratiga ko'paytmalari yig'indisiga teng ushbu

$$I=\sum_{i=1}^{N}m_i r_i^2$$

fizikaviy kattalik moddiy nuqtalar tizimining aylanish o'qiga nisbatan inersiya momenti deyiladi. $\vec{L}=I\vec{\omega}$ formulani (4.6) ga o'rniga qo'ysak:

$$\vec{M}=\frac{d\vec{L}}{dt}=\frac{d}{dt}(I\vec{\omega})=I\frac{d\vec{\omega}}{dt}=I\vec{\beta} \qquad (4.9)$$

kelib chiqadi. (4.9) formula aylanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasi deyiladi. Bu yerda $\beta=\frac{d\omega}{dt}$ -jismning burchak tezlanishi, $\vec{M}$ – jismga ta'sir etuvchi tashqi kuchlarning natijaviy momenti.

Aylanma harakat dinamikasi tenglamalarini ilgarilanma harakat dinamikasi tenglamalari bilan solishtirsak, aylanma harakatda kuch rolini kuch momenti, massa rolini esa inersiya momenti va shunga o'xshashlarni aniqlash mumkin (4.1-jadval).

4.1-jadval

Ilgarilanma harakat	Aylanma harakat
$\vec{F} = m\vec{a}$	$\vec{M} = I\vec{\beta}$
$\vec{p} = m\vec{\vartheta}$	$\vec{L} = I\vec{\omega}$
$\vec{F} = \dfrac{d\vec{p}}{dt}$	$\vec{M} = \dfrac{d\vec{L}}{dt}$
$\vec{F}$ – *kuch*	$\vec{M}$ – *kuch momenti*
m – *massa*	I – *inersiya momenti*
$\vec{\vartheta}$ – *tezlik*	$\vec{\omega}$ – *burchak tezlik*
$\vec{a}$ – *tezlanish*	$\vec{\beta}$ – *burchak tezlanish*
$\vec{p}$ – *impuls*	$\vec{L}$ – *impuls momenti*

Jism ichidagi massaning taqsimlanishini zichlik degan fizik kattalik yordamida tavsiflash mumkin. Agar jism bir jinsli bo'lsa, ya'ni uning xossasi barcha nuqtalarda bir-xil bo'lsa, u holda

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{4.10}$$

ga teng kattalik zichlik deyiladi, bu yerda m – jismning massasi, V – hajmi. Bir jinsli jismning hajm birligidagi massasi zichligi deyiladi.

Massasi notekis taqsimlangan jism uchun (4.10) ifoda zichlikning o'rtacha qiymatini beradi. Unda berilgan nuqtadagi zichlik quyidagicha yoziladi:

$$\rho = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV} \tag{4.11}$$

Inersiya momenti ifodasini quyidagicha yozish mumkin:

$$I = \sum_{i=1}^{N} \rho_i r_i^2 \Delta V_i \tag{4.12}$$

Agar jismning zichligi o'zgarmas bo'lsa, uni yig'indi belgisi ostidan chiqarish mumkin:

$$I = \rho \sum_{i=1}^{N} r_i^2 \Delta V_i \tag{4.13}$$

Umumiy holda inersiya momentini aniqlash quyidagi integrallashdan iborat:

$$I = \int r^2 dm = \int \rho r^2 dV \tag{4.14}$$

Misol sifatida bir jinsli disk uning tekisligiga perpendikulyar va markazidan o'tuvchi o'qqa nisbatan inersiya momentini topish talab qilingan bo'lsin. Diskni dr qalinlikdagi halqasimon bo'laklarga bo'lamiz, bunda bitta qatlamning barcha nuqtalari o'qdan bir xil r ga teng bo'lgan masofa yotadi. Bunday qatlamning hajmi

$$dV = b2\pi r dr$$

bu yerda b – diskning qalinligi.

Disk bir jinsli bo'lganligi uchun uning zichligi barcha nuqtalarda bir xil bo'ladi va (4.14) formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$I = \rho\int r^2 dV = \rho\int_0^r r^2 b2\pi r dr$$

bu yerda r – diskning radiusi. O'zgarmas ko'paytuvchi $2\pi b$ ni integral belgisi ostidan tashqariga chiqaramiz:

$$I = 2\pi b\rho\int_0^r r^2 dr = 2\pi b\rho\frac{r^4}{4}$$

Nihoyat, ρ zichlikning diskning $b\pi r^2$ hajmiga ko'paytmasiga teng bo'lgan diskning m massasini kiritib quyidagini topamiz:

$$I = \frac{mr^2}{2} \qquad (4.15)$$

Ko'rib chiqilgan misolda jism bir jinsli va simmetrik bo'lganligi hamda inersiya momentini biz simmetriya o'qiga nisbatan hisoblaganligimiz uchun soddalashgan. Ammo, diskka perpendikulyar bo'lgan boshqa o'qqa nisbatan inersiya momentini hisoblash talab qilinganida ancha murakkablashgan bo'lar edi. Bunda Shteyner teoremasidan foydalanilsa hisoblash ancha yengillashadi. Shteyner teoremasi quyidagicha ta'riflanadi: *istalgan o'qqa nisbatan inersiya momenti shu o'qqa parallel bo'lgan va jismning inersiya markazi orqali o'tuvchi o'qqa nisbatan inersiya momenti bilan jism massasining o'qlar orasidagi masofa kvadratiga ko'paytmasining yig'indisiga teng:*

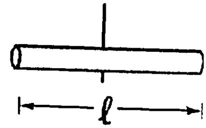
$$I = I_0 + ma^2 \qquad (4.16)$$

Ba'zi bir jinsli jismlar uchun inersiya momentlari qiymatlarini keltirib o'tamiz.

1. Jism kesimi ixtiyoriy shaklda bo'lgan ingichka uzun sterjendan iborat. Sterjenning ko'ndalang o'lchami uzunligidan ancha kichik. Sterjenga perpendikulyar bo'lgan va uning o'rtasidan o'qqa nisbatan inersiya momenti quyidagiga teng:

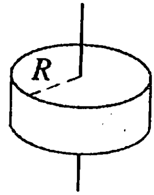
$$I = \frac{1}{12}ml^2$$

2. Disk yoki silindr uchun geometrik o'qi bilan ustma-ust tushuvchi o'qqa nisbatan inersiya momenti quyidagiga teng:



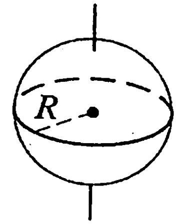
$$I=\frac{1}{2}mr^2$$

3. Jism yupqa diskdan iborat. Diskning qalinligi uning radiusidan ko'p marta kichik bo'lganda diametri bilan ustma-ust tushuvchi o'qqa nisbatan inersiya momenti quyidagiga teng:



$$I=\frac{1}{4}mr^2$$

4. Sharning markazi orqali o'tgan o'qqa nisbatan inersiya momenti quyidagiga teng:



$$I=\frac{2}{5}mr^2.$$

5-§. Mexanik energiyaning saqlanish qonuni

$\vec{F}$ kuch ta'sir etayotgan jism biror trayektoriya bo'ylab S yo'lni bosib o'tsin. Bunda kuch jismga biror tezlanish beradi yoki harakatga qarshilik ko'rsatayotgan boshqa kuchlarning ta'sirini kompensatsiyalaydi. $\vec{F}$ kuchning S yo'lda ko'rsatgan ta'siri ish deb ataluvchi kattalik bilan tavsiflanadi.

Kuchning ko'chish sodir bo'layotgan yo'nalishdagi proyeksiyasi $\vec{F}_s$ ning kuch qo'yilgan nuqta bosib o'tgan S yo'lga ko'paytmasidan iborat skalyar kattalikka *ish* deb ataladi:

$$A=F_sS \tag{5.1}$$

Kuchning ko'chish sodir bo'layotgan yo'nalishga proyeksiyasining kattaligi o'zgarmay qolsagina o'rinli bo'ladi. Xususan jism to'g'ri chiziq bo'ylab harakatlansa va o'zgarmas $\vec{F}$ kuch harakat yo'nalishi bilan o'zgarmas α burchak hosil qilsa (5.1) ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$A=FS\cos\alpha \tag{5.2}$$

Ish – algebraik kattalik. Agar kuch bilan ko'chish yo'nalishi orasidagi burchak o'tkir bo'lsa, ish musbat bo'ladi, burchak o'tmas bo'lsa, ish manfiy bo'ladi. $\alpha = \pi/2$ da esa ish nolga teng bo'ladi.

Agar kuchning ko'chish yo'nalishiga proyeksiyasi harakat vaqtida doimiy qolmasa, u holda ishni hisoblash uchun S yo'lni elementar qismlarga bo'lib chiqish kerak. Bunda ΔS qismlarni juda kichik bo'lakchalarga bo'lish kerakki, jism bunday qismni bosib o'tishida kuchning kattaligi deyarli o'zgarmas bo'lsin. U vaqtda har bir elementar qismda kuchning bajargan ishi $\Delta A \cong F\Delta S$ ga teng. S yo'lda bajarilgan butun ish esa elementar ishlarning yig'indisi sifatida hisoblanishi mumkin bo'ladi:

$$A = \sum \Delta A_i = \sum F_i \Delta S_i \tag{5.3}$$

Barcha ΔS_i lar nolga intilganda taxminan (5.3) tenglik quyidagicha bo'ladi:

$$A = \lim_{\Delta S_i \to 0} \sum F_i \Delta S_i = \int F dS \tag{5.4}$$

Ish birligi qilib ko'chish yo'nalishida ta'sir qiluvchi bir birlik kuchning bir birlik yo'lda bajargan ishi qabul qilinadi: XB tizimida ish birligi $[A] = 1J$ $(Joul)$ $F = 1N$ kuchning $S = 1m$ yo'lda bajargan ishiga teng.

Amalda faqat bajarilgan ishning kattaligi emas, balki bu ishni bajarish uchun ketgan vaqt ham ahamiyatlidir. Shu sababli ish bajarish uchun mo'ljallangan mexanizmlarni tavsiflash ichun berilgan mexanizm vaqt birligida qanday ish bajarishini ko'rsatadigan kattalik kiritiladi. Bu kattalik *quvvat* deyiladi. Quvvat N bajarilgan ΔA ishning shu ishni bajarish uchun ketgan Δt vaqtga nisbatiga teng ekan:

$$N = \frac{\Delta A}{\Delta t} \tag{5.5}$$

Agar istalgancha kichik va bir xil Δt vaqt oraliqlari ichida bajargan ΔA ishlar bir xil bo'lmasa, u holda quvvat vaqt bo'yicha o'zgaruvchan bo'ladi. Bunday hollarda quvvatning oniy qiymati:

$$N = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{dA}{dt} \tag{5.6}$$

Oniy quvvat doimiy bo'lmagan holda (5.6) ifoda quvvatning Δt vaqt ichidagi o'rtacha qiymatini beradi.

dt vaqt ichida kuch qo'yilgan nuqta dS ga ko'chgan bo'lsin. U holda dt vaqt ichida bajarilgan elementar dA ish $dA = FdS$ ga teng va quvvatni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin bo'ladi:

$$N = \frac{dA}{dt} = F\frac{dS}{dt} = F\vartheta \tag{5.7}$$

Demak, quvvat kuch vektori bilan kuch qo'yilgan nuqtaning harakat tezligi vektorining skalyar ko'paytmasiga teng bo'lar ekan:

$$N=(\vec{F}\vec{\vartheta}) \tag{5.8}$$

Quvvat birligi deb shunday quvvat qabul qilinadiki, bunda vaqt birligi ichida bir birlik ish bajariladi. XB tizimida quvvat birligi Vatt (W) bo'lib, $1W=1\frac{J}{s}$ ga teng.

Tajribalar shuni ko'rsatadiki, jismlar ko'pincha boshqa jismlar ustida ish bajarish imkoniyatiga ega bo'ladilar. Jismning yoki jismlar tizimining ish bajara olish qobiliyatini tavsiflovchi fizik kattalik energiya deyiladi. Jismning energiyaga ega bo'lishi birinchidan, jismning biror tezlik bilan harakatlanishi va ikkinchidan, jismning kuchlar potensial maydonida turganligi sabab bo'lishi mumkin. Birinchi turdagi energiya *kinetik energiya* deyiladi. Ikkinchi turdagi energiya *potensial energiya* deyiladi. Qisqacha kinetik energiyani – harakat energiyasi, potensial energiyani esa – holat energiyasi deyish mumkin.

Agar $\vec{F}$ kuch tinch turgan jismga ta'sir ko'rsatib, unga ϑ harakatlanish tezligini bersa, u holda jismning harakat energiyasini shu bajarilgan ish miqdoriga oshiradi. Bajarilgan ish esa jismning kinetik energiyasini oshishiga olib keladi.

$$dA=dE_k$$

Nyutonning II qonuniga ko'ra

$$F=ma=m\frac{d\vartheta}{dt},$$

$$dE_k=FdS=m\frac{dS}{dt}d\vartheta=m\vartheta d\vartheta$$

Integrallash natijasida quyidagi formulaga ega bo'lamiz:

$$E_k=\int_0^{\vartheta}m\vartheta d\vartheta=m\int_0^{\vartheta}\vartheta d\vartheta=\frac{m\vartheta^2}{2} \tag{5.9}$$

Umumiy holda ϑ tezlik bilan harakatlanayotgan m massali moddiy nuqtaning kinetik energiyasi

$$E_k=\frac{m\vartheta^2}{2}=\frac{p^2}{2m} \tag{5.10}$$

bu yerda $p=m\vartheta$–jism impulsi.

Potensial energiya – umumiy holda mexanik energiyaning bir qismi bo'lib, jismlarning bir-biriga nisbatan qanday holatda turishi va ular orasidagi ta'sir kuchlarining tavsifiga bog'liq. Agarda jismlarning o'zaro ta'siri kuch maydonlari orqali (gravitatsion maydon, elektromagnit maydon) bajarilsa, u holda jismni ko'chirishda bajarilgan ish birinchi va ikkinchi nuqtalar orasidagi trayektoriyaga bog'liq bo'lmay, boshlang'ich va oxirgi holatiga bog'liq bo'ladi. Bunday ish bajaradigan maydonlar potensial maydon deyiladi.

Kuchning potensial maydonida turgan jism E_p - potensial energiyaga ega bo'ladi.

$$dA = dE_p = FdS$$

$F = P = mg$ va $dS = dh$ ekanligidan,

$$E_p = \int_0^h mgdh = mgh \tag{5.11}$$

Bu yerda potensial energiya h balandlikdan tushayotgan m massali jismning bajargan ishiga teng.

Moddiy nuqtalar tizimining to'liq mexanik energiyasi mexanik harakat va o'zaro ta'sir energiyalari yig'indisiga teng:

$$E = E_k + E_p \tag{5.12}$$

Oralarida faqat konservativ kuchlar ta'sir ko'rsatayotgan N ta jismdan tashkil topgan tizimni ko'rib chiqsak, ixtiyoriy bitta jism boshqa jismlarga nisbatan boshlang'ich va oxirgi holatlariga bog'liq bo'lgan ish bajaradi. Demak, jismlarning har bir o'zaro vaziyatiga (har bir konfiguratsiyasiga) E_p potensial energiyaning ma'lum qiymatini ko'rsatish va bir konfiguratsiyadan boshqa konfiguratsiyaga o'tgan vaqtda konservativ kuchlar bajargan ishni shu konfiguratsiyalarga mos qiymatlarning ayirmasi sifatida bajarish mumkin ekan:

$$A_{12} = E_{p1} - E_{p2} \tag{5.13}$$

Tizimning jismlariga ichki konservativ kuchlardan tashqari tashqi kuchlar ham ta'sir ko'rsatadi. i - jismga qo'yilgan barcha kuchlar bajargan ishni ichki kuchlar bajargan ish $(A_{12})_i$ va berilgan jismga ta'sir qiluvchi tashqi kuchlar A_i' bajargan ishining yig'indisiga teng. To'liq ish esa kinetik energiyaning ortishiga sarf bo'ladi:

$$(A_{12})_i + A_i' = (E_{k2})_i - (E_{k1})_i \tag{5.14}$$

Tizimdagi barcha jismlar bo'yicha yig'indisi quyidagicha bo'ladi:

$$\sum(A_{12})_i + \sum A_i' = \sum(E_{k2})_i - \sum(E_{k1})_i \tag{5.15}$$

(5.15) ifodadagi yig'indilarning birinchisi tizimning boshlang'ich va oxirgi konfiguratsiyasi orasida o'tgan vaqt konservativ kuchlarning jismlar ustida bajargan ishdan iborat. (5.13) ga asosan ish potensial energiyaning jarayon boshidagi va oxiridagi qiymatlari ayirmasi ko'rinishida yoziladi:

$$(A_{12})_i = E_{p1} - E_{p2}$$

(5.13) ifodaning chap tomonidagi ikkinchi yig'indi tashqi kuchlar tomonidan tizim jismlari ustida bajarilgan to'la ishdan iborat. Uni A' bilan belgilaymiz.

Shunday qilib, (5.14) formulani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$E_{p1} - E_{p2} + A' = E_{k2} - E_{k1}.$$

Kelib chiqqan formulandan hadlarni gruppalaymiz:

$$A' = (E_{k2} + E_{p2}) - (E_{k1} + E_{p1}).$$

$$A' = E_2 - E_1 = \Delta E \qquad (5.16)$$

Demak, oralarida konservativ kuchlar ta'sir etayotgan jismlar tizimi to'liq energiyasining orttirmasi tizim jismlariga qo'yilgan tashqi kuchlarning bajargan ishiga teng ekan.Agar tizim yopiq bo'lsa, u vaqtda (5.16) ga binoan $\Delta E = 0$, bundan $E = const$ degan xulosa kelib chiqadi.

(5.16) formula mexanikaning asosiy qonunlaridan biri – energiyaning saqlanish qonunining mohiyatini aks ettiradi. Mexanikada bu qonun quyidagicha ta'riflanadi: *oralarida faqat konservativ kuchlar ta'sir etayotgan jismlar yopiq tizimining to'la mexanik energiyasi o'zgarmaydi.*

Agar yopiq tizimda konservativ kuchlardan tashqari nokonservativ kuchlar, masalan, ishqalanish kuchlari ta'sir qilayotgan bo'lsa, u holda tizimning to'la mexanik energiyasi saqlanmaydi. Nokonservativ kuchlarni tashqi kuchlar deb qarab quyidagi ifodani yozish mumkin:

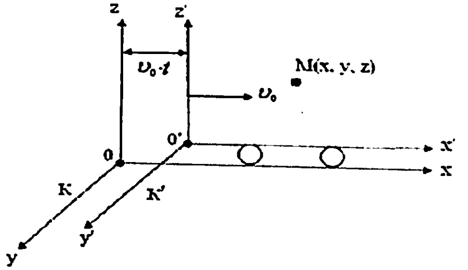
$$A_{n.k} = E_2 - E_1$$

bu yerda $A_{n.k.}$ – nokonservativ kuchlar bajargan ish. Ishqalanish kuchlari odatda manfiy ish bajaradi. Shuning uchun yopiq tizimda ishqalanish kuchlari bo'lsa, vaqt otishi bilan to'la mexanik energiyasi kamaya boradi. Ishqalanish kuchlarining ta'sirida mexanik energiya boshqa nomexanik turdagi energiyalarga aylanadi. Bunday hollarda umumiyroq bo'lgan saqlanish qonuni bajariladi.

Istalgan tashqi ta'sirdan himoyalangan (izolyatsiyalangan) tizimda energiyaning barcha turlarining (nomexanik turlari ham) yig'indisi o'zgarmaydi.

6-§. Noinersial sanoq tizimlari. Relyativistik mexanika

Bir-biriga nisbatan o'zgarmas $\bar{\vartheta}_0$ tezlik bilan harakatlanayotgan ikkita sanoq tizimini ko'rib chiqamiz. K sanoq tizimini shartli ravishda ko'chmas deb olamiz. U holda K' sanoq tizimi to'g'ri chiziqli va tekis harakatlanadi. K sanoq tizimining x, y, z koordinata o'qlarining hamda K' sanoq tizimining x', y', z' o'qlarini x bilan x' ustma-ust tushadigan y va y', shuningdek, z va z' o'qlar bir-biriga parallel yo'nalgan qilib tanlab olamiz (6.1-rasm).



6.1 - rasm. Bir-biriga nisbatan tekis va to'g'ri chiziqli harakat qilayotgan inersial sanoq tizimlar

Biror P nuqtaning K saniq tizimidagi x, y, z koordinatalari bilan xuddi shu nuqtaning K' sanoq tizimidagi x', y', z' koordinatalari orasidagi bog'lanishni topaylik. Agar vaqtni har ikkala sanoq tizimining koordinata boshlari ustma-ust turgan paytdan boshlab hisoblasak, u holda $x = x' + \vartheta_0 t$ bo'ladi. Undan tashqari, $y = y'$ va $z = z'$ bo'lishi ravshan. Bu munosabatlarga klassik mexanikada qabul qilingan ikkala sanoq tizimida ham vaqt bir xilda o'tadi, ya'ni $t = t'$ deb faraz qilsak, u holda quyidagi tenglamalar sistemasiga ega bo'lamiz:

$$\begin{cases} x = x' + \vartheta_0 t \\ y = y' \\ z = z' \\ t = t' \end{cases} \qquad (6.1)$$

(6.1) munosabat *Galiley almashtirishlari* deyilib, vaqt bo'yicha integrallasak, moddiy nuqtaning K va K' sanoq tizimlaridagi orasidagi bog'lanish kelib chiqadi:

$$
\begin{cases}
\dfrac{dx}{dt}=\dfrac{dx'}{dt}+\vartheta_0 \rightarrow \vartheta_x=\vartheta'_x+\vartheta_0 \\
\dfrac{dy}{dt}=\dfrac{dy'}{dt} \rightarrow \vartheta_y=\vartheta'_y \\
\dfrac{dz}{dt}=\dfrac{dz'}{dt} \rightarrow \vartheta_z=\vartheta'_z
\end{cases}
\quad (6.2)
$$

(6.2) munosabatdan K va K' sanoq tizimlaridagi tezliklar orasidagi bo'lanish quyidagicha yoziladi:

$$\vec{\vartheta}=\vec{\vartheta}'+\vec{\vartheta}_0 \quad (6.3)$$

(6.3) munosabatni vaqt bo'yicha differensiallasak:

$$\frac{d\vec{\vartheta}}{dt}=\frac{d\vec{\vartheta}'}{dt} \rightarrow \vec{a}=\vec{a}' \quad (6.4)$$

Bundan biror jismning tezlanishi bir-biriga nisbatan to'g'ri chiziqli tekis harakatlanuvchi barcha sanoq tizimlarida bir xil bo'ladi degan xulosa kelib chiqadi. Bir inersial sanoq tizimidan ikkinchisiga o'tganda dinamika qonunlari o'zgarmaydi, ya'ni odatda aytilishicha, koordinatalarning bir inersial sanoq tizimidan ikkinchisiga o'tishi fizikaviy kattaliklarga nisbatan invariantdir.

Barcha mexanik hodisalar turli inersial sanoq tizimlarida bir xil sodir bo'lganligi sababli hech qanday mexanik tajribalar yordamida berilgan sanoq tizimini tinch turganligi yoki to'g'ri chiziqli va tekis harakat qilayotganligini bilib bo'lmasligi haqidagi bu qonun *Galileyning nisbiylik prinsipi* deyiladi.

K sanoq tizimining K' sanoq tizimiga nisbatan koordinatasini $t \neq t'$ hol uchun quyidagicha yozish mumkin:

$$x=\gamma(x'+\vartheta t') \quad (6.5)$$

va aksincha K' sanoq tizimining K sanoq tizimiga nisbatan koordinatasi:

$$x'=\gamma(x-\vartheta t) \quad (6.6)$$

Hodisaning K sanoq tizimidagi o'tgan t vaqtini aniqlaymiz:

$$t=\gamma\left[t'+\frac{x'}{\vartheta}\left(1-\frac{1}{\gamma^2}\right)\right] \quad (6.7)$$

Bu yerda γ-proporsionallik koeffisiyenti bo'lib, $\gamma=\dfrac{1}{\sqrt{1-\dfrac{\vartheta^2}{c^2}}}$. Natijada (6.5), (6.6), (6.7) formulalardan quyidagi tenglamalar sistemasi kelib chiqadi:

$$\begin{cases} x=\dfrac{x^{'}+\vartheta t^{'}}{\sqrt{1-\dfrac{\vartheta^2}{c^2}}} \\ y=y^{'} \\ z=z^{'} \\ t=\dfrac{t^{'}+\dfrac{\vartheta}{c^2}x^{'}}{\sqrt{1-\dfrac{\vartheta^2}{c^2}}} \end{cases} \tag{6.8}$$

(6.8) munosabat *Lorens almashtirishlari* deb yuritiladi. Lorens almashtirishlarini Galiley almashtirishlariga o'tkazish qiyin emas. $\vartheta << c$ hol uchun $\gamma = 1$ bo'ladi va (6.1) munosabat kelib chiqadi.

Lorens almashtirishlariga bir necha misollar keltiramiz:

1) Biror bir tizimning har xil nuqtalarida bir vaqtda sodir bo'layotgan hodisalar, boshqa tizimda bir vaqtda sodir bo'lmasligi mumkin.

K - sanoq tizimida t_1 va t_2 vaqt momentlari quyidagicha bo'ladi:

$$t_1=\frac{t_1'+\dfrac{\vartheta_0 x_1'}{c^2}}{\sqrt{1-\dfrac{\vartheta_0^2}{c^2}}},\ t_2=\frac{t_2'+\dfrac{\vartheta_0 x_2'}{c^2}}{\sqrt{1-\dfrac{\vartheta_0^2}{c^2}}} \tag{6.9}$$

Lorens almashtirishlaridan foydalanib K – tizimdagi vaqtni quyidagicha ifodalaymiz:

$$\Delta t=t_2-t_1=\frac{t_2'+\dfrac{\vartheta_0}{c_2}x_2'}{\sqrt{1-\dfrac{\vartheta_0^2}{c^2}}}-\frac{t_1'+\dfrac{\vartheta_0}{c_2}x_1'}{\sqrt{1-\dfrac{\vartheta_0^2}{c^2}}}=\frac{\Delta t^{'}}{\sqrt{1-\dfrac{\vartheta_0^2}{c^2}}} \tag{6.10}$$

K sanoq tizimida sterjenning uzunligi

$$l_0=x_2-x_1$$

bo'ladi, K'- tizimda esa

$$l=x_2'-x_1'$$

bu yerda $t_1'=t_2'$. Lorens almashtirishlariga asosan

$$l_0=x_2-x_1=\frac{x_2'+\vartheta_0 t_2'}{\sqrt{1-\dfrac{\vartheta_0^2}{c^2}}}-\frac{x_1'+\vartheta_0 t_1'}{\sqrt{1-\dfrac{\vartheta_0^2}{c^2}}}=\frac{l}{\sqrt{1-\dfrac{\vartheta_0^2}{c^2}}}$$

yoki

$$l=l_0\cdot\sqrt{1-\frac{\vartheta_0^2}{c^2}} \tag{6.11}$$

Sterjen tinch holatda bo'lgan K - sanoq tizimiga nisbatan ϑ_0 – tezlik bilan harakatlanayotgan K' - sanoq tizimida sterjenning uzunligi $\sqrt{1-\frac{\vartheta_0^2}{c^2}}$ marta kichik.

Tizimning ϑ_0– tezligi, yorug'lik tezligiga yaqinlashishi bilan, sterjenning uzunligi nolga tenglashadi va uning haqiqiy uzunligi yo'qola boradi.

Tezliklarni qo'shishning relyativistik ifodasi quyidagicha bo'ladi:

$$\vartheta_x' = \frac{\vartheta_x - \vartheta_0}{1-\frac{\vartheta_0}{c^2}\vartheta_x} \tag{6.12}$$

Klassik mexanikaga asosan, jismning massasi o'zgarmasdir. Ammo, zarrachalar tezligining oshishida o'tkazilgan tajribalarda massaning tezlikka bog'liqligi kuzatilgan

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{\upsilon_0^2}{c^2}}} \tag{6.13}$$

bu yerda m_0 – tinch holatda turgan elektronning massasi, m – relyativistik massa deb ataladi.

Nyutonning II qonuniga asosan:

$$\vec{F} = m\frac{d\vec{\vartheta}}{dt} \tag{6.14}$$

Moddiy nuqta relyativistik dinamikasining asosiy qonunini shunday yozish mumkin:

$$\vec{F} = \frac{d}{dt}\left(\frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{\vartheta_0^2}{c^2}}}\cdot\vec{\vartheta}\right) \tag{6.15}$$

ёки

$$\vec{P} = m\vec{\vartheta} = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{\vartheta_0^2}{c^2}}}\cdot\vec{\vartheta} \tag{6.16}$$

Bu moddiy nuqtaning relyativistik impulsidir. A.Eynshteyn alohida absolyut sanoq tizimi vazifasini o'tashi mumkin bo'lgan muhit – olam efiri mavjud emasligini ta'kidlagan. Shunga asosan Eynshteyn Galileyning nisbiylik prinsipini barcha fizikaviy hodisalarga tadbiq qildi va o'zining ikkita postulatini yaratdi.

1. Tabiatning barcha qonunlari bir inersial sanoq tizimidan ikkinchisiga o'tishiga nisbatan invariantdir.

2. Yorug'lik tezligi vakuumda barcha inersial sanoq tizimlari uchun bir xil bo'lib yorug'lik manbai hamda qabul qilgichning tezligiga bog'liq emas.

Nisbiylik prinsipi va yorug'lik tezligining o'zgarmaslik prinsipi o'z mazmuni bilan fazo va vaqtning fizikaviy nazariyasi hisoblanib, maxsus nisbiylik nazariyasining asosini tashkil qiladi.

6.1-§. Dasturlash tilida harakatni grafik ko'rinishda tasvirlash uslublari

Borland C++ builder6 dasturlash tili ob'ektga yo'naltirilgan vizual dasturlash tili bo'lib Borland firmasi tomonidan ishlab chiqilgan va hozirgi kungacha ishlatib kelinmoqda. Borland C++ dasturlash tilini yaxshi o'rganish uchun avvalo oddiy fizik jarayonlarni vizuallshtirish, matematik amallarni vizuallashtirish kabi jarayonlar muhim ahamiyatga ega. Borland C++ dasturlash tili C va C++ dasturlash tillarining uzviy davomi bo'lib yuqori imkoniyatlarga ega. So'ngi vaqtlarda Visual Studio, Embarcadero RAD studio kabi bir necha tillarni o'zida jamlagan android dasturlash tillari ham ishlab chiqilgan. Har qanday dasturlash tilini mukammal o'rganish uchun oddiylikdan boshlash va aniq bir yo'nalishda reja asosida natijaga erishishga intilish kerak bo'ladi.Shuni inobatga olib, quyida ba'zi funksiyalarning grafiklarini hosil qilishda C++ dasturlash tilidan foydalanish uslublarini ko'rsatib o'tamiz.

1-uslub.Gorizontga α burchak ostida ϑ_0 boshlang'ich tezlik bilan otilgan jism trayektoriyasi paraboladan iborat bo'lib, harakat tenglamasini vertikal y va gorizontal x o'qlari bo'yicha:

$$y=\vartheta_y t-gt^2/2,\ x=\vartheta_x t \qquad (6.1.1)$$

ko'rinishda yozish mumkin. Boshlang'ich tezlikning vertikal va gorizontal o'qlardagi proyeksiyalari mos ravishda $\vartheta_y=\vartheta_0\sin\alpha$, $\vartheta_x=\vartheta_0\cos\alpha$. Harakatlanish vaqtining $t=\dfrac{x}{\vartheta_x}=\dfrac{x}{\vartheta_0\cos\alpha}$ ga teng qiymatini (2) tenglamaga o'rniga qo'yadigan bo'lsak,

$$y=tg\alpha\cdot x-\frac{g}{2\vartheta_0^2\cos^2\alpha}\cdot x^2 \qquad (6.1.2)$$

tenglikka ega bo'lamiz. (6.1.2) tenglamadan x–argument, y–kvadrat funksiya bo'lib, uning grafigi paraboladan iborat.

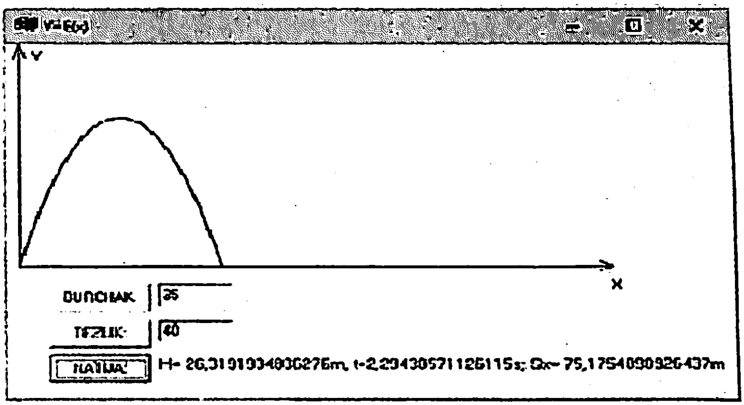
Borland C++ dasturlash tilini ishga tushiramiz:*Borland C++->File->New->Application.*Yangi formaga komponentalar palitrasidan kerakli komponentalarni formaga joylashtiramiz:

1. **Standard** tarkibidan **Label, Button** va **Edit** komponentalari formaga joylashtiriladi;
2. **System** tarkibidan **PaintBox**komponentasi formaga joylashtiriladi;
3. Standart tarkibidan olingan **Button1** tugmachasiga sichqonchaning o'ng tugmachasini ketma-ket ikki marta bosib quyidagicha dastur kodlarini kiritiladi:

```
void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)
{
double g=10,t,v0,pi=3.1415926;
double x,x1,f,h,x2,x0,y0,fx,fy;
f=StrToInt(Edit1->Text);
v0=StrToInt(Edit2->Text);
x=v0*v0*sin(2*pi*f/180)/(2*g);
t=x/(v0*cos(pi*f/180));
h=v0*sin(pi*f/180)*t-g*t*t/2;
Label1->Caption="H= "+FloatToStr(h)+"m; t="+FloatToStr(t)+"s;
Sx= "+FloatToStr(x)+"m";
x0=10;y0=200;x1=0;x2=400;
x=x1;
while (x<x2)
    {
 t=x/(v0*cos(pi*f/180));
 fx=x0+x;
 fy=y0-5*(v0*sin(pi*f/180)*t-g*t*t/2);
 PaintBox1->Canvas->Pixels[fx][fy]=clBlue;
 x=x+0.0005;
    }

}
```

Kompilyatsiya jarayoni amalga oshirilgach quyidagi natija kelib chiqadi:



2-uslub. To'g'ri chiziqli tekis o'zgaruvchan harakat tenglamasi

$$x(t) = x_0 + \vartheta_0 t + \frac{at^2}{2} \qquad (6.1.3)$$

ko'rinishga ega. Bu yerda x_0 – boshlang'ich koordinata, ϑ_0 – boshlang'ich tezlik, a – tezlanish, t – vaqt. (6.1.3) formula grafigi paraboladan iborat bo'lib, agar $x(t) = S$ – bosib o'tilgan yo'l va $x_0 = S_0$ kabi belgilasak, (6.1.3) formula quyidagi ko'rinishga keladi:

$$S = S_0 + \vartheta_0 t + \frac{at^2}{2} \qquad (6.1.4)$$

C++ dasturlash tilida formaga har bir o'zgarmas kattaliklar S_0, ϑ_0, a uchun komponentalar palitrasidan:

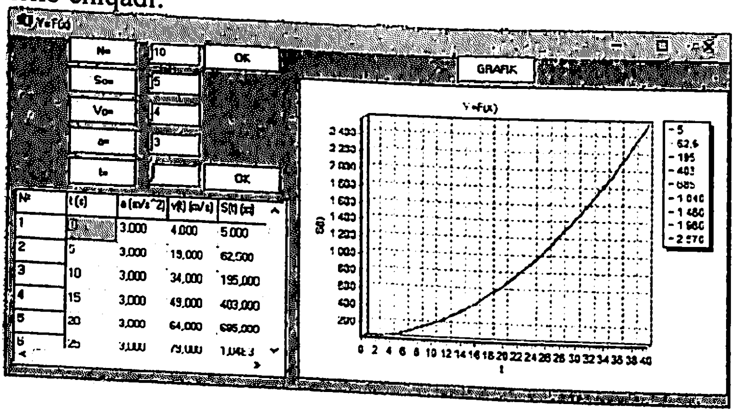
1. **Standart** tarkibidan **Edit** komponentalari;
2. Jadval hosil qilish uchun **Additional** tarkibidan **StringGrid** komponentasi;
3. Grafik hosil qilish uchun **Additional** tarkibidan **Chart** komponentasi joylashtiriladi.

Button5 va **Button7** tugmachalari ustiga sichqonchaning o'ng tugmashasini ikki marta ketma-ket bosish orqali quyidagi dastur kodlari kiritiladi:

void __fastcall TForm1::Button7Click(TObject *Sender)
{
double S,S0,a,t,v0,v;
int i,q;
k++;
i=k+1;
	{
	for(int i=1; i<StringGrid1->RowCount-1; i++)
	{
	Form1->Chart1->Series[0]->AddXY(StrToFloat(Form1->StringGrid1->Cells[1][i]),StrToFloat(Form1-

```
  q=StrToInt(LabeledEdit1->Text);
  StringGrid1->Cells[1][i]=Edit4-
>Text;
  Edit4->Text="";
  S0=StrToFloat(Edit2->Text);
  a=StrToFloat(Edit1->Text);
  v0=StrToFloat(Edit3->Text);
  t=StrToFloat(StringGrid1-
>Cells[1][i]);
  v=v0+a*t;
  Form1->Edit5-
>Text=FloatToStrF(v,ffFixed,3,3);
  Form1->StringGrid1-
>Cells[3][i]=Edit5->Text;
  a=a;
  Form1->Edit6-
>Text=FloatToStrF(a,ffFixed,3,3);
  StringGrid1->Cells[2][i]=Edit6-
>Text;
  S=S0+v0*t+a*t*t/2;
  Form1->Edit7-
>Text=FloatToStrF(S,ffFixed,3,3);
  StringGrid1->Cells[4][i]=Edit7-
>Text;
>StringGrid1-
>Cells[4][i]),"",clGreen);
    }
}
if (i==q)
      {
 Button5->Click();
      }
 }
void __fastcall
TForm1::Edit4KeyPress(TObject
*Sender, char &Key)
{
if (Key==VK_RETURN)
    {
 Button7->Click();
    }
}
void __fastcall
TForm1::Button5Click(TObject
*Sender)
```

Kompilyatsuya jarayoni amalga oshirilgach jadval qatorlari soni - N, S_0, ϑ_0, a, kiritilib, vaqt t ga ketma-ket qiymatlar berilsa quyidagi natija kelib chiqadi:



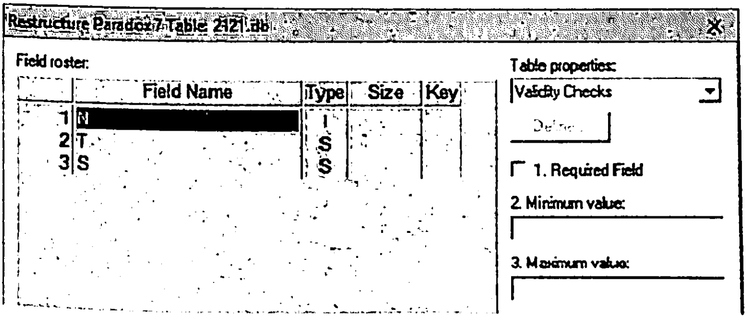
3-uslub. (6.1.4) formulaga asosan vaqt t va bosib o'tilgan yo'l S ni o'zaro bog'lanishini jadval ko'rinishdagi ma'lumotlar bazasini hosil qiliamiz va hosil qilingan jadval ma'lumotlarni avtomatik ravishda grafik ko'rinishga o'tkazamiz.

Borland C++ builder dasturlash tilining ma'lumotlar bazasi bilan ishlaydigan asosiy utilitasini **DataBase DeskTop** ishga tushiramiz:

1.*Пуск* $\rightarrow$ *Все программы* $\rightarrow$ *Borland C++builder6* $\rightarrow$ *DataBase DeskTop*;

2.*File* $\rightarrow$ *New* $\rightarrow$ *Table.*

Hosil qilingan jadvalni 2121.db nom bilan saqlaymiz.



Dasturlash tilini ishga tushirib formaga komponentalar palitrasidan **Data Access** tarkibidan **DataSource, BDE** tarkibidan **Table, Data Controls** tarkibidan **DBGrid** va **DBChart** komponentalarini joylashtiramiz.

Komponentalar xossalari qiyidagicha belgilanadi:

1.*DBGrid* $\rightarrow$ *Name* $\rightarrow$ *DataSource*1;

2.*DataSource*1 $\rightarrow$ *DataSet* $\rightarrow$ *Table*1;

3.*Table* $\rightarrow$ *DatabaseName* $\rightarrow$ *DefoultDD*,

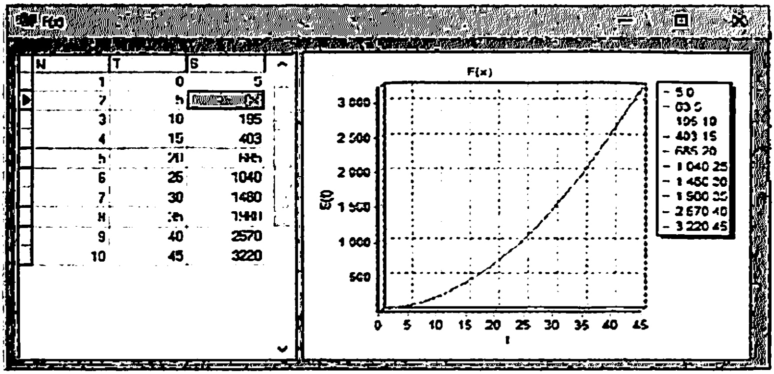
Name $\rightarrow$ *Table*1, *TableName* $\rightarrow$ 2121.*db*, *Active* $\rightarrow$ *True.*

DBChart komponentasi uchun quyidagi ketma-ketlik bajariladi:

1.*DBChart* $\rightarrow$ *Add* $\rightarrow$ *FastLine*;

2.*DBChatr* $\rightarrow$ *Series* $\rightarrow$ *DataSource* $\rightarrow$ *Dataset* : Table1.

Kompillyatsiya amalga oshirilgach jadvalga qiymatlar kiritiladi va natijada grafik tasvir quyidagicha bo'ladi:



Agar jadval qiymatlari o'zgartilrilsa, grafik tasvir ham mos ravishda o'zgaradi va hech qanday dastur kodi yozilmaydi.

Yuqorida ko'rsatib o'tilgan uslublarning har birini o'zining afzallik va kamchilik tomonlari mavjud. Birinchi uslubda harakatni vizuallashtirish imkoniyati mavjud bo'lib, funksiya argument qiymatiga mos qiymat qabul qiladi, bunda argument kattaligini o'zgartirish imkoniyati mavjud emas. Ikkinchi uslubda jadval hosil qilish va hosil qilingan jadval qiymatlarini grafik tasvirlash imkoniyati yuqori. Uchinchi uslubda axborot almashinuvchi ma'lumotlar bazasini hosil qilish va boshqarish orqali grafiklar yasashda yuqori imkoniyatga ega.

Keltirib o'tilgan dasturlash uslublarining ta'lim jarayonidagi samaradorligi quyidagilardan iborat:

1. *Vaqt samaradorligi;*
2. *Iqtisodiy samaradorlik;*
3. *Xatoliklar samaradorligi;*
4. *Texnik va ekologik samaradorlik;*
5. *Kasbiy faoliyatga tayyorlash samaradorligi.*

Ta'lim berishda matematik tabiiy-ilmiy, umumkasbiy va ixtisoslik fanlar integratsiyasini ta'minlash, fizik jarayonlarni matematik modellashtirish, algoritmlash, dasturlash, yuqori sifatli dizayn, keng qamrovli pedagogik tajriba-sinov muhim ahamiyat kasb etadi. Muhandislik paradigmalariga asoslangan ta'lim, ishlab chiqarish va ta'lim o'rtasidagi uzviy aloqa kasbiy kompetensiyalari rivojlangan dasturchi muhandislarni tayyorlashni kafolatlaydi.

6.2-§. Dasturlash tilida gorizontga burchak ostida otilgan jism harakatini vizuallashtirish

Delphi7 dasturlash tilida dastur kodlari quyidagicha bo'ladi:

```
unit Unit1;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls,
Forms,
  Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, TeeProcs, TeEngine, Chart, Grids, Buttons,
  Series, Menus;
type
  TForm1 = class(TForm)
    MainMenu1: TMainMenu;
    YURIQNOMA1: TMenuItem;
    Edit7: TEdit;
    Edit6: TEdit;
    Edit5: TEdit;
    StringGrid1: TStringGrid;
    BitBtn2: TBitBtn;
    Panel3: TPanel;
    Label1: TLabel;
    LabeledEdit1: TLabeledEdit;
    BitBtn5: TBitBtn;
    PECHAT1: TMenuItem;
    ASOSIYOYNA1: TMenuItem;
    YURIQNOMA2: TMenuItem;
    KALKULYATOR1: TMenuItem;
    DASTURHAQIDA1: TMenuItem;
    Panel1: TPanel;
    Label9: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Edit4: TEdit;
    Panel4: TPanel;
    BitBtn3: TBitBtn;
    Button2: TButton;
    Edit2: TEdit;
    Label3: TLabel;
    Label2: TLabel;
```

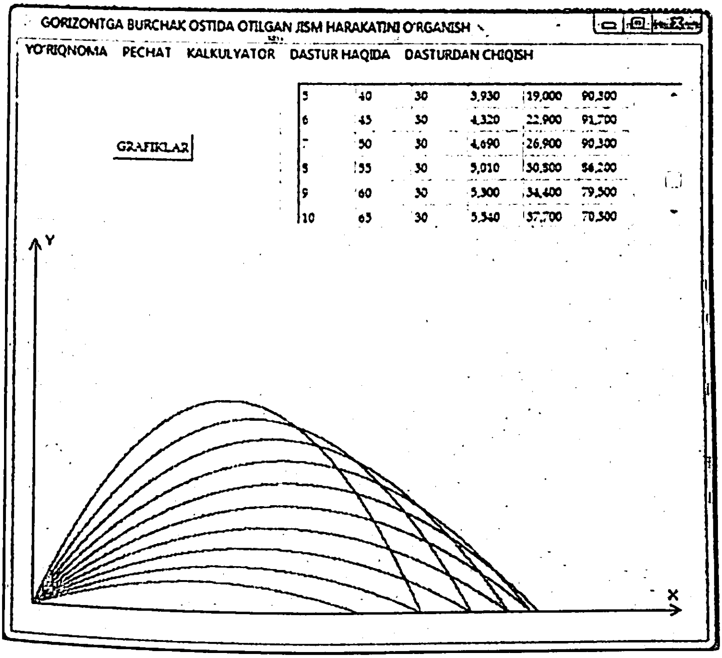
```
    PaintBox1: TPaintBox;
    DASTURDANCHIQISH1: TMenuItem;
    PaintBox2: TPaintBox;
    procedure BitBtn9Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
    procedure YURIQNOMA1Click(Sender: TObject);
    procedure YURIQNOMA2Click(Sender: TObject);
    procedure DASTURHAQIDA1Click(Sender: TObject);
    procedure KALKULYATOR1Click(Sender: TObject);
    procedure ASOSIYOYNA1Click(Sender: TObject);
    procedure LabeledEdit1KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
    procedure FormShow(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure Edit2KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
    procedure Edit4KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
    procedure GRAFIK1Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
    procedure DASTURDANCHIQISH1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
 var
  Form1: TForm1;
  var i:integer;
  x0,y0,x1,x2,fx,fy:integer;
  x,g,f,t0,v0,h:real;
  j,q:integer;
implementation
uses Unit2, Unit3, Unit4, Math, Unit5;
{$R *.dfm}
procedure TForm1.BitBtn9Click(Sender: TObject);
var
j:Integer;
begin
 q:=StrToInt(LabeledEdit1.Text);
 for j:=1 to q do
 StringGrid1.Cells[0,j]:=IntToStr(j);
```

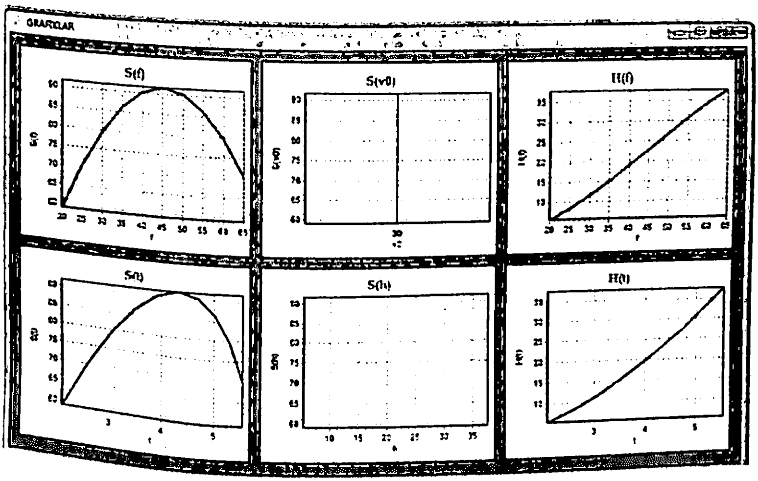
```
 Panel3.Visible:=False;
 StringGrid1.RowCount:=q+1;
 StringGrid1.Cells[0,0]:='i';
 StringGrid1.Cells[1,0]:='f (grad.)';
 StringGrid1.Cells[2,0]:='v0 (m/s)';
 StringGrid1.Cells[3,0]:='t (s)';
 StringGrid1.Cells[4,0]:='h (m)';
 StringGrid1.Cells[5,0]:='s (m)';
 Windows.SetFocus(Edit4.Handle);
end;
procedure TForm1.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin
  g:=9.81;
  i:=i+1;
  q:=StrToInt(LabeledEdit1.Text);
  StringGrid1.Cells[1,i]:=Edit4.Text;
  Edit4.Text:='';
  StringGrid1.Cells[2,i]:=Edit2.Text;
  Edit2.Text:='';
  if i=q then Panel1.Visible:=False;
  f:=StrToFloat(StringGrid1.Cells[1,i]);
  v0:=StrToFloat(StringGrid1.Cells[2,i]);
  x:=v0*v0*sin(2*pi*f/180)/g;
  Form1.Edit5.Text:=FloatToStrF(x,ffFixed,3,3);
  StringGrid1.Cells[5,i]:=Edit5.Text;
  t0:=2*v0*sin(pi*f/180)/g;
  Form1.Edit6.Text:=FloatToStrF(t0,ffFixed,3,3);
  StringGrid1.Cells[3,i]:=Edit6.Text;
  h:=v0*v0*(sin(pi*f/180)*sin(pi*f/180))/(2*g);
  Form1.Edit7.Text:=FloatToStrF(h,ffFixed,3,3);
  StringGrid1.Cells[4,i]:=Edit7.Text;
end;
procedure TForm1.Edit2KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
begin
if Key=chr(VK_RETURN)
then begin
    BitBtn2.Click;
    Button2.Click;
    Windows.SetFocus(Edit4.Handle);
```

```
    end;
end;
procedure TForm1.YURIQNOMA1Click(Sender: TObject);
begin
Form2.Show;
Form2.frxReport1.ShowReport();
end;
procedure TForm1.YURIQNOMA2Click(Sender: TObject);
begin
Form2.frxReport1.ShowReport();
Form2.frxReport1.Print;
end;
procedure TForm1.DASTURHAQIDA1Click(Sender: TObject);
begin
Form3.Show;
end;
procedure TForm1.KALKULYATOR1Click(Sender: TObject);
begin
Form4.Show;
end;
procedure TForm1.ASOSIYOYNA1Click(Sender: TObject);
begin
Form1.Show;
Form1.PrintScale:=poPrintToFit;
Form1.Print;
end;
procedure TForm1.LabeledEdit1KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
begin
if Key=chr(VK_RETURN)
then begin
    BitBtn5.Click;
    PaintBox1.Canvas.MoveTo(10,340);
    PaintBox1.Canvas.LineTo(10,10);
    PaintBox1.Canvas.MoveTo(600,340);
    PaintBox1.Canvas.LineTo(10,340);
    PaintBox1.Canvas.TextOut(20,5,'Y');
    PaintBox1.Canvas.TextOut(590,320,'X');
    PaintBox1.Canvas.MoveTo(600,340);
```

```
   PaintBox1.Canvas.LineTo(590,335);
   PaintBox1.Canvas.MoveTo(600,340);
   PaintBox1.Canvas.LineTo(590,345);
   PaintBox1.Canvas.MoveTo(15,20);
   PaintBox1.Canvas.LineTo(10,10);
   PaintBox1.Canvas.MoveTo(5,20);
   PaintBox1.Canvas.LineTo(10,10);
   end;
end;
procedure TForm1.FormShow(Sender: TObject);
begin
Windows.SetFocus(LabeledEdit1.Handle);
end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
g:=9.81;
x0:=10;y0:=340;
x1:=0;x2:=170;
x:=x1;
while (x<x2) do
begin
 t0:=x/(v0*cos(pi*f/180));
 fx:=x0+round(5*x);
 fy:=y0-round(5*(v0*sin(pi*f/180)*t0-g*t0*t0/2));
 PaintBox2.Canvas.Pixels[fx,fy]:=clGreen;
 x:=x+0.0005;
end;
end;
procedure TForm1.Edit4KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
begin
if Key=chr(VK_RETURN)
then begin
    Windows.SetFocus(Edit2.Handle);
    end;
end;
procedure TForm1.GRAFIK1Click(Sender: TObject);
begin
Form5.Show;
end;
```

```
procedure TForm1.BitBtn3Click(Sender: TObject);
var
i:integer;
begin
Form5.Show;
for i:=1 to StringGrid1.RowCount-1 do
  begin
Form5.Chart1.Series[0].AddXY(StrToFloat(StringGrid1.Cells[1,i]),StrT
oFloat(StringGrid1.Cells[5,i]),'',clGreen);
Form5.Chart2.Series[0].AddXY(StrToFloat(StringGrid1.Cells[2,i]),StrT
oFloat(StringGrid1.Cells[5,i]),'',clRed);
Form5.Chart3.Series[0].AddXY(StrToFloat(StringGrid1.Cells[3,i]),StrT
oFloat(StringGrid1.Cells[5,i]),'',clBlack);
Form5.Chart4.Series[0].AddXY(StrToFloat(StringGrid1.Cells[4,i]),StrT
oFloat(StringGrid1.Cells[5,i]),'',clGreen);
Form5.Chart5.Series[0].AddXY(StrToFloat(StringGrid1.Cells[1,i]),StrT
oFloat(StringGrid1.Cells[4,i]),'',clGreen);
Form5.Chart6.Series[0].AddXY(StrToFloat(StringGrid1.Cells[3,i]),StrT
oFloat(StringGrid1.Cells[4,i]),'',clGreen);
  end;
end;
procedure TForm1.DASTURDANCHIQISH1Click(Sender: TObject);
begin
Form1.Close;
end;
end.
```


GORIZONTGA BURCHAK OSTIDA OTILGAN JISM HARAKATINI O'RGANISH
YO'RIQNOMA
PECHAT
KALKULYATOR
DASTUR HAQIDA
DASTURDAN CHIQISH
GRAFIKLAR
5 40 30 3,930 19,000 90,300
6 45 30 4,320 22,900 91,700
7 50 30 4,690 26,900 90,300
8 55 30 5,010 30,800 86,200
9 60 30 5,300 34,400 79,500
10 65 30 5,540 37,700 70,500
Y
X


GRAFIKLAR
S(f)
S(v0)
H(f)
S(t)
S(h)
H(t)

REFERAT

Gorizontga burchak ostida otilgan jism harakatini o'rganish

(Электронная программа изучение движения тела брошенного под углом к горизонту)

Qo'llanish sohasi:

Mazkur dasturdan oliy ta'lim muassasalari, akademik litseylar, umumta'lim maktablari va nodavlat ta'lim muassasalari (o'quv markazlari)da kinematika qonunlarini o'qitish sifati va samaradorligini oshirish maqsadida hamda fizikadan amaliy va laboratoriya mashg'ulotlarida foydalanish mumkin.

Dasturning funksional imkoniyatlari:

- Dasturdan foydalanish qulayligi va soddaligi;
- Fizik kattaliklarni avtomatik hisoblash;
- Jadvalni avtomatik to'ldirish;
- Yuqori sifatli grafik tasvir;
- Masofaviy ta'limni qo'llab-quvvatlash;
- Fizik kattaliklarni kiritish va hisoblash tezkorligi;
- Mavjud qog'ozbozlikni kamaytirish;
- Ta'lim sifati va samaradorligini oshirish.

EHM toifasi: Barcha turdagi Pentium IV kompyuterlari;
Operatsion tizim: Windows XP, Windows 7, Windows 8, Windows 10;
Dasturlash tili: Borland Delphi7 dasturlash tilida yozilgan;
Dasturni yozishda **Windows10** operatsion tizimidan foydalanilgan;
Dastur hajmi: 1.77 Mb.

Nazorat savollari

1. Ilgarilanma va aylanma harakatlar uchun asosiy kinematik kattaliklarni ta'riflang va formulalarini yozing, ular orasidagi bog'lanish formulalarini yozing.
2. Egri chiziqli harakatda tezlik va tezlanishlarni tashkil etuvchilarini tushuntirib bering. Normal va tangensial tezlanishlarni ma'nosini tushuntiring.

3. Aylanma harakat kinematikasining asosiy kattaliklarini (burchak tezlik, tezlanish) vektor yo'nalishlari qanday topiladi?
4. Massa deb nimaga aytiladi? Kuch tushunchasida qanday ma'no yotadi?
5. Dinamikaning asosiy qonunlari, Nyuton qonunlarini tushuntiring. Bu qonunlar qanday sanoq tizimlari uchun o'rinli.
6. Tabiatdagi kuchlarni izohlab tushuntirib bering.
7. Impuls va impulsning saqlanish qonunini tushuntirib bering. Kuch momenti nima? Impuls momenti va uning saqlanish qonunini tushuntiring. Kuch va impuls momentlarini vektor yo'nalishlarini aniqlab bering.
8. Energiya, ish, quvvat tushunchalarini aniqlab bering.
9. Qanday mexanik energiya turlarini bilasiz? Mexanik energiyani saqlanish qonuni qanday tizimlar uchun to'g'ri bo'ladi?
10. Konservativ va dissipativ kuchlar qanday kuchlar? Nima uchun tortishish kuchlar maydoni potensial maydon deyiladi?

Masala yechish namunalari

1. Avtomobil o'z harakati vaqtining birinchi yarmini 80 km/soat tezlik bilan, qolgan vaqtida 40km/soat tezlik bilan harakatlangan. Avtomobil harakatining o'rtacha tezligi topilsin.

Berilgan: $\vartheta_1 = 80 km/soat,\ \vartheta_2 = 40 km/soat,\ t_1 = t_2 = t/2$.

Topish kerak: $\vartheta_{o'rt} - ?$

Yechilishi: To'g'ri chiziqli notekis harakatda o'rtacha tezlik $\vartheta_{o'r} = \frac{S_{um}}{t_{um}}$ (1) formuladan aniqlanadi, bu yerda $t_1 = t_2 = \frac{t}{2}$, s_1 - avtomobilning t_1 vaqtda bosib o'tgan yo'li, s_2 - avtomobilning t_2 vaqtda bosib o'tgan yo'li va $S_{um} = S_1 + S_2$, $t_{um} = t_1 + t_2 = t$, $S_1 = \frac{\vartheta_1 t}{2}$, $S_2 = \frac{\vartheta_2 t}{2}$ ifodalarni 1-formulaga olib borib qo'ysak natijada $\vartheta_{o'r} = \frac{S_1 + S_2}{t_1 + t_2} = \frac{\vartheta_1 t + \vartheta_2 t}{2t} = \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{2} = 60 km/soat$. Javob: 60 $km/soat$.

2. Jismning bosib o'tgan yo'li S ning t vaqtga bog'lanishi $S = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$ tenglama orqali ifodalanadi, bu yerda $C = 0.14 m/s^2$, $D = 0.01 m/s^3$ ekanligi ma'lum bo'lsa, harakat boshlangandan qancha vaqt o'tgach tezlanishi $a = 1 m/s^2$ ga teng bo'ladi?

Berilgan: $S = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, $C = 0.14\ m/s^2$, $D = 0.01\ m/s^2$, $a = 1\ m/s^2$.

Topish kerak: $t-?$

Yechilishi: Umumiy holda tezlik $\vartheta=\frac{dS}{dt}$, tezlanish $a=\frac{d\vartheta}{dt}=\frac{d^2S}{dt^2}$ ekanligi uchun

$$\vartheta=\frac{dS}{dt}=\frac{d}{dt}(A+Bt+Ct^2+Dt^3)=B+2Ct+3Dt^2 \quad (1) \text{ va}$$

$$a=\frac{d\vartheta}{dt}=\frac{d}{dt}(B+2Ct+3Dt^2)=2C+6Dt \quad (2).$$

(2) ifodadan vaqt t ni topamiz: $t=\frac{a-2C}{6D}=12\ s.$ Javobi: $12\ s.$

3. Vertikal yuqoriga otilgan jism 3 sekund o'tgach yerga qaytib tushdi. Jismning boshlangich tezligi qanday bo'lgan? Jism qanday balandlikka ko'tarilgan? Havoning qarshiligi hisobga olinmasin.

Berilgan: $t_{um}=3\ s$

Topish kerak: $\vartheta_0-?$, $H-?$

Yechilishi: Bizga ma'lumki biror ϑ_0 tezlik bilan vertikal otilgan jism qancha vaqtda H balandlikka ko'tarilsa xuddi shuncha vaqtda yerga qaytib tushadi, shuning uchun $t_{um}=t_1+t_2=2t$, va undan

$$t_1=t/2 \quad (1)$$

deyishimiz mumkin. Agar t_1 vaqtni jismni H balandlikdan tushish vaqti deb qarasak u holda,

$$H=\frac{gt_1^2}{2} \quad (2)$$

bo'ladi, chunki H balandlikka ko'tarilgan jism qaytib tushayotganda boshlang'ich tezlikka ega bo'lmaydi, ya'ni erkin tushadi. (1) ifodadan foydalangan holda (2) dan H ni hisoblash qiyin emas: $H=\frac{gt_1^2}{2}\approx 11\ m.$

Endi masalada so'ralgan ϑ_0 boshlang'ich tezlikni topamiz. Bilamizki, biror H balandlikka ϑ_0 tezlik bilan vertikal otilgan jism shu balandlikdan erkin tushayotganda, yerga urilish paytda yana ϑ_0 tezlikka erishadi. Shuning uchun yerga urilish paytdagi tezlik ϑ ni otilgan boshlang'ich tezlik ϑ_0 ga teng deyish mumkin. H balandlikdan boshlang'ich tezliksiz erkin tushayotgan jismning yerga urilish paytdagi tezligi

$$\vartheta=gt_1 \quad (3)$$

$\vartheta=\vartheta_0$ bo'lgani uchun va (1) ifodaga ko'ra:

$$\vartheta_0=\frac{gt}{2} \quad (4)$$

(4) ifodadan ϑ_0 ni hisoblaymiz: $\vartheta_0\approx 14.7\ m/s.$ Javobi: $H\approx 11\ m$, $\vartheta_0\approx 14.7\ m/s.$

4. Nuqta $R=2sm$ radiusli aylana bo'ylab harakatlanadi, yo'lning vaqtga bog'lanishi $S=Ct^3$ tenglama orqali berilgan, bunda $C=0.1sm/s^2$, chiziqli tezlik $\vartheta=0.3\ m/s$ bo'lsa, normal va tangensial tezlanishlarni toping.

Berilgan: $R=2sm=2\cdot10^{-2}\,m,\ S=Ct^3,\ C=0.1\,sm/s^3=10^{-3}\,m/s^3,\ \vartheta=0.3m/s$

Topish kerak: $a_t-?,\ a_n-?$

Yechilishi: Quyidagilarga egamiz:

$a_n=\frac{\vartheta^2}{R}$ (1), $\vartheta=\frac{dS}{dt}=\frac{d}{dt}(Ct^3)=3Ct^2$ (2), bundan $t=\sqrt{\frac{\vartheta}{3C}}=10\,s$. Tangensial tezlanish uchun: $a_t=\frac{d\vartheta}{dt}=\frac{d}{dt}(3Ct^2)=6Ct$ (3). (1) ifoda orqali a_n ni hisoblaymiz: $a_n=4.5\,m/s^2$. (3) ifoda orqali a_t ni hisoblaymiz: $a_t=0.06\,m/s^2$.

Javobi: $a_n=4.5\,m/s^2,\ \ a_t=0.06\,m/s^2$.

5. G'ildirak o'zgarmas $\varepsilon=2\ rad/s^2$ burchak tezlanish bilan aylanmoqda, harakat boshlangandan $t=0.5\,s$ o'tgach, uning gardishidagi nuqtaning to'la tezlanishi $a=13.6\ sm/s^2$ ga teng bo'lsa, uning radiusini toping.

Berilgan: $\varepsilon=2\,rad/s^2,\ t=0.5\,s,\ \ a=13.6\,sm/s^2$

Topish kerak: $R-?$

Yechilishi: Quyidagini yozamiz: $a=\sqrt{a_t^2+a_n^2}=a_t\sqrt{1+\varepsilon^2t^4}$ (1). Ushbu tenglikni quyidagicha isbotlaymiz:

Ma'lumki, $a=\sqrt{a_n^2+a_t^2},\ a_n=\omega^2R$ (2). Agar $\omega=\varepsilon t$ ekanligini hisobga olsak, $a_n=\varepsilon^2t^2R$ (3), $a_t=\varepsilon R$ (4). (4) dan R ni topib (3) ifodaga qo'ysak, $a_n^2=\varepsilon^2t^4a_t^2$ (5). (5) ni (2) ga olib borib qo'yamiz:

$$a=\sqrt{a_t^2+\varepsilon^2t^4a_t^2}=a_t\sqrt{1+\varepsilon^2t^4} \qquad (6)$$

$$a_t=\frac{a}{\sqrt{1+\varepsilon^2t^4}} \qquad (7)$$

(4) va (7) ni tenglashtirib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$R=\frac{a}{\varepsilon\sqrt{1+\varepsilon^2t^4}} \qquad (8)$$

(8) tenglikdan hisoblashlar natijasida $R=6.1\,m$ ekanligini topiladi.

Javobi: $6.1\,m$

6. Og'irligi $F=10^4N$ bo'lgan avtomobil tormozlangandan keyin $t=5\,s$ davomida tekis sekinlanuvchan harakat qilib $S=25\,m$ masofani o'tib to'xtadi, tormozlanish kuchini toping.

Berilgan: $P=10^4N,\ t=5\,s,\ \ S=25\,m$

Topish kerak: $F-?$

Yechilishi: Nyutonning ikkinchi qonuniga ko'ra $F=ma$ (1), bunda F-tormozlovchi kuch, m-avtomobil massasi, $a-$tekis sekinlanuvchan harakatda avtomobilning manfiy tezlanishi. Ikkinchi tomondan tekis o'zgaruvchan harakat uchun $a=\frac{2S}{t^2}$ (2). Shuningdek, $m=\frac{P}{g}$ (3). (2) va (3) ni (1) ga qo'yib quyidagini yozamiz: $F=\frac{P}{g}\frac{2S}{t^2}$(4). Ushbu tenglama orqali F ni hisoblaymiz va $F=2\ kN$.

7. $m=0.5kg$ massali jism $S=A-Bt+Ct^2-Dt^3$qonuniyat bo'yicha harakatlanmoqda, $C=5\ m/s^2$ va $D=1\ m/s^3$, birinchi sekund oxirida jismga ta'sir qiluvchi kuchni toping.

Berilgan: $m=0.5\ kg, S=A-Bt+Ct^2-Dt^3,\ C=5\ m/s^2,\ D=1\ m/s^2,\ t=1\ s$

Topish kerak: $F-?$

Yechilishi: Nyutonning ikkinchi qonuniga ko'ra $F=ma$ (1), umumiy holda tezlanish $a=\frac{d^2S}{dt^2}$ (2), Jismning harakat tenglamasini quyidagicha yozamiz:

$$\frac{dS}{dt}=\frac{d}{dt}(A-Bt+Ct^2-Dt^3)=-B+2Ct-3Dt^2 \text{ va}$$

$$a=\frac{d^2S}{dt^2}=\frac{d}{dt}(\frac{dS}{dt})=\frac{d}{dt}(-B+2Ct-3Dt^2)=2C-6Dt$$

Demak, $a=2C-6Dt$ (3), (3) ni (1) ga olib borib qo'ysak $F=m(2C-6Dt)$ (4). Masala shartidagi kattaliklarni (4) ga qo'yib hisoblaymiz. Javobi: $F=2N$.

8. Biror diametrli po'lat sim $F=4400N$ gacha kuchga bardosh bera oladi, bu simga $P=3900N$ yuk osib uzilib ketmasligi uchun uni qanday tezlanish bilan yuqoriga ko'tarish lozim?

Berilgan: $F=4400N,\ P=3900N,\ g=9.81\ m/s^2$

Topish kerak: $a-?$

Yechilishi: Jism a tezlanish bilan yuqoriga ko'tarilayotganligi uchun:

$$F=m(g+a)\quad (1)$$

Ikkinchidan bizga ma'lumki: $P=mg$ (2), (2) va (1) tengliklardan foydalanib tezlanishni hisoblaymiz: $F=\frac{P}{g}(g+a)$, $a=g(\frac{F}{P}-1)$. Javobi: $a=1.25\ m/s^2$.

9. Harakatdagi jism uzunligining relyativistik qisqarishi 25% ni tashkil qilsa, nisbiy tezlikni toping.

Berilgan: $\frac{\Delta l}{l_0}=0.25,\ c=3\cdot10^8 m/s$

Topish kerak: $\vartheta-?$

Yechilishi: Inersial sanoq sistemasiga nisbatan ϑ tezlik bilan harakatlanayotgan jismning chiziqli o'lchamlari kamayadi: $l=l_0\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}$ (1). Shartga ko'ra $\Delta l=0.25l$ (2), kelib chiqadi. (2) ni (1) ga qo'yib quyidagilarni olamiz: $0.75l_0=l_0\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}$, yoki $0.75=\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}$, bundan ikki tomonini kvadratga ko'tarish natijasida $0.5625=1-\frac{\vartheta^2}{c^2}$ bo'ladi. Bundan ϑ ni topish qiyin emas $\vartheta=\sqrt{(1-0.5625)c^2}$, $\vartheta=2\cdot10^8 m/s$.

Javobi: $\vartheta=2\cdot10^8 m/s$.

10. Harakatdagi elektronning massasi qanday tezlikda unung tinch holatdagi massasidan ikki marta katta bo'ladi?

Berilgan: $m=2m_0, c=3\cdot10^8 m/s$

Topish kerak: $\vartheta-?$

Yechilishi: Inersial sanoq sistemasiga nisbatan ϑ tezlik bilan harakatlanayotgan jismning massasi ortadi: $m=m_0/\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}$ (1), bundan $\frac{m_0}{m}=\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}$ (2). Ushbu tenglamaga masala shartidagi $m=2m_0$ ni ta'sir ettirsak: $\frac{1}{2}=\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}$ (3). Bundan qidiralayotgan ϑ ni topish mumkin: $\vartheta=\frac{c}{2}\sqrt{3}$ (4). Javobi: $2.598\cdot10^8 m/s$.

11. Elektron tezligi yorug'lik tezligining 95% ini tashkil qilishi uchun u qanday tezlashtiruvchi potensiallar ayirmasidan o'tishi lozim?

Berilgan: $\vartheta=0.95c,\ e=1.6\cdot10^{-19}C,\ m_e=9.1\cdot10^{-31}kg,\ c=3\cdot10^8 m/s$

Topish kerak: $U-?$

Yechilishi: Potensiallar ayirmasi U bo'lgan tezlashtirgichdan o'tgan elektron potensial energiyasi $W_p=eU$ (1) ga teng, ikkinchi tomondan $W_k=m_0c^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\vartheta^2/c^2}}-1\right)$ (2). Masala shartidagi $\vartheta=0.95c$ ni (2) tenglikka qo'llasak quyidagi kelib chiqadi: $W_k=2.2m_0c^2$(3). (1) bilan (3) ni tenglashtiramiz: $eU=2.2m_0c^2$(4). Bundan $U=\frac{2.2m_0c^2}{e}$. Bu formula orqali izlanayotgan U ning son qiymatini hisoblasak $U=1.1\cdot10^6 V$ kelib chiqadi. Javobi: $1.1\cdot10^6 V$.

12. Inersiya momenti $J=63.6kgm^2$ ga teng bo'lgan maxovik $31.4 rad/s$ burchak tezlik bilan aylanmoqda. 20 s dan keyin to'xtasa, tormozlovchi moment qanchaga teng?

Berilgan: $J=63.6kg\cdot m^2$, $\omega_1=31.4rad/s^2$, $\omega_2=0$, $t=20s$

Topish kerak: $M-?$

Yechilishi: Qattiq jismning aylanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasi:

$M=J\beta(1)$. Bunda $\beta=\frac{\omega_1-\omega_2}{t}$, $\omega_2=0$ bo'lgani uchun $\beta=\frac{\omega_1}{t}(2)$. (2) tenglikni (1) formulaga qo'yamiz $M=J\frac{\omega_1}{t}$ va $M=100\,N\cdot m$ ni topamiz.

Javobi: $100\,N\cdot m$.

13. Ikkita jism massalari mos ravishda $m_1=5.0kg$, $m_2=7.0kg$ ga teng. Ular orasidagi masofa $r=4m$. a) har ikkala jism o'rtasidan o'tgan o'q buyicha inersiya momenti, b) birinchi jism chap tomonidan $0.5m$ masofadan o'tgan o'q buyicha inersiya momentini toping.

Berilgan: $m_1=5.0kg$, $m_2=7.0kg$, $r_1=4m$, $r_2=0.5m$

Topish kerak: I_1, $I_2-?$

Yechilishi: Har ikkala jism ham aylanish o'qidan bir xil a) $2m$ masofada ekanligidan umumiy inersiya momenti: $I_1=\sum mr^2=m_1(\frac{r_1}{2})^2+m_2(\frac{r_2}{2})^2=48kg\cdot m^2$, ikkinchi b) hol uchun: $I_2=\sum mr^2=m_1r_2^2+m_2(r_1-r_2)^2=143kg\cdot m^2$.

14. Radiusi $R=0.5m$ barabanga ip o'ralgan bo'lib, $m=10kg$ yuk osilgan, osilgan yuk quduqqa $a=2.04m/s^2$ tezlanish bilan tushayotgan bo'lsa, barabanning inersiya momentini toping.

Berilgan: $R=0.5m$, $m=10kg$, $a=2.04m/s^2$

Topish kerak: $J_0-?$ Yechilishi: Masala shartidan ko'rinadiki ipning taranglik kuchi T aylantiruvchi moment: $M=IR(1)$ ni yuzaga keltiradi. Boshqa tomondan $M=J\varepsilon$ (2). Baraban aylanishining tangensial tezlanishi yukning tushish tezlanishiga teng bo'lganligi uchun $\varepsilon=\frac{a}{R}$ (3). Yuk a tezlanish bilan pastga tushayotganligi uchun ipning taranglik kuchi quyidagiga teng bo'ladi $T=m(g-a)(4)$. (1), (2), (3) tenglamalarni birgalikda yechib quyidagini olamiz: $J=\frac{TR^2}{a}$ (5). (4) ni (5) ga qo'ysak $J=\frac{mR^2(g-a)}{a}$, ushbu tenglamadan J ni hisoblaymiz.

Javobi: $J=9.52kg\cdot m^2$.

15.2 kg og'irlikdagi disk gorizantal tekislikda 4 m/s^2 tezlik bilan sirpanishsiz dumalaydi. Diskning kinetik energiyasini toping?

Berilgan: $m=2kg, \vartheta=4m/s^2$

Topish kerak: $W_k-?$

Yechilishi: Disk gorizontal tekislikda dumalayotganligi uchun uning to'la kinetik energiyasi ilgarilanma harakat kinetik energiyasi bilan aylanma harakat kinetik energiyasi yig'indisidan iborat: $W_k=\frac{m\vartheta^2}{2}+\frac{J\omega^2}{2}$ (1). Diskning o'z o'qiga nisbatan inersiya momenti $J=\frac{1}{2}mR^2$(2). Agar $\omega=\frac{\vartheta}{R}$ ekanligini inobatga olsak (1) va (2) tenglamalardan $W_k=\frac{3}{4}m\vartheta^2$ (3) kelib chiqadi. Bu esa qidirilayotgan formula bo'lib u orqali W_k ni hisoblaymiz. Javobi: $W_k=24\,J$.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Avtomobil dovonga ko'tarilishda $\vartheta_1=15\,m/s$ tezlik bilan, dovondan tushishda esa $\vartheta_2=72\,km/soat$ tezlik bilan harakat qilgan. Dovondan tushish yo'li ko'tarilish yo'lidan ikki marta uzun bo'lsa, avtomobilning butun yo'l davomidagi o'rtacha tezligini toping. ($18\,m/s$).
2. Avtomobil va velosipedchi bir-biriga qarab tekis harakatlanayotganda ular orasidagi masofa har $t=3\,s$ davomida $S_1=60\,m$ ga kamaya boradi. Agar ular avvalgi tezligi bilan bir tomonga harakatlansa, ular orasidagi masofa har $t=4\,s$ davomida $S_2=40\,m$ dan uzoqlasha boradi. Avtomobil va velosipedchining tezliklarini toping. ($\vartheta_A=54km/soat$, $\vartheta_V=18km/soat$).
3. Qayiq suvga nisbatan $7.2\,km/soat$ tezlik bilan qirg'oqqa tik yo'nalishda harakat qilmoqda. Oqim qayiqni 150 km pastga sudradi. Daryoning kengligi 0.5 km. 1) Daryo oqimining tezligi va 2) qayiqning daryodan o'tishi uchun sarf qilingan vaqt topilsin. ($\vartheta=0.6\,m/s$, $t=250\,s$).

4. Poyezd $36\,km/soat$ tezlikda harakat qilmoqda. Agar bug' berish to'xtatilsa, poyezd tekis sekinlanuvchan harakat qilib $20\,s$ dan keyin to'xtaydi. 1) Poyezdning manfiy tezlanishi topilsin. 2) To'xtash joyidan necha metr narida bug' berishni to'xtatish kerak? ($a=-0.5\,m/s^2$, $s=100\,m$).
5. Jismning bosib o'tgan yo'li S ning t vaqtga bog'lanishi $S=A-Bt+Ct^2$ tenglama orqali berilgan, bunda $A=6\,m$, $B=3\,m/s$, $c=2\,m/s^2$. Jismning 1 sekunddan 4 sekundgacha bo'lgan vaqt oralig'idagi o'rtacha tezligi va o'rtacha tezlanishi topilsin. $0\le t\le 5s$ intervalda 1 sekund oralatib yo'l, tezlik va tezlanishning grafigi chizilsin. ($\vartheta=7\,m/s$, $a=4\,m/s^2$).
6. Jismning bosib o'tgan yo'li s ning t vaqtga bog'lanishi $s=A-Bt+Ct^2$ tenglama orqali berilgan, bunda $A=3m$, $B=2m/s$, $C=1m/s^2$. Jism harakatining birinchi, ikkinchi va uchinchi sekund oralig'idagi o'rtacha tezligi va tezlanishi topilsin. ($\vartheta_1=3m/s$, $\vartheta_2=5m/s$, $\vartheta_3=7m/s$, $a_1=a_2=a_3=2m/s^2$).
7. $\vartheta_0=2m/s$ boshlang'ich tezlikka ega bo'lgan moddiy nuqta $t_1=3s$ davomida tekis, $t_2=2\,s$ davomida $a_2=2\,m/s^2$ tezlanish bilan, $t_3=5\,s$ davomida $a_3=1m/s^2$ tezlanish bilan, $t_4=2\,s$ da $a_4=-3\,m/s^2$ tezlanish bilan va nihoyat $t_5=2\,s$ davomida t_4 vaqt oralig'i oxirida olgan tezligi bilan tekis harakat qilgan. Moddiy nuqtaning oxirgi tezligini, bosib o'tgan yo'lini va o'rtacha tezligini aniqlang. ($\vartheta=5m/s$, $S=82.5\,m$, $\vartheta_{o'rt}=5.9\,m/s$).
8. $225\,m$ uzunlikdagi, doimiy tezlik bilan harakatlanayotgan poyezd telegraf ustuni yonidan 15 sekund davomida o'tadi. Teplovozning uzunligi 450 m bo'lgan tunnelga kirish paytidan oxirgi vagonning tunneldan chiqish paytigacha qancha vaqt o'tadi? Bu poyezd haydovchisining yonidan qarama-qarshi yo'nalishda $10\,m/s$ tezlik bilan ketayotgan 300 m uzunlikdagi poyezd qancha vaqtda o'tadi? ($t_1=45\,s$, $t_2=12\,s$).
9. Vertikal yuqoriga otilgan jism 3 sekund dan keyin yerga qaytib tushdi. 1) Jismning boshlang'ich tezligi qanday bo'lgan? 2) Jism qanday balandlikka ko'tarilgan. Havoning qarshiligi hisobga olinmasin. ($\vartheta_0\approx 14.7\,m/s$, $h\approx 11\,m$).
10. Jism $h=19.6\,m$ balandlikdan boshlang'ich tezliksiz tushmoqda. 1) Jism o'z harakatining birinchi 0.1 sekundida qancha yo'l bosadi? 2) Oxirgi 0.1 sekunddachi? Havoning qarshiligi hisobga olinmasin

($h_1 = 0.049\ m,\ h_2 = 1.9\ m$).

11. $\vartheta_1 = 4\ m/s$ tezlik bilan ko'tarilayotgan aerostat gondolasidan Yerdan $h = 40\ m$ balandlikda yuqoriga aerostatga nisbatan $\vartheta_2 = 6\ m/s$ tezlik bilan jism otilgan. Jism qancha vaqtdan keyin Yerga tushadi? Shu paytda aerostat qanay balandlikda bo'ladi? ($t = 4\ s,\ h = 56\ m$).

12. Nuqta aylana bo'ylab shunday harakatlanadiki, jismning bosib o'tgan yo'li S ning t vaqtga bog'lanishi $S = A + Bt + Ct^2$ tenglama orqali berilgan, bunda $B = -2\ m/s,\ C = 1\ m/s^2$. Adar harakat boshlangandan 2 sekund o'tgach nuqtaning normal tezlanishi $a = 0.5\ m/s^2$ bo'lsa, harakat boshlanishidan 3 sekund o'tgach nuqtaning chiziqli tezligi, tangensial, normal va to'la tezlanishi topilsin
($\vartheta = 4\ m/s,\ a_t = 2\ m/s^2,\ a_n = 2\ m/s^2,\ a = 2.8\ m/s^2$).

13. Avtomobil egrilik radiusi $R = 500\ m$ bo'lgan burilishda $t = 11s$ davomida o'z tezligini $\vartheta_1 = 15\ m/s$ dan $\vartheta_2 = 35\ m/s$ gacha oshirdi. Avtomobil tangensial tezlanishini aniqlang. ($a_t = 3.2\ m/s^2$).

14. Velosiped g'ildiragi $t = 0.5$ min da $N = 60$ marta tekis aylangan bo'lsa, g'ildirakning aylanish davri, aylanish chastotasi, burchak tezligi va velosipedchining chiziqli tezligini toping. Velosiped g'ildiragining radiusi $R = 40sm$ ga teng. ($t = 0.5s,\ \nu = 2\ s^{-1},\ \omega = 12.56\ rad/s,\ \vartheta = 5.024\ m/s$).

15. Yerning sun'iy yo'ldoshi Yerning bir nuqtasi ustida turgandek ko'rinishi uchun u qanday orbita bo'ylab, qanday balandlikda harakatlanishi kerak? Yerning radiusini 6370 km deb oling.
($h = 35830\ km,\ T = 24$ soat).

16. Sun'iy yo'ldosh Yer atrofini doiraviy orbita bo'ylab 100 minutda aylanib chiqishi mumkinmi? 80 minutdachi? Yerning radiusini 6370 km deb oling. (Mumkin, $h = 760km$,mumkin emas).

17. Yerning sutkalik aylanishi ($T = 24$ soat) aylanishida Toshkent kengligi ($\varphi_1 = 41^0 20'$) da va Sankt-Peterburg kengligi ($\varphi_2 = 60^0$) da Yer sirtidagi nuqtalarning chiziqli tezliklari va markazga intilma tezlanishlarini toping. Yer radiusini $R = 6400km$ deb oling.
($\vartheta_1 = 149\ m/s,\ \vartheta_2 = 232\ m/s,\ a_1 = 1.08 \cdot 10^{-2}\ m/s^2,\ a_2 = 1.69 \cdot 10^{-2}\ m/s^2$).

18. Bir-biridan $l = 0.5\ m$ masofada ikki disk maxkamlangan o'q $\nu = 1200\ ayl/\text{min}$ chastotaga mos burchakli tezlik bilan aylanma harakat qilmoqda. Disk o'qiga parallel ravishda uchib borayotgan o'q disklarni teshib o'tadi. Bunda ikkinchi diskdagi teshik birinchi diskdagiga nisbatan $\varphi = 9^0$ burchakka burilgan bo'lsa, o'qning tezligini toping. ($\vartheta = 40\ m/s$).

19. Vodorod atomidagi elektron taxminan $R=5\cdot10^{-11}m$ radiusli Bor orbitasi bo'ylab o'zgarmas $\vartheta=2.2\cdot10^{6}m/s$ tezlik bilan harakatlansa, elektronning yadro atrofidagi aylanma harakatining burchak tezligi va markazga intilma tezlanishlarini toping. ($\omega=4.4\cdot10^{16}rad/s$, $a_n=9.68\cdot10^{22}m/s^2$).
20. Bola uzunligi $L=0.6\,m$ bo'lgan ipga bog'lagan toshni vertikal tekislikda $\nu=240\,ayl/\min$ chastota tezlik bilan aylantirilmoqda. Agar toshning tezligi mos ravishda yuqoriga yo'nalgan paytda ip uzilib ketsa, tosh qanday balandlikka ko'tariladi? ($h=11.6\,m$).
21. Tosh gorizontal yo'nalishda $10\,m/s$ tezlik bilan otilgandan $3\,s$ o'tgach, tosh trayektoriyasining egrilik radiusi topilsin. Havoning qarshiligi hisobga olinmasin. ($R=3.5\,m$).
22. Samolyotdagi yo'lovchiga Quyosh osmonda qo'zg'almay turgandek ko'rinishi uchun, samolyot ekvator bo'ylab g'arbdan sharqqa tomon qanday tezlik bilan harakatlanishi kerak? ($\vartheta=1660\,km/soat$).
23. Nuqta $R=2\,sm$ radiusli aylana bo'ylab harakatlanadi. Yo'lning vaqtga bog'lanishi $x=Ct^3$ tenglama orqali berilgan, bunda $C=0.1\,sm/s$. Tezligi $\vartheta=0.3\,m/s$ ga teng bo'lganda nuqtaning normal va tangensial tezlanishi topilsin. ($a_n=4.5\,m/s^2, a_t=0.06\,m/s^2$).
24. Og'irligi $1kG$ jism $1\,m/s$ tezlik bilan gorizontal harakatlanib, $0.5kG$ og'irlikdagi jismni quvib yetadi va u bilan noelastik to'qnashadi. 1) Ikkinchi jism harakatsiz turgandagi, 2) ikkinchi jism birinchi jismning yo'nalishida $0.5m/s$ tezlikda harakat qilganda, 3) ikkinchi jism birinchi jismga qarama-qarshi yo'nalishda $0.5m/s$ tezlik bilan harakat qilgandagi hollar uchun jismlarning urilishdan keyingi tezliklari topilsin. ($0.67m/s$, $0.83m/s$, $0.5m/s$).
25. Avtomobilning og'irligi $9.8\cdot10^3N$. Avtomobil harakatlanayotganda unga o'z og'irligining 0.1 qismiga teng bo'lgan ishqalanish kuchi ta'sir etadi. 1) Avtomobil tekis harakatlanganda motorning tortish kuchi qancha bo'lishi kerak? 2) Avtomobil $2m/s^2$ tezlanish bilan harakat qilgandachi? ($F_1=980N$, $F_2=3000N$).
26. Temir yo'l vagoni tormozlanganda, uning tezligi $\Delta t=3.3s$ vaqt oralig'ida $\vartheta_1=47.5km/soat$ dan $\vartheta_2=30km/soat$ gacha bir tekis o'zgaradi. Vagon tormozlanganda, polkadagi chamadon siljiy boshlashi uchun, chamadon bilan polka orasidagi ishqalanish koeffisiyentining chegaraviy qiymati qancha bo'lishi kerak? ($k=0.15$).

27.Mutlaq silliq stol ustida bir-biriga cho'zilmas, vaznsiz ipga bog'langan ikkita qutichalar joylashgan bo'lib, qutichalarning massasi $m_1 = 12\,kg$ va $m_2 = 10\,kg$. $12kg$ massali qutichaga gorizontal ravishda $F = 40N$ kuch ta'sir qilmoqda. Har bir quticha olgan tezlanish va ipning taranglik kuchi topilsin. ($a = 1.82 m/s^2$, $T = 21.8N$).

28.Dvigatelning o'rtacha quvvati 15 o.k. (ot kuchi) ga teng bo'lgan avtomobil 100 km yo'lni $30\,km/soat$ o'rtacha tezlik bilan bosib o'tganda qancha miqdor benzin sarflaydi? Dvigatel FIK i 22% ga teng, benzinning issiqlik berish qobiliyati $4.7 \cdot 10^7 J/kg$ ga teng, 1 o.k. =736W. ($m = 13kg$).

29.π –mezonning to'la energiyasi tinch holatdagi energiyasidan 10 marta katta bo'lsa, uning tezligini toping. ($\vartheta = 2.985 \cdot 10^8 m/s$).

30.$4\,km/s$ tezlikda harakatlanayotgan kosmik kema uchun XBS da vaqtning nisbiy xatoligini hisoblang. ($\varepsilon = 10^{-10}$).

31.Zarracha kinetik energiyasi uning tinch holatdagi energiyasiga teng bo'lishi uchun zarracha tezligi yorug'lik tezligining qancha ulushini tashkil qilishi kerak? ($\beta = 86.6\%$).

32.Siklotrondan uchib chiquvchi elektronlar $0.67 MeV$ kinetik energiyaga ega. Shu elektronlarning tezligi yorug'lik tezligining qancha ulushini tashkil qilishi kerak? ($\beta = 0.9$).

33.Harakatdagi elektron massasi uning tinch holatdagi massasidan ikki baravar katta. Bu elektronning kinetik energiyasini toping. ($W_k = 0.2 \cdot 10^{-14} J$).

34.Massaning elektronning tinch holatdagi massasi kattaligicha o'zgarishiga muvofiq keluvchi energiya o'zgarishini toping. ($\Delta W = 8.2 \cdot 10^{-14} J = 0.51 MeV$).

35.Quyosh har minutda $6.5 \cdot 10^{21} kW \cdot soat$ ga teng energiya chiqaradi. Quyosh nurlanishi o'zgarmas deb hisoblansa, Quyosh massasi qancha vaqtda ikki baravar kamayishini toping. ($7 \cdot 10^{12} yilda$).

36.a) Laboratoriya sharoitida $0.6c$ tezlikkacha tezlashtirilgan myuonning o'rtcha yashash vaqti nimaga teng? Myuonning xususiy yashash vaqti $2.2\,mks$ b) Myuon yemirilgunga qadar qancha masofa bosib o'tadi? ($2.8 \cdot 10^{-6} s$, $500\,m$).

37.Yuqori tezlikda, ya'ni $0.75c$ tezlik bilan Yerdan Yupiterga kosmik kema uchib ketmoqda deylik. Kemadagi passajir 10 minut davomida jurnal o'qigan. a) Yerdagi soat bo'yicha bu hodisa qancha vaqt davom etadi? b) Yerdagi kuzatuvchiga nisbatan jurnal o'qib tugatilguncha kosmik kema qancha masofa bosib o'tadi? Kosmik kema yo'lovchiga nisbatanchi? (a) 1.51min, b) $2.04\cdot10^{11}s$, $1.35\cdot10^{11}s$).

38.Elektronning harakat miqdorini klassik mexanika va relyativistik nisbiylik prinsipi qonunlari orqali hisoblang va taqqoslang. ($k = m\vartheta = 1.01m_0\vartheta = 1.01k_0$).

39.Fermi laboratoriyasida proton tezlashtirilishi natijasida $W_k = 10^{12}eV$ kinetik energiyaga ega bo'lgan. Bunda proton qanday tezlikkacha tezlashtirilgan? ($\vartheta = 0.99999956c$).

40.Og'irligi *1kG* va diametri *60 sm* bo'lgan disk o'z markazidan tekisligiga tik ravishda o'tgan o'q atrofida 20 ayl/s bilan aylanadi. Diskni to'xtatish uchun qancha ish bajarish kerak? ($A = 355\ J$).

41.$\vartheta = 9km/soat$ tezlik bilan ketayotgan vilosipidchining kinetik energiyasi topilsin. Vilosiped bilan vilosipedchining birgalikdagi og'irligi $P = 78kG$, ikkala g'ildirakning og'irligi $P_1 = 3kG$ ga teng. Vilosiped g'ildiraklari gardish deb hisoblansin ($W = 253J$).

42.Ventilyator 900 $ayl/\min$ ga mos tezlik bilan aylanadi. Ventilyator o'chirilgandan keyin, tekis sekinlanuvchan harakat qilib to'xtaguncha 75 marta aylanadi. Tormozlanish ishi 44.4 J ga teng. 1) Ventilyatorning inersiya momenti, 2) tormozlanish kuchini momenti topilsin.
($J = 0.01\ kgm^2$, $M_t = 9.4\cdot10^{-2}N\cdot m$).

43.Inersiya momenti $J = 245\ kgm^2$ bo'lgan maxovik g'ildirak 20 ayl/s bilan aylanadi. G'ildirak aylantiruvchi kuch momentining ta'siri to'xtatilgandan keyin 1000 marta aylanib to'xtadi. 1) Ishqalanish kuchining momenti, 2) aylantiruvchi kuch momentining ta'siri to'xtatilgan paytdan g'ildirakning to'liq to'xtash paytigacha o'tgan vaqt topilsin ($M_{ishq} = 308N\cdot m$, $t = 100s$).

44.$\varepsilon = 0.5rad/s^2$ o'zgarmas burchak tezlanish bilan aylanayotgan maxovuk g'ildirak harakat boshlanishidan $t_1 = 15s$ o'tgandan keyin $L = 73.5kg\cdot m^2/s$ ga teng harakat miqdoriga ega bo'ladi. Harakat boshlanishidan $t_2 = 20s$ o'tgandan keyin g'ildirakning kinetik enargiyasini toping ($W_k = 490J$).

45.Massalari $m_1 = 0.3kg$, $m_2 = 0.7kg$ bo'lgan ikkita kichik jism ip bilan birlashtirilgan va silliq silindrik sirtga uning cho'qqisiga nisbatan simmetrik qo'yilgan. Silindrik sirtning jismlarni tutashtiruvchi radiuslari orasidagi burchak 60° ga teng. Jismlas sistemasi tezlanishini toping ($a = 2\ m/s^2$).

46. $m = 10\,kg$ massali harakatsiz platformaning ustida og'irligi $M = 60kg$ odam turibdi. Agar odam aylanish o'qining atrofida *5m* radiusli aylana bo'ylab platformaga nisbatan $4\,km/soat$ tezlik bilan harakatlansa, platforma minutiga necha marta aylana boshlaydi? Platformaning radiusi *10 m*. platforma bir jinsli doiraviy disk deb, odamni moddiy nuqta deb hisoblang. ($\nu = 0.49\,ayl/\min$).

II BO'LIM. MOLEKULYAR FIZIKA VA TERMODINAMIKA ASOSLARI

7-§. Molekulyar fizika

Molekulyar fizika moddaning tuzilishi va xossalarini molekulyar-kinetik tasavvurlarga asoslanib o'rganadi. Bu tasavvurlarga binoan, qattiq, suyuq yoki gaz holatidagi har qanday jism kichik alohida zarralar – molekulalardan iborat. Har qanday moddaning molekulalari aniq bir yo'nalishga ega bo'lmagan tartibsiz holatida bo'ladi. Bu harakatning jadalligi moddaning temperaturasiga bog'liq.

Molekulyar xaotik harakat qilishining bevosita dalili broun harakatidir. Bu hodisa shundan iboratki, suyuqlik ichida muallaq holatda yurgan mayda zarrachalar to'xtovsiz betartib harakat qilib turadi. Bu harakat tashqi sabablarga bog'liq bo'lmay, modda ichidagi harakatning namoyon bo'lishidan iborat. Broun zarralari molekulalarning tartibsiz turtkilari ta'siri ostida harakat qiladi.

Molekulyar-kinetik nazariyaning maqsadi jismlarning bevosita tajribada kuzatiladigan xossalarini molekulalar ta'sirining umumiy natijasi sifatida talqin qilishdan iborat. Bunda bu nazariya ayrim molekulalarning harakati bilan emas, balki zarralarning juda katta to'plami harakatini tavsiflaydigan faqat o'rtacha miqdorlar bilangina ish ko'rib, statistik metoddan foydalaniladi. Shuning uchun molekulyar-kinetik nazariya statistik fizika ham deb yuritiladi.

Jismlarning har xil xossalari va modda holatining o'zgarishlarini termodinamika ham o'rganadi. Lekin molekulyar-kinetik nazariyadan farqli o'laroq termodinamika jismlarning va tabiat hodisalarining makroskopik xossalarini ularning mikroskopik manzarasiga e'tibor bermay o'rganadi. Termodinamika molekula va atom tushunchalaridan foydalanmay va jarayonlarni mikroskopik nuqtai nazardan tekshirmay turib ham bu jarayonlarning borishi to'g'risida qator xulosalar chiqarishga imkon beradi.

Termodinamikaga juda ko'p tajribalardan olingan faktlarni umumlashtirish orqali topilgan bir nechta asosiy qonunlar asos qilib olingan. Shuning uchun ham termodinamika xulosalari umumiy tavsifga ega.

Modda holatining o'zgarishlarini tekshirishga turli xil nuqtai nazardan yondashib termodinamika bilan molekulyar-kinetik nazariya bir-birini to'ldiradi.

Biror gaz massasining holati P bosim, V hajm va t^0 temperaturadan iborat uchta parametrning qiymatlari bilan aniqlanadi. Bu parametrlar bir-biriga shunday bog'langanki, ulardan birining o'zgarishi natijasida boshqalari ham o'zgaradi. Aytib o'tilgan bog'lanish analitik usulda

$$F(p,V,t^0)=0 \tag{7.1}$$

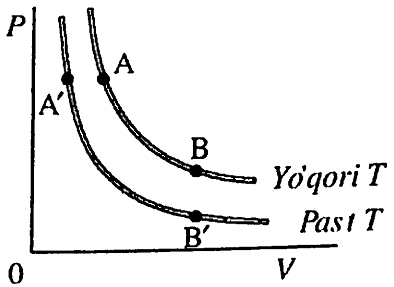
funksiya ko'rinishida ifodalanishi mumkin. Biror jismning parametrlari orasidagi bog'lanishni ifodalovchi munosabat shu jismning holat tenglamasi deb ataladi.

Agar (7.1) tenglamani parametrlardan birortasiga, masalan, p ga nisbatan yechsak, holat tenglamasi

$$p=f(V,t^0) \tag{7.2}$$

ko'rinishga keladi. Boyl-Moriott qonuniga ko'ra,temperatura o'zgarmaganda berilgan gaz massasi uchun gazning bosimi uning hajmiga teskari mutanosib ravishda o'zgaradi. Buni analitik ravishda quyidagicha yozish mumkin:

$$pV=const \quad (t^0=const) \tag{7.3}$$



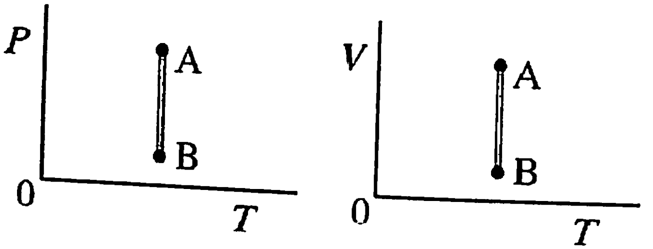
7.1-rasm.

Aynan bir temperaturaga mos keluvchi holatlar mavjud (P,V) diagrammada (7.3) tenglama bilan aniqlanuvchi egri chiziq, ya'ni giperbola bilan tasvirlanadi. Temperaturaning har bir qiymatiga o'zining egri chizig'i mos keladi (7.1-rasm). Bu egri chiziqlar izotermalar ("izo" – bir xil, teng) deb ataladi.

Gazning o'zgarmas temperaturada bir holatdan boshqa holatga o'tishi izotermik jarayon deb ataladi. Izotermik jarayonda gaz holatini tasvirlovchi nuqta izoterma bo'ylab ko'chadi.

(p,t^0) yoki (V,t^0) diagramma izotermik jarayon p o'qiga (mos ravishda V o'qiga) parallel bo'lgan to'gri chiziq bilan tasvirlanadi (7.2-

rasm). Uchinchi parametr bo'lgan V (mos ravishda p) ning qiymati bu to'g'ri chiziqlar bo'ylab doimiy qolmaydi, balki to'gri chiziq bo'ylab yo'nalish bilan ko'rsatilgan yo'nalishda ko'chirilganda uning qiymati orta boradi.



7.2-rasm.

Gey-Lyussak qonuniga ko'ra, bosim o'zgarmas bo'lganda berilgan gaz massasining hajmi temperaturaga qarab chiziqli ravishda o'zgaradi:

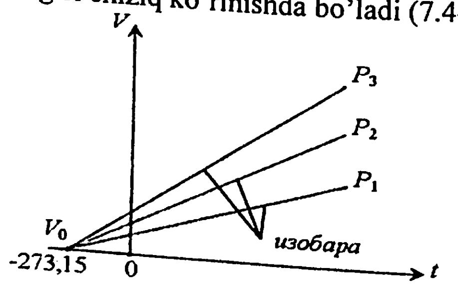
$$V = V_0\left(1+\alpha t^0\right) \quad (p = const) \tag{7.4}$$

Hajm o'zgarmas bo'lganda bosim uchun ham shunga o'xshash bog'lanish o'rinli:

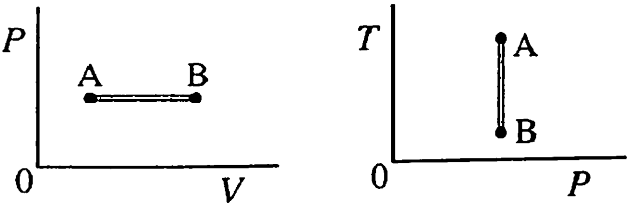
$$p = p_0\left(1+\alpha t^0\right) \quad (V = const) \tag{7.5}$$

Bu tenglamalarda t^0 - Selsiy shkalasi bo'yicha hisoblangan temperatura, $V_0 - 0^0C$ dagi hajm, $p_0 - 0^0C$ dagi bosim. Ikkala tenglamada ham α koeffisiyent bir xil bo'lib, uning qiymati $\frac{1}{273.15} grad^{-1}$.

O'zgarmas bosimda yuz beradigan jarayon izobarik jarayon deb ataladi. Gaz uchun bunday jarayon (V, t^0) diagrammada to'gri chiziq bilan tasvirlanadi (7.3-rasm). Bu to'gri chiziq izobara deb ataladi. (p, T) yoki (p, V) diagrammada izobara T o'qiga yoki mos ravishda V o'qqa parallel yo'nalgan to'g'ri chiziq ko'rinishda bo'ladi (7.4-rasm).



7.3- rasm. ***(V, t)* tekisligidagi izobaralar majmuasi** $p3 > p2 > p1$.



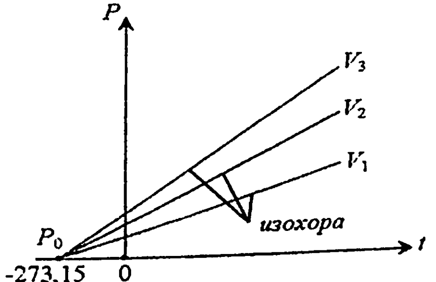
7.4-rasm.

O'zgarmas hajmda yuz beradigan jarayon izoxorik jarayon deb ataladi. (p, t^0) diagrammada izoxoralar 7.5-rasmda ketirilgan shaklda bo'ladi.

Absolyut temperatura bilan Selsiy shkalsi bo'yicha hisoblangan temperatura o'rtasida quyidagi munosabat mavjud:

$$T = t^0 + \frac{1}{\alpha} = t^0 + 273.15 \qquad (7.6)$$

0^0C temperatura $273.15K$ ga mos keladi. $0K$ temperatura absolyut nol deyiladi va -273.15^0C ga mos keladi.



7.5 - rasm. *(p, t⁰)* tekisligida izoxoralar $V_3 > V_2 > V_1$

(7.4) va (7.5) tenglamalarda Selsiy temperaturasidan absolyut temperaturaga o'tamiz. Buning uchun (17.6) ga muvofiq ravishda quyidagicha yozamiz:

$$V = V_0(1+\alpha t) = V_0\left(1+\alpha\left(T-\frac{1}{\alpha}\right)\right) = V_0\alpha T \qquad (7.7)$$

va shunga o'xshash

$$p = \alpha p_0 T \qquad (7.8)$$

Bu tenglamalardan quyidagilar kelib chiqadi:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (p = const) \qquad (7.9)$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (V = const) \qquad (17.10)$$

Boyl-Moriott va Gey-Lyussak qonunlari taqribiy qonunlardir. Har qanday real gazning zichligi qancha kichik bo'lsa, ya'ni hajmi qancha katta bo'lsa shuncha aniq bo'ladi.

(7.3), (7.9) va (7.10) tenglamalarga aniq bo'ysunadigan gaz ideal gaz deb ataladi. Ideal gaz abstrakt tushuncha bo'lib, har qanday real gaz zichligi kamaya borgan sari o'z xossalari bilan ideal gazga yaqinlasha boradi. Havo, azot, kislorod kabi ba'zi gazlar uy temperaturasi va atmosfera bosimi sharoitida ideal gazga juda yaqin bo'ladi. Geliy va vodorodning xossalari ideal gaz xossalariga juda yaqindir.

Avogadro kashf qilgan qonunga asosan, bir xil sharoitda (ya'ni bir xil temperatura va bir xil bosimda) barcha gazlar kilogramm-molekulalari bir xil hajmda bo'ladi. Jumladan, normal sharoitlar deb ataluvchi sharoitda, ya'ni 0^oC va $1\,atm$ bosimda har qanday gazning bir kilomolining hajmi $22.4\,m^3/kmol$ ga teng. Bundan gaz miqdori bir kilomolga ($\nu = 1kmol$) teng bo'lganda quyidagi tenglamani yozish mumkin:

$$\frac{pV_m}{T} = R \qquad (7.11)$$

Bu tenglama Klapeyron tenglamasi deb ataladi. Bu tenglama ideal gaz kilomolining parametrlarini bir-biri bilan bog'laydi. Demak, (17.11) tenglama ideal gaz holat tenglamasidir. (7.11) tenglama odatda

$$pV_m = RT \qquad (7.12)$$

ko'rinishda yoziladi. R-kattalik universal gaz doimiysi deyilib, uning qiymatini Avogadro qonuni yordamida hisoblab topish mumkin. Buning uchun (7.11) tenglamada bosim o'rniga $p = 1.01\cdot10^5 Pa$ ($1\,atm$), V_m o'rniga $22.4\, m^3/kmol$ va T o'rniga $273K$ qo'ysak:

$$R = \frac{1.01\cdot10^5\cdot22.4}{273}\frac{Pa\cdot m^2}{K\cdot kmol} = 8.31\frac{J}{mol\cdot K}.$$

Normal sharoitda $1mol$ gaz hajmi $22.4\, l/mol$ bo'ladi.

Bir kilomolga tegishli tenglamadan har qanday m massali gazga tegishli tenglamaga o'tish oson, buning uchun bir xil bosim va bir xil temperaturada gazning z kilomoli bir kilomolnikiga qaraganda z marta ortiq hajm egallashini hisobga olish kerak: $V = zV_m$. $z = \frac{m}{\mu}$ ekanligidan quyidagi tenglamani topamiz:

$$pV = \frac{m}{\mu}RT \qquad (7.13)$$

bu yerda m-gaz massasi, μ-kilomolining massasi yoki molyar massa. (7.13) tenglama ideal gaz holatining tenglamasidir.

Bir jismning ichki energiyasi deb shu jismning energiyasidan bir butun deb olingan shu jismning kinetik energiyasi bilan jismning tashqi kuchlar maydonidagi potensial energiyasini ayirib tashlaganda qolgan energiyaga aytiladi. Masalan, biror gaz massasining ichki energiyasini aniqlagan vaqtda gazning idish bilan birgalikda qiladigan harakati energiyasi va gazning Yer tortish kuchlari maydonida turganligi natijasida ega bo'ladigan energiyasi hisobga olinmasligi kerak.

Ichki energiya tushunchasi molekulalar xaotik harakatining kinetik energiyasini molekulalar orasidagi o'zaro potensial energiyasi va molekulalar ichidagi energiyani o'z ichiga olar ekan.

Jismlar sistemasining ichki energiyasi har bir jismning alohida olingandagi ichki energiyalari yig'indisi bilan jismlar orasidagi o'zaro ta'sir energiyasining yig'indisiga teng. Jismlar orasidagi o'zaro ta'sir energiyasi jismlar bir-biriga tegib turadigan chegaraning yupqa qatlamidagi molekulalararo o'zaro ta'sir energiyasidan iborat.

Ichki energiya sistema holatining funksiyasidir. Demak, sistema tayinli bir holatga kelib qolgan har bir holda uning ichki energiyasi, sistemaning oldingi holatlari qanday bo'lganidan qat'iy nazar mazkur holat uchungina xos bo'lgan qiymat qabul qiladi. Binobarin, sistema bir holatdan boshqa holatga o'tishi uchun uning energiyasi o'zgarishi ichki energiyaning bu holatlardagi qiymatlari ayirmasiga hamisha teng bo'lib, bir holatdan boshqa holatga o'tadigan yo'lga ya'ni sistemaning bir holatdan boshqa holatga o'tishiga olib kelgan jarayonlar majmuiga bog'liq emas.

Gazning eng sodda molekulyar kinetik modeli quyidagichadir. Gaz uzoqdan bir-biriga o'zaro ta'sir ko'rsatmaydigan va xaotik ravishda harakatlanadigan bir xil molekulalar to'plamidir. Molekulalarning o'lchamlari shu qadar kichikki, ularning hajmlari yig'indisini idishning hajmiga nisbatan e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Har bir molekula asosan hamma vaqt erkin harakat qiladi va ba'zan boshqa molekulalar bilan idish devoriga to'qnashib turadi.

Idish devoriga kelib urilganida molekula devorga impuls beradi, bu impulsning son qiymati molekula impulsining o'zgarishiga teng. Devor sirtining har bir ΔS elementini ko'p miqdordagi molekulalar muttasil ravishda bombardimon qilib turadi.

Molekulalar tartibsiz, xaotik ravishda harakat qiladi. Ular barcha yo'nalishlarda bir xil ehtimollik bilan harakatlanadi.

Soddalashtirish maqsadida quyidagi farazlarni kiritamiz:

1. Molekulalar faqat o'zaro perpendikulyar bo'lgan uchta yo'nalishda harakatlanadi;
2. Moddani tashkil qiluvchi molekulalar bir xil tezlikda harakatlanadi.

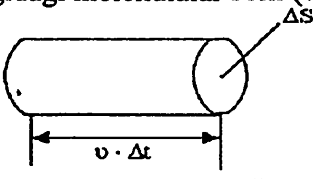
Idish devoriga urilayotgan molekulaning impulsining o'zgarishi quyidagiga teng:

$$m_0\vartheta-(-m_0\vartheta)=2m_0\vartheta \tag{7.14}$$

Asosi ΔS va balandligi $\vartheta\Delta t$ bo'lgan silindr ichidagi molekulalar devorning ΔS elementiga Δt vaqt ichida yetib boradi. Bu molekulalarning soni:

$$\Delta N=\frac{1}{6}n\vartheta\Delta S\Delta t \tag{7.15}$$

bu yerda n – hajm birligidagi molekulalar soni (7.6-rasm).



7.6 – rasm. Elementar yuzaga kelib uriluvchi molkulalar hajmi

Devorning ΔS elementiga Δt vaqt ichida beriladigan natijaviy impuls quyidagicha bo'ladi: $\Delta I=2m_0\vartheta\frac{1}{6}n\vartheta\Delta S\Delta t=\frac{1}{3}m_0n\vartheta^2\Delta S\Delta t$. Gazning idish devoriga ko'rsatadigan bosim quyidagiga teng:

$$p=\frac{\Delta I}{\Delta S\Delta t}=\frac{1}{3}nm_0\vartheta^2 \tag{7.16}$$

$E_k={m_0\vartheta^2}/{2}$ ifoda molekula ilgarilanma harakatining kinetik energiyasi ekanligini hisobga olib, bosimning ifodasini quyidagi ko'rinishga keltirish mumkin:

$$p=\frac{2}{3}nE_k \tag{7.17}$$

Agar, gaz V hajmda $\vartheta_1,\vartheta_2,.....,\vartheta_n$ tezliklar bilan harakatlanayotgan N molekulalarga ega bo'lsa, u holda barcha gaz molekulalar majmuasini tavsiflash uchun o'rtacha kvadrat tezlikni ko'rib chiqish maqsadga muvofiq bo'ladi:

$$<\vartheta_{kv}>=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\vartheta_i^2} \tag{7.18}$$

U holda (17.18) - ifoda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$p=\frac{1}{3}n\cdot m_0<\vartheta_{kv}>^2 \tag{7.19}$$

Bu ifoda ideal gazlar molekulyar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi deb ataladi. $n=\frac{N}{V}$ ekanligini hisobga olsak

$$pV=\frac{1}{3}N\cdot m_0<\vartheta_{kv}>^2 \qquad (7.20)$$

yoki

$$pV=\frac{2}{3}N\cdot m_0\frac{<\vartheta_{kv}>^2}{2}=\frac{2}{3}E \qquad (7.21)$$

Bu yerda E – barcha gaz molekulalari ilgarilanma harakat kinetik energiyasining yig'indisidir.

Gaz massasi $m=Nm_0$ bo'lgani uchun, (7.21) – tenglamani quyidagicha qayta yozish mumkin:

$$pV=\frac{1}{3}m<\vartheta_{kv}>^2 \qquad (7.22)$$

1 mol gaz uchun $m=\mu$ ekanligidan

$$pV_m=\frac{1}{3}\mu<\vartheta_{kv}>^2 \qquad (7.23)$$

bu yerda V_m– molyar hajm. Boshqa tomondan $pV_m=RT$ ga teng bo'lgani sababli

$$pV_m=\frac{1}{3}\mu<\vartheta_{kv}>^2$$

yoki

$$<\vartheta_{kv}>=\sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \qquad (7.24)$$

$\mu=m_0N_A$ va $k=\frac{R}{N_A}$ bo'lganligi uchun

$$<\vartheta_{kv}>=\sqrt{\frac{3RT}{m_0N_A}}=\sqrt{\frac{3kT}{m_0}} \qquad (7.25)$$

Ideal gazning bir molekulasi ilgarilanma harakat kinetik energiyasining o'rtacha qiymati quyidagiga teng bo'ladi:

$$<E_0>=\frac{E}{n}=m_0\frac{<\vartheta_{kv}>^2}{2}=\frac{3}{2}kT \qquad (7.26)$$

va u termodinamik temperaturaga bog'liq bo'lib, unga to'g'ri mutanosibdir.

Shunday qilib, termodinamik temperatura ideal gaz molekulasi ilgarilanma harakat o'rtacha kinetik energiyasining o'lchovidir va (7.26) - ifoda temperaturaning molekulyar-kinetik ta'rifini tushuntirib beradi.

Taqsimot funksiyasini nazariy yo'l bilan Maksvell topgan bo'lib, bu funksiya uning nomi bilan ataladi. Bu funksiyaning ko'rinishi quyidagicha:

$$f(\vartheta)=Ae^{-\frac{m_0\vartheta^2}{2kT}}\vartheta^2 \qquad (7.27)$$

bu yerda A-ϑ ga bog'liq bo'lmagan ko'paytuvchi, m-molekulaning massasi, k-Bolsman doimiysi.

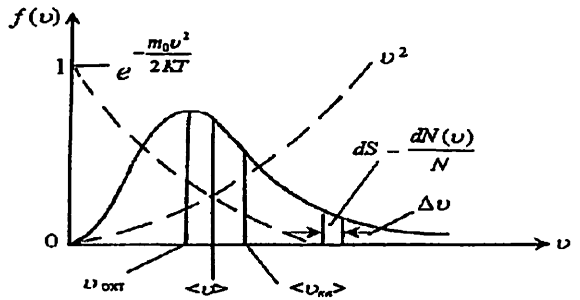
Maksvellning taqsimot funksiyasi uchun shu narsa xarakterliki, e ning daraja ko'rsatkichi molekulaning qaralayotgan ϑ tezligiga mos keladigan $m_0\vartheta^2/2$ kinetik energiyasining kT molekulaning o'rtacha energiyasini ifodalovchi kattalikka "-" ishora bilan olingan nisbati turadi. ϑ ortganda taqsimot funksiyasi noldan boshlanib maksimumga erishadi va so'ngra asimptotik ravishda nolga intiladi (7.7-rasm). $f(\vartheta)$ qurshab turgan yuza (ehtimoli) birga teng bo'ladi, ya'ni:

$$\int_0^\infty f(\vartheta)d\vartheta = 1,$$

$$A\int_0^\infty e^{-\frac{m_0\vartheta^2}{2kT}}\vartheta^2 d\vartheta = 1$$

Bu shart normallash sharti deb, A esa normallovchi ko'paytuvchi deyiladi. Hisoblash natijasida A ning qiymati $4\pi\left(\frac{m_0}{2\pi kT}\right)^{3/2}$ ga teng ekanligi aniqlangan. Shunday qilib, Maksvell taqsimot funksiyasining ko'rinishi quyidagicha:

$$f(\vartheta) = 4\pi\left(\frac{m_0}{2\pi kT}\right)^{3/2} e^{-\frac{m_0\vartheta^2}{2kT}}\vartheta^2 \qquad (7.28)$$



7.7 – rasm. Ideal gaz molekulalarining tezlik bo'yicha taqsimoti

(7.28) ni ϑ bo'yicha integrallab, undan chiqqan ifodani nolga tenglashtiramiz:

$$\frac{df(\vartheta)}{d\vartheta} = Ae^{-\frac{m_0\vartheta^2}{2kT}}\vartheta\left(2 - \frac{m_0\vartheta^2}{kT}\right) = 0.$$

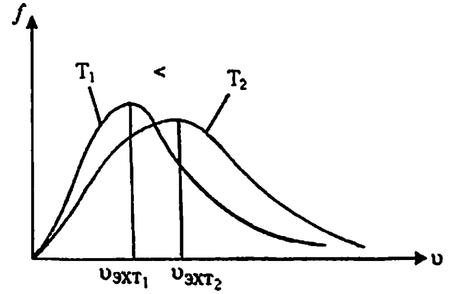
Tezlikning bu tenglamani qanoatlantiradigan $\vartheta = 0$ va $\vartheta = \infty$ qiymatlari $f(\vartheta)$ ning minimumlariga to'g'ri keladi. ϑ ning qavs ichidagi ifodani nolga aylantiruvchi qiymati biz izlayotgan ϑ_{eht} tezlikni beradi:

$$\vartheta_{ehi}=\sqrt{\frac{3kT}{m_0}} \qquad (7.29)$$

$f(\vartheta)$ ning maksimal qiymatini topamiz:

$$f(\vartheta_{ehi})\approx\sqrt{\frac{m}{T}} \qquad (7.30)$$

Taqsimot egri chizig'i gaz temperaturasiga bog'liqligi 7.8-rasmda ko'rsatib o'tilgan.



7.8 – rasm. Taqsimot funksiyasini temperaturaga bog'liqligi

Tezliklari biror ϑ_0 qiymatdan katta bo'lgan molekulalarning nisbiy soni

$$\int_{\vartheta_0}^{\infty} f(\vartheta)d\vartheta$$

ifoda bilan aniqlanadi.

Molekulalarning o'rtacha tezligi

$$\bar{\vartheta}=\int_0^{\infty}\vartheta f(\vartheta)d\vartheta \qquad (7.31)$$

(7.31) ni $f(\vartheta)$ ning (7.28) ifodasini qo'yib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\bar{\vartheta}=\sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} \qquad (7.32)$$

Xuddi shu yo'l bilan tezlik kvadratining $\bar{\vartheta}^2$ o'rtacha qiymatini ham quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\bar{\vartheta}^2=\int_0^{\infty}\vartheta^2 f(\vartheta)d\vartheta.$$

Bunga $f(\vartheta)$ ning ifodasini qo'yib, integralni hisoblasak, $\bar{\vartheta}^2={3kT}/{m}$ chiqadi. $\bar{\vartheta}^2$ ning kvadrat ildizi o'rtacha kvadratik tezlik deb ataladi. Shunday qilib

$$<\vartheta_{kv}>=\sqrt{\bar{\vartheta}^2}=\sqrt{{3kT}/{m_0}} \qquad (7.33)$$

Agar $\vartheta=\sqrt{\frac{2E}{m}}$ va $d\vartheta=\frac{1}{\sqrt{2mE}}dE$ o'zgartirishlar kiritsak quyidagi taqsimot funksiyasi kelib chiqadi:

$$f(E)=A'e^{-\frac{E}{kT}}\sqrt{E}dE \tag{7.34}$$

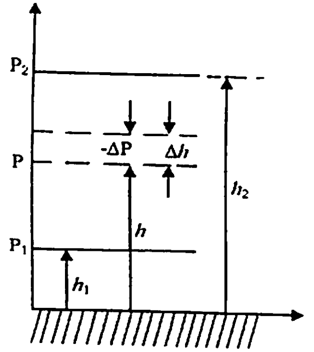
bu yerda A' – normallovchi ko'paytuvchi bo'lib, uning qiymati $\frac{2}{\sqrt{\pi}}\frac{1}{(kT)^{3/2}}$ ga teng.

p va $p+dp$ bosimlar orasidagi ayirma asosining yuzi birga teng va balandligi dh bo'lgan silindr hajmi ichidagi gaz og'irligiga teng:

$$p-(p+dp)=\rho gdh$$

bu yerda $\rho-h$ balandlikdagi gazning zichligi (7.9-rasm). Bundan

$$dp=-\rho gdh \tag{7.35}$$



7.9 – rasm. Gaz bosimini balandlikka bog'liqligi

Holat tenglamasidan foydalanib, gaz zichligini bosimi va temperaturasi orqali ifodalash mumkin. $\rho=\frac{m}{V}=\frac{p\mu}{RT}$ ekanligidan

$$\frac{dp}{p}=-\frac{\mu g}{RT}dh \tag{7.36}$$

p ni h ning funksiyasi sifatida topsak,

$$\ln p=-\frac{\mu gh}{RT}+\ln C,\; p=Ce^{-\frac{\mu gh}{RT}}.$$

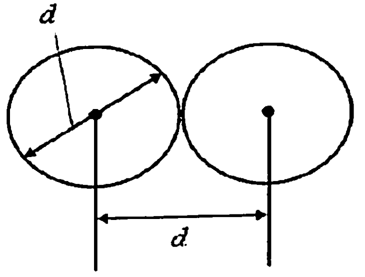
$p_0=C$ va $T=const$ bo'lganda bosim va balandlik orasidagi bog'lanish quyidagicha:

$$p=p_0e^{-\frac{\mu gh}{RT}} \tag{7.37}$$

Bu formula barometrik formula deb ataladi.

Gaz molekulalari tartibsiz harakatda bo'lishi sababli, bir-biri bilan uzluksiz to'qnashadilar. Molekula ikkita ketma-ket to'qnashishlar oralig'ida ma'lum l yo'lni bosib o'tadi va bu erkin yugurish yo'li deb ataladi. Umumiy holda ketma-ket to'qnashishlar orasidagi erkin yugurish yo'li uzunligi har xil. Uning ustiga molekulalar soni beqiyos ko'p bo'lganligi sababli, molekulalarning o'rtacha erkin yugurish yo'li $<l>$ to'g'risida so'z yuritishimiz mumkin.

To'qnashishlarda ikkita molekula markazlari yaqinlashishining eng kichik masofasi d – molekulalarning effektiv diametri deb ataladi (7.10-rasm). U to'qnashayotgan molekulalar tezligiga, ya'ni gazning temperaturasiga bog'liq bo'ladi.

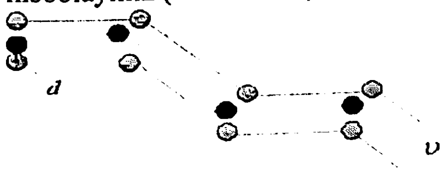


7.10 – rasm. Molekulalar to'qnashishining effektiv diametri

1 sekund ichida molekula o'rtacha arifmetik tezlik - $<\vartheta>$ ga teng yo'l bosib o'tadi va bu vaqt ichida $<z>$ o'rtacha to'qnashishlarga duch keladi, bu holda erkin yugurish yo'li quyidagiga teng bo'ladi:

$$<l>=\frac{<\vartheta>}{<z>}.$$

O'rtacha to'qnashishlar soni $<z>$ ni topish uchun molekulani d – diametrli sharcha deb va u xuddi qotib qolgan molekulalar orasida harakat qiladi deb hisoblaymiz (7.11 - rasm).



7.11 – rasm. Molekulalarning o'zaro to'qnashish xarakteri

Bu molekula markazlari d ga teng yoki kichik bo'lgan molekulalar bilan to'qnashadi, boshqacha qilib aytganda radiusi d bo'lgan «siniq» silindr ichida harakat qiladi.

«Siniq» silindr hajmidagi molekulalar soni 1 sekund ichidagi o'rtacha to'qnashishlar soniga teng bo'ladi:

$$<z>=n\vartheta,\ \vartheta=\pi d^2<\vartheta>.$$

Shunday qilib o'rtacha to'qnashishlar soni

$$<z>=n\cdot\pi d^2\cdot<\vartheta>$$

ga teng bo'ladi.

Agar, hisoblashlarda boshqa molekulalarning harakatini hisobga olsak, o'rtacha to'qnashishlar soni quyidagicha teng bo'ladi:

$$<z>=\sqrt{2}\cdot\pi d^2\cdot n\cdot<\vartheta>.$$

U holda o'rtacha erkin yugurish yo'lini shunday ifodalaymiz:

$$<l>=\frac{1}{\sqrt{2}\cdot\pi\cdot d^2\cdot n}.$$

Demak, o'rtacha erkin yugurish yo'li molekulalar konsentratsiyasiga teskari proporsional ekan.

P=nkT tenglikdan foydalansak, temperatura o'zgarmas bo'lganda, quyidagi nisbatni keltirib chiqarish mumkin:

$$\frac{<l_1>}{<l_2>}=\frac{<n_2>}{<n_1>}=\frac{P_2}{P_1}.$$

Termodinamik muvozanatda bo'lmagan tizimlarda ko'chish hodisalari deb ataladigan, alohida qaytmas jarayonlar sodir bo'ladi va bu jarayonlarda energiya, massa va impulslarning fazoviy ko'chishi kuzatiladi.

Ko'chish hodisalariga issiqlik o'tkazuvchanligi (energiyani ko'chishi), diffuziya (massa ko'chishi) va ichki ishqalanish (impulsni ko'chishi) kiradi.

1. *Issiqlik o'tkazuvchanlik.* Agar, gazning bir qismida molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasi boshqa qismiga qaraganda kattaroq bo'lsa, natijada, vaqt o'tishi bilan molekulalarning doimiy to'qnashishlari sababli, ularning o'rtacha kinetik energiyalari fazo bo'yicha tenglasha boradi, boshqacha qilib aytganda, fazo bo'yicha temperatura tenglasha boradi.

Issiqlik ko'rinishda energiyaning ko'chishi Furye qonuniga bo'ysunadi:

$$j_E=-\lambda\frac{dT}{dx} \qquad (7.38)$$

bu yerda j_E – birlik vaqtda, birlik yuzadan issiqlik ko'rinishda ko'chadigan, energiya bilan aniqlanadigan issiqlik oqimining zichligi, λ – issiqlik o'tkazuvchanlik, $\frac{dT}{dx}$ – yuza normali yo'nalishida birlik dx uzunlikka to'g'ri kelgan temperatura o'zgarishiga teng bo'lgan temperatura gradiyentidir. Minus ishora issiqlik o'tkazuvchanlik jarayonida, temperatura past bo'lgan yo'nalishda energiya ko'chishini ko'rsatadi. Issiqlik o'tkazuvchanligi λ - temperatura gradiyenti birga teng bo'lganda issiqlik oqimi zichligiga miqdor bo'yicha teng:

$$\lambda = \frac{1}{3} C_v < \vartheta > < l > \qquad (7.39)$$

bu yerda C_v – hajm o'zgarmas bo'lganda, gazning solishtirma issiqlik sig'imini ifodalaydi (ya'ni hajm o'zgarmaganda 1 kg gazni 1 K ga isitish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdoridir), $<\vartheta>$– molekulalar issiqlik harakatining o'rtacha tezligi, $< l >$ – o'rtacha erkin yugurish yo'li.

2. *Diffuziya.* Ikkita tutashgan gaz, suyuqlik va qattiq jismlarda zarrachalarning betartib harakati tufayli modda ichkarisiga kirishi va aralashishi jarayoniga - diffuziya hodisasi deb ataladi. Bu hodisada zarrachalarning massalari o'zaro almashib turishi zichlik gradiyenti saqlanguncha davom etadi.

Molekulyar kinetik nazariya yaratila boshlanganda diffuziya hodisasini tushuntirishda anglashilmovchiliklarga duch kelingan. Molekulalarning issiqlik xarakati tezligi katta bo'lishiga qaramay diffuziya hodisalari juda sekin sodir bo'lishi kuzatilgan.

Masalan, eshik oldiga hidli gaz bilan to'ldirilgan idish yaqinlashtirilsa, hidli molekulalar o'zaro to'qnashishi sababli, juda kichik erkin yugurish yo'liga ega bo'ladi, ya'ni deyarli o'z joyida turgandek bo'ladi. Kimyoviy bir jinsli gaz uchun diffuziya hodisasi Fik qonuniga bo'ysunadi:

$$j_m = -D\frac{d\rho}{dx} \qquad (7.40)$$

bu yerda j_m – birlik vaqt ichida birlik yuza orqali diffuziya jarayonida o'tadigan, miqdor jihatdan moddalar massasiga teng bo'lgan massa oqimining zichligi, D – diffuziya koeffitsiyenti. $\frac{d\rho}{dx}$ – yuza normali yo'nalishida birlik uzunlikdagi zichlik o'zgarishi tezligiga teng bo'lgan zichlik gradiyenti. Minus ishora, massa ko'chishini zichlik kamayishi yo'nalishida sodir bo'lishini ko'rsatadi.

Diffuziya koeffitsiyenti D zichlik gradiyenti birga teng bo'lganda miqdor jihatdan massa oqimi zichligiga teng.

Gazlarning molekulyar kinetik nazariyasiga binoan diffuziya koeffitsiyenti quyidagiga teng:

$$D = 1/3 < \vartheta > < l > \qquad (7.41)$$

3. *Ichki ishqalanish.* Har xil tezliklarda harakatlanayotgan, parallel qatlamli gaz, suyuqliklar orasida ichki ishqalanish hosil bo'lish mexanizmi tartibsiz issiqlik harakati tufayli qatlamlarni molekulalar

bilan o'zaro almashuviga bog'liq. Natijada tezroq harakatlanayotgan qatlam impulsi kamayadi, sekin harakatlanayotgan qatlam impulsi oshadi va natijada qatlamlarning harakat jadalligi o'zgaradi.

Qo'shni qatlamlarning o'zaro ta'siri Nyutonning II – qonuniga asosan, birlik vaqt ichida bir qatlam ikkinchisiga ta'sir qiluvchi kuch moduliga teng impuls uzatadi.

$$I_p = -\eta \frac{d\vartheta}{dx} \tag{7.42}$$

bu yerda I_p – x o'qining musbat yo'nalishida birlik vaqt oralig'ida ko'chgan to'la impulsga teng bo'lgan impuls oqimi zichligidir, $\frac{d\vartheta}{dx}$ – tezlik gradiyenti. Minus ishora, impuls ko'chishi tezlik kamayishi yo'nalishida sodir bo'lishini ko'rsatadi, η - ishqalanish koeffitsiyenti miqdor jihatidan quyidagiga teng:

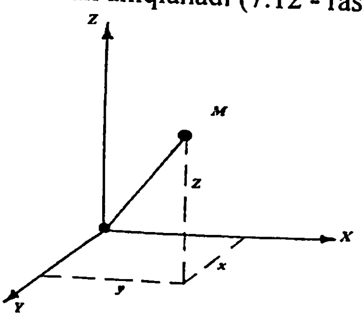
$$\eta = 1/3\rho \langle\vartheta\rangle\langle l\rangle \tag{7.43}$$

Ko'chish hodisalarini ifodalovchi ifodalarni taqqoslasak barcha ko'chish hodisalari bir-biriga o'xshash ekanligi ko'rinib turibdi.

Bir atomli gazning molekulasini moddiy nuqta deb qarasak, ilgarilanma harakat uchta erkinlik darajasiga ega bo'lishi mumkin. Bu vaqtda aylanma harakat energiyasini hisobga olmasa ham bo'ladi.

Mexanik tizimning erkinlik darajasi soni tizim holatini belgilovchi, bir-biriga bog'liq bo'lmagan kattaliklar soni bilan aniqlanadi.

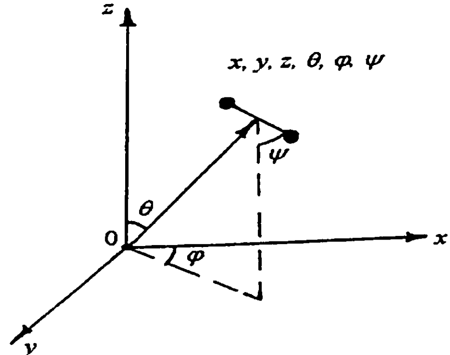
Masalan, moddiy nuqtaning fazodagi holati uning uchta x, y, z koordinatalari qiymatlari bilan aniqlanadi (7.12 - rasm).



7.12 – rasm. Moddiy nuqtaning fazodagi erkinlik darajasi

Shu sababli, moddiy nuqta uchta erkinlik darajasiga ega bo'ladi. Absolyut qattiq jismning holati inersiya markazining uchta x, y, $z$koordinatalari, jismning o'qlari yo'nalishlari bilan bog'langan θ, φ va ψ burchaklari bilan aniqlanadi (7.13 - rasm).

Shunday qilib, absolyut qattiq jism 6 ta erkinlik darajasiga ega bo'ladi. Molekulaning erkinlik darajasi nechta bo'lishiga qaramay uning uchtasi ilgarilanma harakatga tegishlidir. Ilgarilanma harakat erkinlik darajalaridan hech qaysisi bir-biridan ustun bo'lmaganligi uchun, ularning har biriga bir xil miqdorda energiya to'g'ri keladi. Molekulaning kinetik energiyasi $\frac{3}{2}kT$ bo'lganligi uchun, har bir erkinlik darajasiga $\frac{1}{2}kT$ ilgarilanma harakat energiyasi to'g'ri keladi.



7.13 – rasm. Absolyut qattiq jismning erkinlik darajasi

Demak, harakatning hech bir turi boshqa turidan muhim bo'lmaganligi uchun, ularga o'rtacha bir xil energiya to'g'ri keladi va energiyaning erkinlik darajalari holatini belgilaydi:

$$\overline{E} = \frac{i}{2}kT.$$

8-§.Termodinamika

Bir jismning ikkinchi jismga uzatgan energiya miqdori jismlarning bir-biri ustida bajargan A ishi bilan aniqlangani kabi, bir jismning ikkinchi jismga issiqlik uzatish yo'li bilan bergan energiyasi miqdori, bir jismning ikkinchi jismga bergan Q issiqlik miqdori bilan aniqlanadi. Sistema ichki energiyasining orttirmasi sistema ustida bajarilgan A' ish bilan sistemaga berilgan Q issiqlik miqdori yig'indisiga teng bo'ladi:

$$U_2 - U_1 = Q + A' \tag{8.1}$$

Bu yerda U_1 va U_2 - sistema ichki energiyasining oldingi va keyingi qiymatlari. Odatda tashqi jismlarning sistema ustida bajaradigan A ishi (bu ish $-A'$ ga teng) tekshiriladi. (8.1) tenglamada A' o'rniga $-A$ ni qo'yib va uni Q ga nisbatan yechib, bu tenglamani quyidagi ko'rinishga keltirish mumkin:

$$Q = U_2 - U_1 + A \tag{8.2}$$

(8.2) tenglama energiyaning saqlanish qonunini ifodalaydi va termodinamikaning birinchi qonunini deyiladi. Uni so'z bilan quyidagicha aytish mumkin: sistemaga berilgan issiqlik miqdori sistemaning ichki energiyasini oshirishga va sistemaning tashqi kuchlar ustida bajargan ishiga sarf bo'ladi.

Sistema bajargan ishni yoki sistema olgan issiqlik miqdorini hisoblashda odatda tekshirilayotgan jarayon bir qator elementar jarayonlarga ajratiladiki, bu jarayonlarning har biri sistema parametrlarining juda kichik o'zgarishiga mos keladi. Elementar jarayon uchun (8.2) tenglama

$$\Delta' Q = \Delta U + \Delta' A \tag{8.3}$$

ko'rinishda bo'ladi, bu yerda $\Delta' Q$-elementar issiqlik miqdori, $\Delta' A$-elementar ish va ΔU-sistema ichki energiyasining o'zgarishi.

Hisoblash uchun (8.3) tenglamani differensial ko'rinishga o'tkazamiz. Unda termodinamikaning birinchi qonuni tenglamasi quyidagi ko'rinishga keladi:

$$d' Q = dU + d' A \tag{8.4}$$

(8.4) ni botun jarayon bo'yicha integrallasak (8.2) tenglama bilan aynan bir xil bo'lgan quyidagi ifodaga kelamiz:

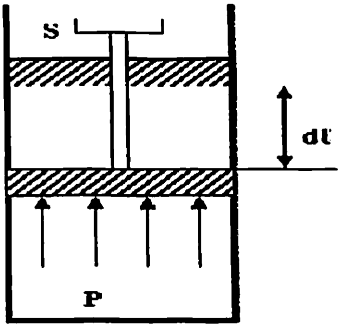
$$Q = (U_2 - U_1) + A$$

Jips qilib ishlangan va ishqalanishsiz sirpanadigan porshen bilan biriktirilgan silindrik idish ichiga gaz qamalgan bo'lsin (8.1-rasm). Agar biror sabab bilan gaz kengaya boshlasa, porshen surilib uning ustida ish bajaradi. Porshenni Δh kesmaga ko'chirish uchun gaz bajargan elementar ish quyidagiga teng:

$$\Delta' A = F \Delta h \tag{8.5}$$

bu yerda F-gazning porshenga ko'rsatadigan ta'sir kuchi. Bu kuchni gazning p bosimining porshenning S yuzasi bilan almashtirsak, quyidagini topamiz:

$$\Delta' A = pS\Delta h.$$

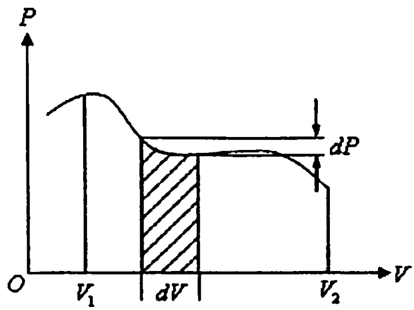


8.1 – rasm. Porshen ostidagi gazning hajmini o'zgarishi

Agar bosim o'zgarmas bo'lib, gaz hajmi V_1 dan V_2 ga o'zgarganda bajarilgan ish

$$A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} pdV = p\int_{V_1}^{V_2} dV = p(V_2 - V_1) \qquad (8.6)$$

bo'ladi. Agar hajm o'zgarganda bosim ham o'zgarsa, u holda $\int_{V_1}^{V_2} pdV$ integralni hisoblash kerak (8.2-rasm).



8.2 – rasm. Gazning bosimi ihtiyoriy o'zgargandagi bajarilgan ish grafigi

(8.5) ifodaning differensiallar orqali yozilgan shaklidan foydalansak, termodinamikaning birinchi qonuni tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$d'Q = dU + pdV \qquad (8.7)$$

Biror jismning issiqlik sig'imi deb, shu jismning temperaturasini bir gradusga ko'tarish uchun shu jismga berilishi zarur bo'lgan issiqlik miqdoriga teng kattalikka aytiladi. Agar jismga $d'Q$ issiqlik miqdori berilganda temperaturasi dT qadar ortsa, u holda ta'rifga ko'ra jismning issiqlik sig'imi quyidagicha bo'ladi:

$$C' = \frac{d'Q}{dT} \quad (8.8)$$

(8.8) kattalikning birligi $[C'] = 1 J/grad$ bo'ladi.

Bir kilomol moddaning issiqlik sig'imini C harfi bilan belgilaymiz. C ning birligi $[C] = 1 J/kmol \cdot grad$ bo'ladi.

Modda massasi birligining issiqlik sig'imi solishtirma issiqlik sigimi deb ataladi. Uni biz c harfi bilan belgilaymiz. c ning birligi $[c] = 1 J/kg \cdot grad$.

Bir kilomol moddaning issiqlik sig'imi bilan o'sha moddaning solishtirma issiqlik sig'imi o'rtasida quyidagi munosabat mavjud:

$$c = \frac{C}{\mu} \quad (8.9)$$

O'zgarmas hajm sharoitidagi issiqlik sig'imi C_V bilan, o'zgarmas bosim sharoitidagi issiqlik sig'imi C_p bilan belgilanadi.

Agar jism hajmi o'zgarmaydigan (izoxorik jarayon) sharoitda isitilsa, bu jism tashqi jismlar ustida ish bajarmaydi ($dA = 0$) va termodinamikaning birinchi qonuniga asosan issiqlik jismning ichki energiyasini orttirishga sarf bo'ladi:

$$d'Q_V = dU \quad (8.10)$$

(8.10) dan har qanday jismning o'zgarmas hajm sharoitidagi issiqlik sig'imi quyidagiga teng ekanligi kelib chiqadi:

$$C_V = \frac{dU}{dT} \quad (8.11)$$

Bir kilomol gazning ichki energiyasi $dU = \frac{i}{2} RdT$ ekanligidan C_V ning qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$C_V = \frac{i}{2} R \quad (8.12)$$

Termodinamikaning birinchi qonunini differensial tenglamasini (8.7) dT ga bo'lib bir kilomol ideal gaz uchun o'zgarmas bosim (izobarik jarajon) sharoitidagi issiqlik sig'imi ifodasini topamiz:

$$\frac{d'Q}{dT} = \frac{dU}{dT} + p\left(\frac{dV}{dT}\right)_P \quad (8.13)$$

Bundan,

$$C_p = C_V + p\left(\frac{dV}{dT}\right)_P \quad (8.14)$$

kelib chiqadi.

Ideal gaz holat tenglamasiga muvofiq o'zgarmas bosinda bir kilomol gaz uchun $pdV = RdT$, bundan $\left(\frac{dV}{dT}\right)_P = \frac{R}{p}$.

Demak, (8.14) munosabatni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$C_p = C_V + R \tag{8.15}$$

(8.15) munosabat ideal gaz holat tenglamasi orqali kelib chiqqanligi sababli faqat ideal gazlar uchun o'rinlidir.

(8.12) formulani e'tiborga olib, C_p ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$C_p = \frac{i}{2}R + R = \frac{i+2}{2}R \tag{8.16}$$

C_p ni C_V ga nisbatini topsak,

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{2} \tag{8.17}$$

γ kattalik molekula erkinlik darajasi orqali tavsiflanar ekan.

Izotermik jarayonda ($T = const$) bajarilgan ishni aniqlaymiz:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} PdV = \int_{V_1}^{V_2} = RT\ln\frac{V_2}{V_1} = RT\ln\frac{P_2}{P_1} \tag{8.18}$$

Izotermik jarayonda termodinamikaning birinchi qonuni quyidagicha ifodalanadi:

$$dQ = dA.$$

$T = const$ bo'lganda, ideal gazning ichki energiyasi o'zgarmaydi, shuning uchun

$$dU = dQ = C_V dT = 0.$$

Gazga uzatilgan issiqlik miqdorining barchasi tashqi kuchlarga qarshi bajarilgan ishga sarflanadi:

$$Q = A = RT\ln\frac{P_1}{P_2} = RT\ln\frac{V_2}{V_1} \tag{8.19}$$

Gazning hajmi kengayganda temperatura pasaymasligi uchun, izotermik jarayon vaqtida tashqi bajargan ishga ekvivalent issiqlik miqdori uzatib turish kerak bo'ladi.

Tashqi muhit bilan issiqlik almashmasdan yuz beradugan jarayon adiabatik jarayon deb ataladi.

Termodinamikaning birinchi qonuni tenglamasiga ideal gaz ichki energiyasining ifodasini qo'yamiz:

$$d'Q = \frac{m}{\mu}C_V dT + pdV.$$

Adiabatik jarayon uchun $d'Q = 0$ bo'lgani uchun, quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$\frac{m}{\eta}C_V dT + pdV = 0 \qquad (8.20)$$

Endi ideal gazning holat tenglamasidan foydalanib, p ni V va T orqali ifodalaymiz:

$$p = \frac{m}{\mu}\frac{RT}{V}$$

va uni (8.20) ga qo'yamiz. Noldan farqli m/μ ko'paytuvchiga qisqartirib, quyidagi natijani olamiz:

$$C_V dT + RT\frac{dV}{V} = 0.$$

Bu ifodani quyidagicha yozamiz:

$$\frac{dT}{T} + \frac{R}{C_V}\frac{dV}{V} = 0.$$

Bu tenglamani

$$d\left(\ln T + \frac{R}{C_V}\ln V\right) = 0$$

ko'rinishda yozish mumkin. Bu ifodadan adiabatik jarayonda

$$\ln T + \frac{R}{C_V}\ln V = const \qquad (8.21)$$

ekanligi kelib chiqadi.

Ideal gaz uchun $C_p - C_V = R$ ekanligini hisobga olib, $C_p/C_V = \gamma$ belgilash kiritsak, (8.21) dan quyidagi tenglama kelib chiqadi:

$$TV^{\gamma-1} = const \qquad (8.22)$$

(8.22) munosabat ideal gaz adiabatasining p va V o'zgaruvchilar orqali yozilgan tenglamasidir. Bu tenglama Puasson tenglamasi deyiladi.

Agar jarayon davomida ideal gazning bosimi bilan hajmi orasidagi bog'lanish

$$pV^n = const \qquad (8.23)$$

munosabat bilan ifodalansa, bunday jarayon politropik jarayon deb ataladi, bunda n ko'rsatkich $-\infty$ dan $+\infty$ gacha qiymatlar qabul qiladi.

Politropaning T va V o'zgaruvchilar orqali yozilgan tenglamasi

$$TV^{n-1} = const \qquad (8.24)$$

Bir kilomol ideal gazning politropik jarayondagi issiqlik sig'imini topamiz. Buning uchun (8.24) tenglamani integrallaymiz.

$$V^{n-1}dT + T(n-1)V^{n-2}dV = 0,$$

Bundan

$$\frac{dV}{dT} = -\frac{V}{T(n-1)} = -\frac{R}{p(n-1)}. \qquad (8.25)$$

Termodinamikaning ikkinchi qonuni differensial tenglamasidan foydalanib politropik jarayondagi issiqlik sig'imini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$C_n = C_V - \frac{R}{n-1} = \frac{nC_V - C_P}{n-1} \tag{8.26}$$

(8.26) munosabatdan n ning qiymatini aniqlasak,

$$n = \frac{C_P - C_n}{C_V - C_n} \tag{8.27}$$

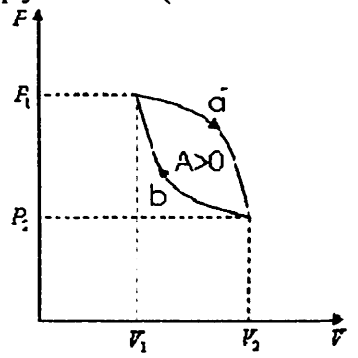
kelib chiqadi.

Termodinamikaning dastlabki ikkita qonuni uning asosini tashkil qiladi. Birinchi qonun energiyaning bir turdan boshqa turga aylanishida miqdoriy munosabatlarni aniqlaydi. Ikkinchi qonun esa energiyaning aylanishlari qanday yo'nalishda yuz berishi mumkinligini aniqlaydi.

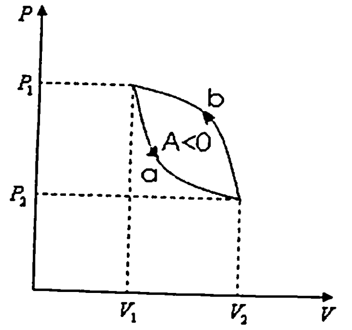
Qaytuvchan jarayon deb shunday jarayonga aytiladiki, bu jarayon teskari yo'nalishda yuz berganda sistema jarayonning to'g'ri yo'nalishda o'tgan hollardan endi faqat teskari tartibda o'tadi.

Qaytuvchan jarayon ravshanki, quyidagicha xossaga ega: jarayonning to'gri yo'nalishda borishida sistema biror elementar qismda $d'Q$ issiqlik olib, $d'A$ ish bajarsa u holda jarayonning teskari yurishida sistema o'sha qismda issiqlik beradi va uning ustida ish bajariladi. Shuning uchun qaytuvchan jarayon bir yo'nalishda, so'ngra teskari yo'nalishda qaytib sodir bo'lganda va natijada sistema boshlang'ich holatiga qaytib kelganida sistema atrofida turgan jismlarda hech qanday o'zgarish qolmasligi kerak.

Aylanma jarayonlar (yoki sikllar) deb shunday jarayonga aytiladiki, bu jarayonda sistema bir qancha o'zgarishlardan keyin boshlang'ich holatga qaytib keladi (8.3-a va b rasmlar).



8.3-a-rasm. Termodinamik holatning to'g'ri siklli o'zgarishi



8.3-b-rasm. Termodinamik jarayonning teskari siklli o'zgarishi

Siklni bajarib bo'lgandan keyin sistema boshlang'ich holatiga qaytib keladi. Shuning uchun holatning har qanday funksiyasi, jumladan ichki energiya siklning boshi va oxirida bir xil qiymatga ega bo'ladi.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni, birinchi qonuni kabi, bir qancha yo'l bilan ta'riflanishi mumkin. Ikkinchi qonunning eng ravshan ta'rifi bunday o'qiladi: kamroq isigan jismdan ko'proq isigan jismga issiqlik o'z-o'zidan o'ta olmaydi. Yanada aniqroq ta'rifi: *yagona oxirgi natijasi kamroq isigan jismdan ko'proq isigan jismga issiqlik berilishidan iborat bo'lgan jarayonlar amalga oshmaydi.*

Har qanday dvigatel biror aylanma jarayonni (siklni) ko'p marta bajaradigan sistemadan iborat. Sikl davomida ish bajaruvchi modda avval V_2 hajmgacha kengayib keyin V_1 hajmgacha siqilsin. Bir sikl davomida ish noldan katta bo'lishi uchun kengayish jarayonida bosim (temperatura ham) siqilish jarayonidagi bosimdan ortiq bo'lishi kerak. Buning uchun ish bajaruvchi moddaga kengayish jarayonida issiqlik berish, siqilish jarayonida esa undan issiqlik olish kerak.

Tashqaridan oladigan issiqlik hisobiga ish bajaruvchi davriy ishlaydigan dvigatel issiqlik mashinasi deb ataladi.

Tashqaridan olinadigan Q_1 issiqlik miqdorining hammasi ham foydali ishga sarflanmaydi. Dvigatel sikl bilan ishlashi uchun issiqlikning Q_2 ga teng bo'lgan qismi tashqi muhitga qaytarilib berilishi kerak. Issiqlik mashinasi tashqaridan oladigan Q_1 issiqlikni foydali A ishga qanchalik to'laroq aylantirsa, bu mashina shunchalik foydaliroq bo'ladi. Shuning uchun issiqlik mashinasini foydali ish koeffisiyenti

(FIK) sikl davomida bajariladigan ishni sikl davomida olinadigan issiqlik miqdoriga nisbati sifatida aniqlanadi:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} \tag{8.28}$$

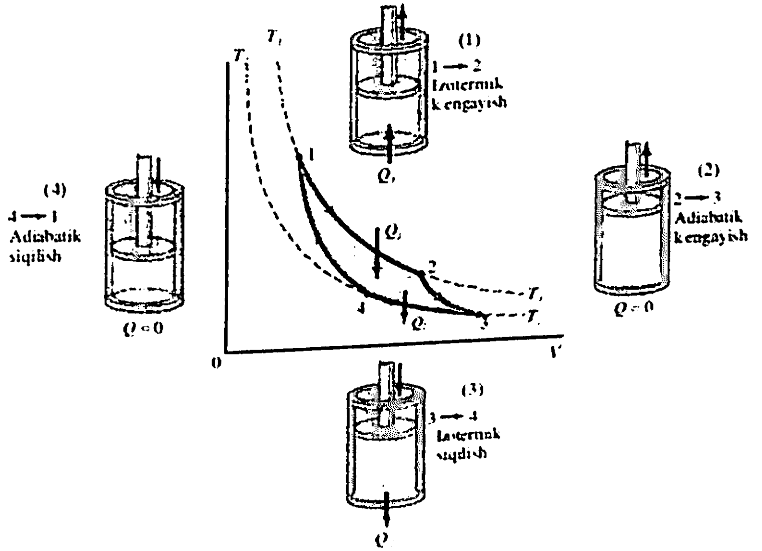
$A = Q_1 - Q_2$ bo'lgani uchun FIK ning ifodasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \tag{8.29}$$

FIK ning ta'rifidan u har doim birdan kichik bo'lishi kelib chiqadi.

Issiqlik almashishda qatnashadigan jism (yoki sistema) bajaradigan qaytuvchan sikl faqat ikkita izoterma va ikita adiabatadan iborat bo'ladi.bunday siklni birinchi bo'lib fransuz injeneri Sadi Karno tekshirgan bo'lib, u Karno sikli deb ataladi. Ta'rifga ko'ra Karno sikli qaytuvchan sikldir.

8.4-rasmda Karnoning qaytar sikli tasvirlangan, bu yerda ishchi modda ideal gazdan iborat.



8.4– rasm. Karno sikli

Bu jarayon uchun foydali ish koeffitsiyentini hisoblab ko'ramiz. Izotermik kengayish va siqilish (1 - 2) va (3 - 4) egri chiziqlar bilan, adiabatik kengayish va siqilish jarayonlari (2 - 3) va (4 - 1) egri chiziqlar bilan tasvirlangan.

Izotermik jarayonda ichki energiya o'zgarmaydi.

$$U = const$$

Shuning uchun gazning isitgichdan olgan issiqliq miqdori Q_1 gazning kengayish ishiga A_{12} ga tengdir.

$$A_{12} = RT_1 ln\frac{V_2}{V_1} = Q_1 \qquad (8.30)$$

(2 - 3) adiabatik kengayishda, atrof muhit bilan issiqlik almashuvchi jism yo'q, shuning uchun gazning kengayishida bajarilgan ish A_{23} ichki energiyaning o'zgarishi hisobiga bajariladi:

$$A_{23} = -c_2(T_2 - T_1)$$

Izotermik siqilishda sovutgichga gazning bergan issiqlik miqdori Q_2 siqilishdagi bajarilgan ish A_{34} ga teng bo'ladi:

$$A_{34} = RT_2 ln\frac{V_4}{V_3} = -Q_2 \qquad (8.31)$$

Adiabatik siqilishda bajarilgan ish A_{41} ga teng:

$$A_{41} = -C_4(T_1 - T_2) = -A_{23} \qquad (8.32)$$

Natijada aylanma jarayonda bajarilgan ish quyidagidan iborat bo'ladi:

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41} = Q_1 + Q_{23} + Q_2 + Q_{23}$$

$$A = Q_1 - Q_2$$

Karno siklida foydali ish koeffitsiyenti quyidagiga teng bo'ladi:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \qquad (8.33)$$

Karno sikli uchun foydali ish koeffitsiyenti isitgich va sovutgichlar temperaturalariga bog'liqdir. Foydali ish koeffitsiyentini oshirish uchun temperaturalar farqini oshirish zarur.

Qaytar va qaytmas jarayonlar uchun keltirilgan diagrammalardan 8.3 - rasmdagi ideal gaz bajargan ishning musbat turini ko'rib chiqamiz. Ishchi jism P_1 bosim va T_1 temperatura bilan tavsiflanadigan 1 - boshlang'ich holatdan, ketma - ket sodir bo'ladigan izotermik va adiabatik jarayonlar orqali 3-holatga o'tadi va T_2 - sovutgich temperaturasiga ega bo'ladi. Ishchi jismning holatini bunday o'zgarishi isitgichdan olingan Q_1 issiqlik miqdori hisobiga amalga oshadi. Ishchi jismning 3 - holatdan 1 - boshlang'ich holatga qaytib o'tishi yana izotermik va adiabatik siqilish hisobiga amalga oshadi. Holatning bu o'zgarishida ajralib chiqqan Q_2 issiqlik miqdori Q_1 issiqlik miqdori qiymatidan kichik:

$$Q_2 < Q_1$$

Shunday qilib, ishchi jismning 1 - holatdan 3 - holatga va 3 – holatdan 1 – holatga o'tishdagi qaytar jarayonda ajralib chiqqan va yutilgan issiqlik bir xil miqdorda emas ekan. Buning sababi, 1 - holatdan ikkinchi holatga ikki xil yo'l bilan o'tilgandadir. Ya'ni, 1 - holatdan 3 - holatga o'tish jarayoni katta bosim ostida kengayish, 3 - holatdan 1 - holatga o'tish jarayoni esa, kichik bosim ostida siqilish hisobiga amalga oshganligidadir. Bundan juda muhim xulosaga kelish mumkin: ishchi jismga uzatilgan yoki undan olingan issiqlik miqdori uning boshlang'ich yoki oxirgi holatiga bog'liq bo'lmay, holatlarni o'zgarish jarayonini ko'rinishiga bog'liq. Boshqacha qilib aytganda, Qissiqlik mikdori, ichki energiyaga o'xshash, jism holatining funksiyasi emas. Bu hulosa, termodinamikaning birinchi qonuni ifodasidan ham ko'rinib turibdi.

$$dQ = dU + dA$$

Jismning dA – bajargan ishi (yoki uning ustidan bajarilgan ish) uni qanday amalga oshirilganiga bog'liqdir. dU – ichki energiyaning o'zgarishi esa, holatning qanday o'zgarishiga bog'liq emas.

Jismga T_1 temperaturali isitgichdan uzatilgan Q_1 issiqlik miqdori, T_2 temperaturali sovutgichga berilgan Q_2 issiqlik miqdoriga teng emas, ammo bu issiqlik miqdorlarning holatlar temperaturalariga nisbatlari, miqdor jihatdan bir-birlariga teng:

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} \tag{8.34}$$

Bu Q/T - nisbat keltirilgan (tartibga solingan) issiqlik miqdori deb ataladi. Jarayonning cheksiz kichik qismida jismga uzatilgan keltirilgan issiqlik miqdori $\frac{\delta Q}{T}$ ga teng. Istalgan qaytar aylanma jarayonlarda natijaviy keltirilgan issiqlik miqdori nolga teng:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0 \tag{8.35}$$

Bu yopiq konturdan olingan integralning nolga teng bo'lishi, integral ostidagi $\frac{\delta Q}{T}$ ifodani qandaydir funksiyaning to'la differensiali ekanligini bildiradi:

$$\frac{\delta Q}{T} = dS \tag{8.36}$$

Bu yerda S – funksiya holat funksiyasi yoki entropiya deb ataladi.

(8.36) – ifodadan qaytar jarayonlar uchun entropiyaning o'zgarishi nolga teng:

$$\Delta S = 0 \tag{8.37}$$

Termodinamikada, qaytmas jarayonlarni vujudga keltiruvchi tizimning entropiyasi oshadi:

$$\Delta S > 0 \tag{8.38}$$

(38.7)- va (38.8)- ifodalardan Klauzius tengsizligini keltirib chiqarish mumkin:

$$\Delta S \geq 0 \tag{8.39}$$

ya'ni, yopiq tizimlarning entropiyasi qaytar jarayonlarda o'zgarmasdan qolishi, qaytmas jarayonlarda esa oshishi mumkin.

Agarda tizim 1-holatdan 3-holatga muvozanatli o'tsa, (8.36)-ifodaga asosan entropiyaning o'zgarishi quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta S_{1\to 3} = S_3 - S_1 = \int_1^3 \frac{\delta Q}{T} = \int_1^3 \frac{dU + \delta A}{T} \tag{8.40}$$

Bu yerda entropiya emas, balki entropiyalar farqi fizik ma'noga ega. (8.40)- ifodaga asoslanib, ayrim jarayonlarda ideal gaz entropiyasining o'zgarishini kuzatamiz:

$$dU = \frac{m}{\mu} C_V dT,$$

$$\delta A = pdV = \frac{m}{\mu} R \frac{dV}{V}$$

bo'lgani uchun

$$\Delta S_{1\to 3} = S_3 - S_1 = \frac{m}{\mu} C_V \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + \frac{m}{\mu} R \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V},$$

yoki

$$\Delta S_{1\to 3} = S_3 - S_1 = \frac{m}{\mu}\left(C_V \ln\frac{T_2}{T_1} + R \ln\frac{V_2}{V_1}\right) \tag{8.41}$$

1-holatdan 3-holatga o'tishda, ideal gazning entropiyasi o'zgarishi $\Delta S_{1\to 3}$ o'tish jarayonining 1->3 ko'rinishiga bog'liq emas. Chunki adiabatik jarayonda $\delta Q = 0$ ga teng bo'ladi yoki $\Delta S = 0$ ga teng bo'ladi yoki $S = const$.

Izotermik jarayonda esa, $T_1 = T_2$, shu sababli $\Delta S = \frac{m}{\mu} R \ln\frac{V_2}{V_1}$;

Izoxorik jarayonda esa ($V_1 = V_2$) $\Delta S = \frac{m}{\mu} C_V \ln\frac{T_2}{T_1}$ bo'ladi.

Statistik fizikada entropiya tizim holatining termodinamik ehtimolligi bilan bog'lanadi va juda chuqur ma'noga ega bo'ladi. Tizim holatining termodinamik ehtimolligi – makroskopik tizim holati qanday usul bilan hosil qilinganligini bildiradi yoki berilgan makroholat nechta mikroholatlardan iborat ekanligini bildiradi.

Bolsman ta'rifi bo'yicha, tizimning S entropiyasi va termodinamik ehtimolligi quyidagicha bog'langan:

$$S = k \ln w \tag{8.42}$$

bu yerda k – Bolsman doimiysi. Demak, entropiya termodinamik tizim holatining ehtimolligi ko'rsatkichidir yoki entropiya tizim tartibsizligi darajasining o'lchovidir. Haqiqatda, tizim holatini belgilovchi mumkin bo'lgan holatlar soni qancha ko'p bo'lsa tizimning tartibsizlik darajasi yoki entropiyasi shuncha katta bo'ladi. Shu sababli, qaytmas jarayonlarda tizimning entropiyasi doimo oshib boradi.

8.1-§. Yaxlit muhit mexanikasining elementlari

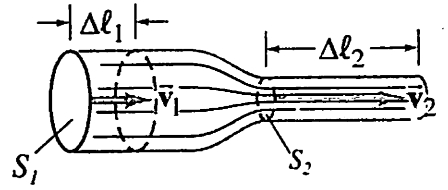
Suyuqlikning harakatini tushuntirish uchun suyuqlikning har bir zarrasi uchun trayektoriya bilan tezlikni vaqtning funksiyasi sifatida yozish kerak. Bu usulni Lagranj ishlab chiqqan. Biroq, suyuqlikning zarralarini kuzatmasdan, fazoning alohida nuqtalarini kuzatib, har bir berilgan nuqtadan suyuqlikning alohida zarralari qanday tezlik bilan o'tayotganligini qayd qilib borsa ham bo'ladi. Bu ikkinchi usul Eyler usuli deyiladi.

Harakatlanayotgan suyuqlikda shunday chiziqlar o'tkazamizki, ularning urinmalari har bir nuqtada yo'nalishi tezlik vektori yo'nalishi bilan ustma-ust tushsin. Bu chiziqlar oqim chiziqlari deyiladi.

Agar tezlik vektori fazoning har bir nuqtasida birdek qolsa, u holda oqim qaror topgan yoki *statsionar* deyiladi. Statsionar oqish vaqtida suyuqlikning istalgan nuqtasi fazoning berilgan nuqtasini bir xil tezlik bilan o'tadi. Statsionar oqish vaqtida oqim chiziqlarining manzarasi o'zgarmaydi va bu holda oqim chiziqlari zarralarning trayektoriyasi bilan ustma-ust tushadi. Suyuqlikning oqim chiziqlari bilan chegaralangan qismi oqim nayi deyiladi.

Agar suyuqlik siqilmaydigan bo'lsa, ya'ni zichligi barcha nuqtalarda bir xil bo'lsa, u holda S_1 va S_2 kesimlar orasida (8.1.1-rasm) suyuqlik miqdori o'zgarmaydi. Demak, vaqt birligi ichida S_1 va S_2 kesimlar orqali oqib o'tuvchi suyuqlik hajmlari bir xil bo'lishi kerak:

$$S_1\vartheta_1 = S_2\vartheta_2 \tag{8.1.1}$$



8.1.1-rasm.

Demak, siqilmaydigan suyuqlik uchun berilgan nayning istalgan kesimida $S\vartheta$ kattalik bir xil bo'lishi kerak ekan:

$$S\vartheta = const.$$

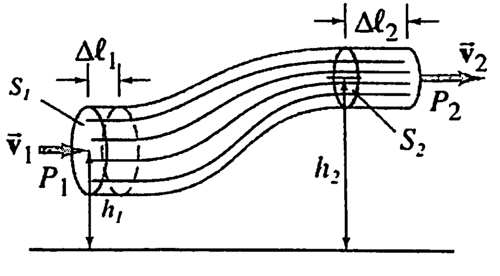
Bu olingan natija oqimning uzluksizligi haqidagi teoremaning mazmunini namoyish qiladi.

Suyuqlikning harakatini tekshirayotganda ko'p hollarda suyuqlikning bir qismining boshqa qismlariga nisbatan harakati vaqtida ishqalanish kuchlari yuzaga chiqmaydi deb hisoblash mumkin. Ichki ishqalanish (qovushqoqlik) umuman yo'q bo'lgan suyuqlik ideal suyuqlik deyiladi.

Oqim nayining kesimini va Δl kesmalarni shu qadar kichik qilib olamizki, shtrixlangan hajmlarning (8.1.2-rasm) har birining barcha nuqtalarida ϑ tezlik, p bosim va h balandlik bir xil deb hisoblash mumkin bo'lsin. U vaqtda energiyaning orttirmasi quyidagicha yoziladi:

$$\Delta E = \left(\frac{\rho\Delta V\vartheta_2^2}{2} + \rho\Delta V g h_2\right) - \left(\frac{\rho\Delta V\vartheta_1^2}{2} + \rho\Delta V g h_1\right) \qquad (8.1.2)$$

bu yerda ρ – suyuqlik zichligi.



8.1.2-rasm.

Ideal suyuqlikda ishqalanish kuchlari yuq. Shuning uchun energiya orttirmasi ajratilgan hajm ustida bosim kuchlari bajargan ishga teng bo'lishi kerak. Yon sirtga ko'rsatiladigan bosim kuchlari har bir nuqtada o'zlari qo'yilgan nuqtalarning ko'chish yo'nalishiga perpendikulyar bo'lganligi uchun ish bajarmaydi. Faqat S_1 va S_2 kesimlarga qo'yilgan kuchlarning ishigina noldan farqli. Bu ish quyidagiga teng:

$$A = p_1S_1\Delta l_1 - p_2S_2\Delta l_2 = (p_1 - p_2)\Delta V \qquad (8.1.3)$$

(8.1.2) va (8.1.3) ifodalardan quyidagi tenglik kelib chiqadi:

$$\frac{\rho\vartheta_1^2}{2} + \rho gh_1 + p_1 = \frac{\rho\vartheta_2^2}{2} + \rho gh_2 + p_2 \qquad (8.1.4)$$

Biz topgan (8.1.4) tenglamadan natijani quyidagicha ta'riflashimiz mumkin: statsionar oqayotgan ideal suyuqlikda istalgan oqim chizig'i bo'ylab quyidagi shart bajariladi:

$$\frac{\rho\vartheta^2}{2} + \rho gh + p = const \qquad (8.1.5)$$

(8.1.5) tenglama yoki unga teng kuchli bo'lgan (8.1.4) tenglama *Bernulli tenglamasi* deyiladi. Bu tenglamani biz idealsuyuqlik uchun topganligimizga qaramasdan u ichki ishqalanish uncha katta bo'lmagan ideal suyuqliklar uchun ham yetarli darajada aniq bajariladi.

Ideal ya'ni ishqalanishsiz suyuqlik bu abstraktdir. Tabiatda real suyuqliklar va gazlarda ko'p yoki oz miqdorda qovushqoqlik yoki ichki ishqalanish mavjud. Qovushqoqlik suyuqlik yoki gazda yuzaga kelgan harakat uni yuzaga keltiruvchi sabablar to'xtagandan keyin asta-sekin to'xtab qolishida namoyon bo'ladi.

Plastinkaning ϑ_0 tezligini, plastinkalarning S yuzini va ular orasidagi d masofani o'zgartirib

$$F_{ishq} = \eta\frac{\vartheta_0}{d}S \qquad (8.1.6)$$

ekanligini topish mumkin, bu yerda η – proporsionallik koeffisiyenti, u suyuqlikning tabiatiga va holatiga bog'liq bo'lib, icki ishqalanish koeffisiyenti yoki qovushqoqlik koeffisiyenti, yoki suyuqlikning (gazning) qovushqoqligi deyiladi.

XB tizimida qovushqoqlik birligi qilib tezlik gradiyenti har 1 metrga $1\,m/s$ bo'lganda qatlamlarining tegib turgan $1m^2$ yuziga $1N$ ichki ishqalanish kuchini yuzaga keltiradigan qovushqoqlik qabul qilingan. Bu birlik $1\frac{N\cdot s}{m^2}$ bilan belgilanadi.

Suyuqlikning (gazning) ikki xil oqimi kuzatiladi. Ba'zi hollarda suyuqlik go'yo aralashmasdan bir-biriga nisbatan sirpanayotgan qatlamlarga ajralgan holda oqadi. Bunday oqimni *laminar* (qatlam-qatlam) oqim deyiladi. Laminar oqim statsionardir.

Oqimning tezligi yoki ko'ndalang o'lchamlari o'zgarsa, oqim xarakteri ham keskin o'zgaradi va suyuqlik intensiv tarzda aralasha boshlaydi. Bunday oqim *turbulent* oqim deyiladi. Turbulent oqim vaqtida zarraning tezligi har bir berilgan joyda doim tartibsiz ravishda o'zgarib turadi – oqim nostatsionar bo'ladi.

Ingliz olimi Reynolds oqish tavsifini o'lchamsiz

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho \vartheta l}{\eta} \qquad (8.1.7)$$

kattalikning qiymatiga bog'liq ekanligini aniqladi, bu yerda $\rho-$ suyuqlikning (gazning) zichligi, $\vartheta-$oqimning o'rtacha tezligi, $\eta-$ suyuqlikning qovushqoqlik koeffisiyenti, $l-$ko'ndalang kesimni tavsiflovchi o'lcham.

(8.1.7) formuladan $\nu = \frac{\eta}{\rho}-$kinematik qovushqoqlik deyiladi. $\eta-$ dinamik qovushqoqlik deyiladi. Bunda Reynolds soni quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\mathrm{Re} = \frac{\vartheta l}{\nu} \qquad (8.1.8)$$

Reynolds soni kichik bo'lganda, ya'ni harakat tezligi va o'lcham kichik bo'lsa, muhitning qarshiligini faqat ishqalanish kuchi yuzaga keltiradi. Stoks aniqlaqan qonunga asosan qarshilik kuchi $\eta-$dinamik qovushqoqlik, $\vartheta-$harakat tezligi va $l-$tavsiflovchi o'lchamga to'g'ri mutanosib bo'ladi. Demak, suyuqliklarda kichik tezliklarda sharchaning harakatiga ko'rsatiladigan qarshikik kuchi Stoks qonuniga asosan quyidagiga teng:

$$F = 6\pi r \eta \vartheta \qquad (8.1.9)$$

Suyuqlik (gaz) ichida vertikal tushayotgan sharchaga uchta kuch 1) pastga qarab yo'nalgan og'irlik kuchi, 2) yuqoriga yo'nalgan Arximed kuchi, 3) sharcha harakatiga teskari yonalgan Stoks kuchi ta'sir qiladi:

$$\vec{F}_{og'} = \vec{F}_A + \vec{F}_S$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_0 g + 6\pi r \eta \vartheta$$

Ushbu tenglamani ϑ_0 ga nisbatan yechsak,

$$\vartheta_0 = \frac{2(\rho - \rho_0) g r^2}{9\eta} \qquad (8.1.10)$$

bu yerda $r-$sharchaning radiusi, $\rho-$sharchaning zichligi, ρ_0- suyuqlikning (gaz) zichligi.

Sharchaning qovushqoq muhitdagi tezligi radiusining kvadratiga to'g'ri mutanosib. Shunday ekan, (8.1.10) formula faqat kichik sharchalar uchun o'rinlidir.

8.2-§. Dasturlash tilida taqsimot funksiyasi grafigini hosil qilish

Borland C++ builder dasturlash tilini ishga tushiramiz.

Formaga komponentalar palitrasidan quyidagi komponentalarni joylashtiramiz:

1. System->PaintBox;
2. Standard->Button.

Button xossasidan Caption->OK nom bilan belgilanadi.

(7.28) Maksvell formulasiga asosan taqsimot funksiyasi

$$f(\vartheta)=4\pi\left(\frac{m_0}{2\pi kT}\right)^{3/2}e^{-\frac{m_0\vartheta^2}{2kT}}\vartheta^2$$

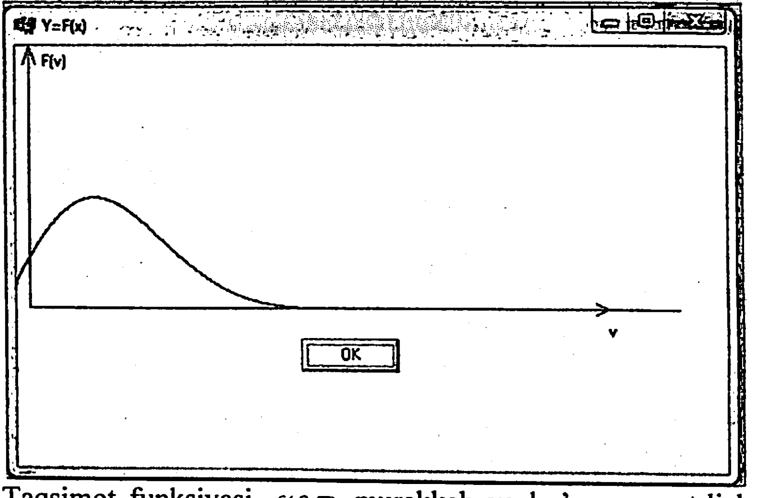
ko'rinishga ega.

OK (Button) tugmachasiga sichqonchaning chap tugmachasini ketma-ket ikki marta bosamiz va quyidagi dastur kodlarini kiritamiz:

```
void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)
{
double g=10,t,v0,pi=3.1415926;
double x,x1,f,h,x2,x0,y0,fx,fy;
Canvas->MoveTo(450,200);
Canvas->LineTo(440,205);
Canvas->MoveTo(450,200);
Canvas->LineTo(440,195);
Canvas->MoveTo(10,0);
Canvas->LineTo(5,15);
Canvas->MoveTo(10,0);
Canvas->LineTo(15,15);
Canvas->MoveTo(10,200);
Canvas->LineTo(10,0);
Canvas->MoveTo(450,200);
Canvas->LineTo(10,200);
Canvas->TextOutA(20,5,"F(v)");
Canvas->TextOutA(450,210,"v");
x0=-10;y0=200;
x1=1;x2=400;
x=x1;
```

```
while (x<x2)
        {
fx=x0+5*x;
fy=y0-5*x*(2-0.001*x*x)*(exp(-0.002*x*x));//taxminiy taqsimot funksiyasi
 PaintBox1->Canvas->Pixels[fx][fy]=clBlue;
 x=x+0.0005;
 }
}
```

Kompilyatsiya jarayonini amalga oshirganimizdan so'ng quyidagi natija kelib chiqadi:



Taqsimot funksiyasi $f(\vartheta,T)$ murakkab va ko'p parametrli bo'lib, temperatura T ma'lum deb hisoblanadi (xona temperaturasiga).

Funksiya grafigini hosil qilishda masshtabni tanlashga ham alohida e'tibor qaratilishi kerak.

Nazorat savollari

1. Ideal gaz nima? Uning parametrlari deganda nimani tushunasiz? Jarayon (protsess) nima? Ideal gazning xolat tenglamasini yozing.
2. Molekulyar kinetik nazariyasining asosiy prinsiplarini sanab o'ting. Uning asosiy tenglamasi qanday ko'rinishda?
3. Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimoti, Maksvell taqsimoti va molekulalarning o'rtacha, o'rtacha kvadrat va extimolligi eng katta tezliklar formulalarini yozib bering.

4. Barometrik formulani keltirib chiqaring. Bolsman taqsimoti qanday kattaliklarni o'zaro bog'laydi. Maksvell-Bolsman qonuni yozib bering.
5. Molekulalarning issiqlik xarakat energiyasi formulasini yozing. Erkinlik darajasini tushuntiring.
6. Termodinamikaning I qonunini, ta'rifi va formulasini yozing. Issiqlik sig'imi nima.
7. Gazlarning bajargan ishi, ichki energiya formulalarini yozing. Issiqlik sig'imi nima?
8. Xar xil izojarayonlarda bajarilgan ish, issiqlik sig'imi va termodinamikaning I qonuni.
9. Qaytar va qaytmas jarayonlar nima? Karno sikli nima? Uning foydali ish koyefitsentini formulasini yozing? Kuchli hodisalarni tushuntiring.

Masala yechish namunalari

1. Sig'imi 12 litr bo'lgan ballonda $8.1\cdot10^6\frac{N}{m^2}$ bosim va $17^\circ C$ temperaturada azot to'ldirilgan. Ballonda qancha azot bor?

Berilishi: $V=12l=12\cdot10^{-3}m^3$, $P=8.1\cdot10^6Pa$, $T=273+17=290K$,

$M_{azot}=28\cdot10^{-3}\frac{kg}{mol}$

Topish kerak $m=?$

Yechilishi: Azotning massasini Mendeleyev-Klaneyron tenglamasiga ko'ra $PV=\frac{m}{\mu}RT$ bunda $m=\frac{PV\mu}{RT}$ hisoblaymiz. Javob: $m=1.13kg$.

2. Agar $p=200\,mm\,simust$ bosimda vodorod molekulasining o'rtacha kvadaratik tezligi $2400m/s$ ga teng bo'lsa, bu sharoitda $1\,sm^3$ hajmdagi vodorod molekulalarining sonini toping.

Berilishi: $P=266.6Pa$, $\vartheta_{kv}=2{,}4\cdot10^3\frac{m}{s}$. $\mu=2\cdot10^{-3}\frac{kg}{mol}$

Topish kerak $n=?$

Yechilishi: $P=nkT$, $k=\frac{R}{N_A}$ tenglikdan: $P=n\frac{R}{N_A}T$, bundan $n=\frac{PN_A}{RT}$.

Ikkinchi tomondan $\vartheta_{kv}=\sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$ ikki tomonlama kvadratga ko'tarsak $\vartheta_{kv}^2=\frac{3RT}{\mu}$, bundan $RT=\frac{\vartheta_{kv}^2\mu}{3}$ $n=\frac{3PN_A}{\vartheta_{kv}^2\mu}$ formula orqali hisoblasak $n=4.2\cdot10^{24}m^3$ kelib chiqadi.

3. Binoni to'ldirib turgan qishdagi $(7^{\circ}C)$ havoning og'irligi yozdagi $(37^{\circ}C)$ havoning og'irligidan necha marta katta? Bosim bir xil deb olinsin.

Berilishi: $t_1 = 7^{0}C \Rightarrow T = 273+7 = 280K$, $t_2 = 37^{0}C \Rightarrow T = 273+37 = 310K$

Topish kerak $\frac{S_1}{S_2} = ?$

Yechilishi: Birinchi holat uchun $\frac{PV_1}{T_1} = \frac{m}{\mu}R$, ikkinchi holat uchun esa: $\frac{PV_2}{T_2} = \frac{m}{\mu}R$ ushbu tenglamalarning o'ng tomonlari tengligi uchun va $P = const$ bo'lganligidan: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$, $\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_1}{V_2}$ va $V = \frac{m}{S}$ bo'lganligi uchun

$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\frac{m}{S_1}}{\frac{m}{S_2}} = \frac{S_1}{S_2}$ ushbu tenglama orqali qidirilayotgan nisbatni hisoblaymiz. Javob: $\frac{S_1}{S_2} = 1.1\ marta$

4. Sig'imi $1m^3$ bo'lgan berk idishda 0.9 kg suv va 1.6 kg kislorod bor. $500^{\circ}C$ temperaturada suvning to'liq bug'ga aylanishi ma'lum bo'lsa, bu temperaturada idishdagi bosim nimaga teng?

Berilishi: $V = 1\,m^3$, $m_1 = 1.6\,kg$, $m_2 = 0.9\,kg$, $t = 500^{0}C \Rightarrow T = 273+500 = 773K$.

Topish kerak $P = ?$

Yechilishi: Dalton qonuniga ko'ra $P = P_1 + P_2$ (a) bunda P_1 - kislorodning normal bosimi $\left(\mu_1 = 32\cdot10^{-3}\frac{kg}{mol}\right)$, P_2 - suv bug'ining normal bosimi $\left(\mu_2 = 18\cdot10^{-3}\frac{kg}{mol}\right)$ bo'lib quyidagicha ifodalanadi: $P_1 = \frac{m_1RT}{\mu_1V}$, $P_2 = \frac{m_2RT}{\mu_1V}$ (b). (a) ga ko'ra (b) dan $P = P_1 + P_2 = \frac{m_1RT}{\mu_1V} + \frac{m_2RT}{\mu_2V} = \frac{RT}{V}\left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}\right)$ hisoblasak $P = 640\cdot10^3\,Pa$ kelib chiqadi.

5. $1.5\cdot10^5\,N/m^2$ bosimda bo'lgan $2\,l$ hajmli idishdagi ikki atomli gaz molekulalari issiqlik harakatinining energiyasi nimaga teng?

Berilgan: $V = 2l = 2\cdot10^{-3}m^3$, $P = 150\cdot10^3 Pa$

Topish kerak: $W = ?$

Yechilishi:Ushbu holatdagi gaz uchun Mendeleyev – Klaneyron tenglamasi:

$PV=\frac{m}{\mu}RT$ (a). Gazning ichki energiyasi $W=\frac{i}{2}\frac{m}{\mu}RT$ (b). (a) ga ko'ra (b) dan: $W=\frac{i}{2}PV$. Ushbu tenglamadan qidirilayotgan kattalik hisoblanadi.

Javob: $W=750J$.

6. 1) $V=const$ va 2) $P=const$ bo'lganda kislorod solishtirma issiqlik sig'imi topilsin.

Kislorod uchun a) $V=const$ va b) $P=const$ hol uchun solishtirma issiqlik sig'imi C ni topish kerak.

Yechilishi: $V=const$ hol uchun $C_v=\frac{i}{2}R$, bundan i=5 uchun $C_v=\frac{5}{2}\cdot 8.31=2.5\cdot 8.31=20.8\frac{J}{mol\cdot K}$, $C=\mu c$, yoki $c=\frac{C}{\mu}$ bo'lganligidan: $C_v=\frac{c_v}{\mu}=\frac{20.8}{32\cdot 10^{-3}}=650\frac{J}{kg\cdot K}$. Huddi shu usulda hisoblanadi: $C_p=C_v+R$ yoki $C_p=\frac{C_v\mu+R}{\mu}=910\frac{J}{kg\cdot K}$.

7. $300\ mm\ sim\ ust$ bosimda zichligi $0.3\frac{g}{l}$ bo'lgan gaz molekulalarining o'rtacha arifmetik, o'rtacha kavadratik va ehtimolligi eng katta tezliklari topilsin.

Berilishi : $P=40\cdot 10^3 Pa,\ \rho=0.3kg/m^3$.

Topish kerak: $\sqrt{\vartheta^2}=\sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$ (a). $\bar{\vartheta}=\sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$, $\vartheta_{ii}=\sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$ (b). Ikkinchi tomonda holat tenglamasiga ko'ra $PV=\frac{m}{\mu}RT$ dan $\frac{RT}{\mu}=\frac{PV}{m}=\frac{P}{\frac{m}{V}}$, (a) va (b) tenglamalarga qo'llasak $\sqrt{\vartheta^2}=\sqrt{\frac{3P}{S}}$, $\bar{\vartheta}=\sqrt{\frac{8P}{\pi S}}$, $\vartheta_{ii}=\sqrt{\frac{2P}{S}}$. Ushbu tenglamalar orqali qidirilayotgan kattaliklarning son qiymatlari hisoblanadi. Javob : $\sqrt{\vartheta^2}=628 m/c,\ \vartheta_{ii}=513\ m/c$, $\bar{\vartheta}=580\ m/c$.

8. Temperaturasi $27^{\circ}C$ bo'lgan $6.5\ g$ vodorod $P=const$ bosimda tashqaridan berilayotgan issiqlik hisobiga ikki marta kengaygan. 1) Gazning kengayishi ishi, 2) gaz ichki energiyasining o'zgarishi, 3) gazga berilgan issiqlik miqdorini toping.

Berilishi : $m=6.5\cdot 10^{-3}kg$, $T=700K$, $V_2=2V$, $P=const$

Topish kerak $A=?$, $\Delta W=?$, $Q=?$.

Yechilishi: Dastlab A ni quyidagicha topamiz: $dA=PdV$ yoki integrallasak, $A=\int_V^{2V}PdV=P(2V-V)=PV$. Holat tenglamasiga ko'ra

$PV=\frac{m}{\mu}RT$ $A=\frac{m}{\mu}RT=\frac{6.5\cdot10^{-3}}{2\cdot10^{-3}}8.31\cdot300=8.1kJ$, endi ichki energiya o'zgarishi uchun quyidagini yozamiz: $\Delta W=\frac{i}{2}\frac{m}{\mu}R\Delta T$ (a). Bunda i = 5 ga teng, va $P=const$ bo'lganligidan $\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}$ yoki $\frac{V_2}{T_1}=\frac{T_2}{T_1}=2$ uchun $T_2=2T_1$ va $\Delta T=T_2-T_1=2T_1-T_1=T_1$ u holda (a) dan $\Delta W=\frac{5}{2}\frac{m}{\mu}RT_1$.

Hisoblaymiz: $\Delta W=2.5\cdot\frac{6.5\cdot10^{-3}}{2\cdot10^{-3}}8.31\cdot300=2.5\cdot8.1\cdot10^3=20.25kJ$ va nihoyat $Q=\Delta W+A=20.25\cdot10^3+8.1\cdot10^3=28.35\cdot10^3J$.

9. Karno sikli bo'yicha ishlaydigan ideal issiqlik mashinasi har bir siklda $7.35\cdot10^{-3}$ J ish bajaradi. Isitgichning temperaturasi 100^0C, sovitgichning temperaturasi 0^0C. 1) Mashinaning FIK, 2) mashinaning bir siklda isitgichdan olgan issiqlik miqdori, 3) bir siklda sovitgichga bergan issiqlik miqdorini toping.

Berilishi : $A=73.5\cdot10^3J$ $T_1=373K$, $T_2=273K$

Topish kerak $\eta=?$, $Q_1=?$, $Q_2=?$

Yechilishi: $\eta=\frac{T_1-T_2}{T_1}$ bunda $\eta=\frac{373-273}{373}\cdot100\%=26.8\%$. Ikkinchidan: $\eta=\frac{A}{Q_1}$, $Q_1=\frac{A}{\eta}=\frac{73\cdot5\cdot10^3}{0.268}=274kJ$. $Q_2=Q_1-A=274\cdot10^3-75\cdot5\cdot10^3=200\ kJ$.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. 10 g kislorod 10^0C temperatura va 3 atmosfera bosimda turibdi. U o'zgarmas bosimda qizdirilgandan so'ng kengayib, 10 l hajmni egallaydi. Gazning 1) kengaygandan oldingi hajmi, 2) kengaygandan keyingi temperaturasi, 3) kengaygandan oldingi zichligi va 4) kengaygandan keyingi zichligini toping. 1) $V_1=\frac{MRT}{\mu p}=2.4\cdot10^{-3}m^3$, 2) $T=\frac{\mu pV_2}{MR}=1170^0K$ 3) $p_1=\frac{\mu p}{RT_1}=4.14k/m^2$n 4) $p_2=\frac{\mu p}{RT_2}=1kg/m^3$.
2. $V_1=3$ litr sig'imli A idishda $P_0=2atm$ bosimda gaz bor. $V_2=4$ litr sig'imli B idishda $P_0=1atm$ bosimda huddi o'shancha gaz bor. Ikkala idishda ham temperaturalar bir xil. Ikkala idish naycha bilan tutashtirilsa, gaz bosimi qanday bo'ladi? ($P=\frac{P_0'V_1'+P_0'V_2}{V_1+V_2}=1.4\cdot10^3N/m^2$).
3. Havo og'irligining 23.6% qismi kisloroddan, 76.4% qismi azotdan tashkil topgan deb hisoblab, havoning 750 mm sim. ust. bosimda va 13^0C haroratda zichligi topilsin. Bu sharoitda kislorot va azotning

partsial bosimini toping $\rho = 1{,}2 kg/m^3$, $P_1 = 0.236 \cdot 10^5 N/m^2$, $P_2 = 0.764 \cdot 10^5 N/m^2$.

4. 600 m/s tezlik bilan uchib ketayotgan azotning molekulasi idish devoriga normal ravishda urilib, undan tezligini yo`qotmasdan elastik qaytadi. Urilish vaqtida idish devorining olgan kuch impulsini toping ($5.6 \cdot 10^{-23} N \cdot s$).
5. Havosi qisman so'rib olingan ikki uchi kavsharlangan uzunligi $L = 1m$ bo'lgan gorizontal holatdagi nayning o'rtasida $h = 20sm$ uzunlikdagi simob ustuni bor. Nay vertikal holatda bo'lganda uning ichidagi simob ustuni $l = 10sm$ pastga siljigan. Gorizontal holatda bo'lgan naydagi havoning bosimini toping. ($P_1 = 50kPa$).
6. Hajmi $400 l$ bo'lgan ballonda $P_1 = 2MPa$ bosim ostida gaz bor. Bosim $P_2 = 1\ MPa$ gacha kamaygan bo'lsa, ballondan chiqarib yuborilgan gazning massasini toping. Normal sharoitda gazning zichligi $\rho_0 = 0.6\ kg/m^3$ ga teng. Jarayon izotermik deb hisoblang. ($\Delta m = 2.4\ kg$).
7. Silindrning porsheni ostida gaz bor. Porshenning og'irligi $P = 6\ N$, tubining yuzi $S = 20\ sm^2$, atmosfera bosimi esa $P_0 = 750\ mm\ sim\ ust$ ga teng. Silindrdagi gazning hajmini ikki marta kamaytirish $V_1/V_2 = 2$ uchun, porshenga qanday qo'shimcha kuch ta'sir etishi kerak? Jarayon izotermik deb hisoblang. ($F = 206\ N$).
8. Aerostat qobig'i gaz bilan oxirigacha to'ldirilmaydi. Aerostat ko'tarilgani sari atmosfera bosimi kamaya boradi va kengaya boradi. Agar aerostat qobig'i $V_0 = 500m^3$ geliy bilan $P_0 = 10^5 Pa$ bosimda to'ldirilgan bo'lsa, qanday h balandlikka ko'tarilgandan keyin gaz qobig'ining hajmi $V = 600m^3$ ga teng bo'lib qoladi? Har $\Delta h = 11\ m$ ga ko'tarilganda atmosfera bosimi $\Delta P = 133Pa$ ga kamayadi. Harorati balandlikka bog'liq emas deb hisoblang. ($h = 1.378\ km$).
9. Gaz to'ldirilgan ballonga ulangan manometr $t = 17^0C$ haroratli xonada $P = 240kPa$ bosimni ko'rsatadi. Ballon tashqariga olib chiqilganda manometrning ko'rsatishi $\Delta P = 40kPa$ ga kamaygan. Agar atmosfera bosimi $P_0 = 100kPa$ bo'lsa, tashqaridagi havoning haroratini toping.

   $(T_2 = T_1 \dfrac{P + P_0 - \Delta P}{P + P_0} = 256K)$.
10. Gaz to'ldirilgan ballon bo'yni kesimining yuzi $S = 2.5sm^2$ bo'lib, u og'irligi $P = 12N$ bo'lgan klapan bilan berkitilgan. Ballondagi havoning boshlang'ich bosimi va tashqi bosim bir xil bo'lib,

$P_0 = 100kPa$, harorat esa $T_1 = -3^oC$ ga teng. Ballondagi havo klapani ochib chiqishi uchun uni qanday temperaturagacha qizdirish kerak?
($T_2 = T_1 \frac{P_0 + P/S}{P_0} = 400K$) .

11. Suv osti kemasining hajmi $V_1 = 40l$ bo'lgan sisternasida $P_1 = 15MPa$ bosim ostida siqilgan $t_1 = 27^oC$ haroratli havo bor. Shu sisternadan qancha hajmli suv sizib chiqishi mumkin? Kema $h = 20m$ chuqurlikda turibdi. Be yerda harorat $t_2 = 7^oC$ ga teng. Suvning zichligi $\rho = 1000kg/m^3$, atmosfera bosimi esa $p_0 = 100kPa$.
($V = V_1\left[\frac{p_0 T_2}{(p_0 + \rho g h)T_1} - 1\right] = 1.85m^3$).

12. Hajmi $V = 20l$ bo'lgan ballonda $t_1 = 27^oC$ hatorat va $p_1 = 7.5MPa$ bosim ostida siqilgan kislorod bor. Agar ballondagi gaz bilan payvandlash vaqtida ballondagi gazning harorati $t_2 = 27^oC$ gacha pasaygan va bosimi $P_2 = 5.9MPa$ ga teng bo'lsa, qancha massali kislorod sarflangan? Kislorodning normal sharoitdagi zichligi $\rho_0 = 1.43kg/m^3$.
($\Delta m = \rho_0 V_1 \frac{P_2 T_0}{P_0 T_2}\left(\frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} - 1\right) = 38.29g$).

13. Agar biror gaz bir kilomolining massasi $\mu = 30\ \frac{kg}{kmol}$ ga tengligi va uning uchun $\frac{c_p}{c_v} = 1.4$ nisbati ma'lum bo`lsa, gazning $c_v$ va $c_p$ solishtirma issiqlik sig`imini toping. ($c_v = 693\ \frac{J}{kg \cdot K}$, $c_p = 970\ \frac{J}{kg \cdot K}$).

14. Massasi $m = 32g$ bo'lgan kislorodning bosimini o'zgarmas hajmda $T_1 = 273K$ haroratdan boshlab uch marta orttirish uchun sistemaga berilgan issiqlik miqdori va ajargan ishni toping. Kislorodning o'zgarmas hajmdagi solishtirma issiqlik sig'imi $c_V = 657\frac{J}{kg \cdot K}$.
($Q_V = 11479J$, $A_V = 0$).

15. Hajmi $V_1 = 70\ m^3$ bo'lgan xonadagi havo $P = 100kPa$ o'zgarmas bosimda $T_1 = 280K$ dan $T_2 = 300K$ gacha isitilgan bo'lsa, havoning kengayishida bajarilgan ishni toping. ($A_p = pV_1(\frac{T_2}{T_1} - 1) = 500kJ$)

16. Massasi $m = 14g$ bo'lgan azot $T = 250K$ haroratli izotermik ravishda $p_2 = 1\ atm$ bosimgacha kengayganda bajarilgan ish nimaga teng bo'ladi?

$(A=\frac{m}{\mu}RT\ln\frac{P_1}{P_2}=720J)$.

17. $2\cdot10^5 N/m^2$ bosim ostida bo`lgan $17^oC$ temperaturali 5 litr hajmni egallagan gaz isitilganda izobarik ravishda kengaygan. Bunda gazning kengayish ishi $20\,kG\cdot m$ ga teng bo`lgan. Gaz necha gradusga isitilgan? $(\Delta t=57^0)$.

18. Ko'p atomli 1 kmol gaz erkin kengaya olish sharoitida $100\,^oC$ isitilgan. 1) Gazga berilgan issiqlik miqdori 2) gaz ichki energiyasining o`zgarishi 3)kengayishda bajarilgan ishni toping. (1) $Q=3.32\cdot10^6J$, 2) $\Delta W=2.49\cdot10^4J$ 3)$A=8.31\cdot10^5J$).

19. Ichki yonuv dvigatelining silindiridagi havo adiabatik siqiladi va bunda uning bosimi $P_1=1\,atm$ dan $P_2=35\,atm$ gacha o`zgaradi. Havoning boshlang`ich temperaturasi 40^0C. Havoning siqilgandan keyingi temperaturasini toping. $(T=865K)$.

20. Ideal issiqlik mashinasi Karno sikli bo`yicha ishlaydi. Bunda isitkichdan olingan issiqlikning 80% i sovutkichga beriladi. Isitkichdan olingan issiqlik miqdori 1.5 kkal ga teng. 1) Siklning FIK 2) To'la siklda bajarilgan ish topilsin. ($\eta=20\%$ $A=1.26\cdot10^3J$)

21. $P=10^6Pa$ bosim ostida bo'lgan $V=10l$ hajmli havo ikki marta kengaytirilgan. Sistemaning kengayishi: a) izotermik; b) izobarik bo'lgan jarayonlarda bajarilgan ishlarni va oxirgi bosimlarni toping. $(a)\,A_T=702J,\ p_2'=0.5MPa,\ b)\,A_p=1\,kPa,\ p_2''=100\,kPa)$.

22. Karno sikli bo'yicha ishlovchi ideal issiqlik mashinasi isitkichining harorati $T_1=400K$, sovutkichniki esa, $T_2=300K$. Agar isitkichning harorati $\Delta T=200K$ ga ko'tarilsa, siklning FIK i qanchaga oshadi? $(\frac{\eta_2}{\eta_1}=\frac{(T_1-T_2+\Delta T)T_1}{(T_1-T_2)(T_1+\Delta T)})$.

23. Teskari Karno sikli bo`yicha ishlaydigan ideal issiqlik mashinasi, xar bir siklda $3{,}7\cdot10^4J$ ga teng ish bajaradi. Bunda mashina -10^oC temperaturali jismdan issiqlik olib, 17^oC jismga issiqlik beradi. 1) Siklning FIK 2) bir siklda sovuq jismdan olingan issiqlik miqdori 3) bir siklda issiq jismga berilgan issiqlik miqdorini toping. (1) $\eta=0.093$ 2) Q_3=360J 3) $Q_1=397kJ$).

24. Ideal sovitish mashinasi teskari Karno sikli bo`yicha issiqlik nasosidek ishlaydi. Bunda mashina $2^oC$ temperaturali suvdan issiqlik oladi va uni $27^oC$ temperaturali xavoga beradi. 1) Biror vaqt oralig`ida xavoga berilgan issiqlik miqdorini shuncha vaqtda suvdan

olingan isiqlik miqdoriga bo`lgan nisbatidan iborat $\eta_1$ koeffitsiyent 2) biror vaqt oralig`ida suvdan olingan issiqlik miqdorini shuncha vaqt oralig`ida mashinaning ishlashi uchun sarflangan energiyaga bo`lgan nisbatidan iborat η_2 koeffitsiyent (η_2-mashinaning sovitish koeffitsiyenti deyiladi). 3) Biror vaqt oralig`ida mashinaning ishlashi uchun sarflangan energiyani shuncha vaqt xavoga berilgan issiqlik miqdoriga bo`lgan nisbatidan iborat η_3 koeffitsiyent (η_3 siklning FIK) topilsin. Va FIK larning bog`lanishlarini toping ($\eta_1 = 1.09$, $\eta_2 = 11$, $\eta_3 = 0.083$).

ILOVALAR

I jadval

Asosiy fizik kattaliklar

Fizik kattaliklar	Son qiymati
Tortishish kuchi doimiysi γ	$6{,}67\cdot 10^{-11}$ $m^3/kg\cdot sek^2$
1kmol dagi molekulalsr soni (Avogadro soni) N_0	$6{,}025\cdot 10^{26}$ $kmol^{-1}$
Normal sharoitlarda *1 kmol'* ideal gazning hajmi V_0	$22{,}4$ m^3
Universal gaz doimiysi R	$8{,}31\cdot 10^3$ j/kmol·grad
Bol'sman doimiysi *k*	$1{,}38\cdot 10^{-23}$ j/grad
Faradey soni F	$9{,}65\cdot 10^7$ k/kg·ekv
Stefan –bolsman doimiysi σ	$5{,}67\cdot 10^{-8}$ bt/m^2grad^4
Plank doimiysi h	$6{,}625\cdot 10^{-19}$k
Elektron zaryad *e*	$1{,}602\cdot 10^{-19}$ k
Elektronning tich holatidagi massasi m_e	$9{,}11\cdot 10^{-31}$kg=$5{,}49\cdot 10^{-4}$m.a.b. (massa atom birligi)
Protonning tinch holatdagi massasi m_n	$1{,}672\cdot 10^{-27}$kg=1,00759 m.a.b
Neytronning tinch holatdagi massasi m_n	$1{,}675\cdot 10^{-27}$kg=1,00899 m.a.b
Yorug'likning vakuumda tarqalish tezligi	$3{,}00\cdot 10^8$m/sek

II jadval

Ba'zi astronomik kattaliklar

Yerning o'rtacha radiusi	$6{,}37\cdot 10^6$ m
Yerning o'rtacha tezligi	5500 kg/m^3
Yerning massasi	$5{,}96\cdot 10^{24}$ kg
Quyoshning radiusi	$6{,}95\cdot 10^8$ m
Quyoshning massasi	$1{,}97\cdot 10^{30}$ kg
Oyning radiusi	$1{,}74\cdot 10^6$ m
Oyning massasi	$7{,}3\cdot 10^{22}$ kg
Oy va yerning markazlari orasidagi o'rtacha masofa	$3{,}84\cdot 10^8$ m
Yer va quyoshning markazlari orasidagi o'rtacha masofa	$1{,}5\cdot 10^{11}$ m
Oyning yer atrofidan aylanish davri quyoshning o'rtacha zichligi	27 sutka 7 soat 43 min 1400 kg/m^3

III-jadval

Quyosh sistemasining planetalari to'g'risidagi ba'zi ma'lumotlar

	Merkuriy	Venera	Yer	Mars	Yupiter	Saturn	Uran	Neptun
Quyoshdan o'rtacha masofa mln.km	57,9	108,0	149,5	227,8	777,8	1426,1	2869,1	4495,6
Quyosh tevaragida aylanish davri, yer yili	0,24	0,62	1,0	1,88	11,86	29,46	84,02	164,8
Ekvatornal diametr, km	4840	12400	12742	6780	139760	115100	51000	50000
Yer hajmiga nisbatan hajmi	0,055	0,92	1,0	0,150	1345	767	73,5	59,5
Yer massasiga nisbatan massasi	0,054	0,81	1,0	0,107	318,4	95,2	14,58	17,26
Yer yuzidagi totish kuchi tezlanishiga nisbatan og'irlik kuchi tezlanishi (g=980,7 sm/sek^2)	0,38	0,85	1,0	0,38	2,64	1,17	0,92	1,14

IV jadval

Atomlar va molekulalarning diametrlari

Geliy (He)	$2\cdot 10^{-10}$m
Vodorod (H_2)	$2{,}3\cdot 10^{-10}$ m
Kislorod (O_2)	$3\cdot 10^{-10}$ m
Azot (N_2)	$3\cdot 10^{-10}$ m

V jadval

T_k va P_k kritik qiymatlari

Modda	T_k, ^0K	P_k, atm	$p_k \cdot 10^{-6}$, N/m^2
Suv bug'i	647	217	22,0
Karbonat angidrid	304	73	7,4
Kislorod	154	50	5,07
Argon	151	48	4,87
Azot	126	33,6	3,4
Vodorot	33	12,8	1,3
Geliy	5,2	2,25	0,23

VI jadval

Turli temperaturalarda fazoni to'yintiruvchi suv bug'larining elastikligi

t, ^{0} C	P_b, *mm* simob ustini	t, ^{0} C	P_b, *mm* simob ustini
-5	3,01	16	13,6
0	4,58	18	15,5
1	4,93	20	17,5
2	5,29	25	23,8
3	5,69	30	31,8
4	6,10	40	55,3
5	6,54	50	92,5
6	7,01	60	149
7	7,71	70	234
8	8,05	80	355
9	8,61	90	526
10	9,21	100	760
12	10,5	150	4,8 atm
14	12,0	200	15,3 atm

VII jadval

Turli temperaturalarda suvning bug'lanish solishtirma issiqligi

t, ^{0} C	0	50	100	200
r, kal/g $r \cdot 10^{-5}$, J/kg	595 24,9	568 23,8	539 22,6	464 19,4

VIII jadval

Ba'zi bir suyuqliklarning xossalari

Suyuqlik	**Zichlik, kg/m^3**	**20^0C lagi solishtirma issiqlik sig'imi**		**20^0C dagi sirt taranglik koeffisenti, N/m**
		J/kg · grad	**kal/g · grad**	
Benzol	880	1720	0,41	0,03
Suv	1000	4190	1,0	0,073
Gliserin	1200	2430	0,58	0,064
Kanakunjit moyi	900	1800	0,43	0,035
Kerosin	800	2140	0,051	0,03
Simob	13600	138	0,033	0,5
Spirt	790	2510	0,6	0,02

IX jadval

Ba'zi bir qattiq jismlarning xossalari

Modda	**Zichlik kg/m^3**	**Erish tempe-raturasi ^0C**	**Solishtirma issiqlik sig'imi**		**Erish solishtirma issiqligi, J/kg**	**Chiziqli issiqlik kengayish koeffisienti, $grad^{-1}$**
			J/kg · grad	**kkal/kg · rad**		
Alyuminiy	2600	659	896	0,214	$3{,}22 \cdot 10^5$	$2{,}3 \cdot 10^{-5}$
Temir	7900	1530	500	0,119	$2{,}72 \cdot 10^5$	$1{,}2 \cdot 10^{-5}$
Jez	8400	900	386	0,092	-	$1{,}9 \cdot 10^{-5}$
Muz	900	0	2100	0,5	$3{,}35 \cdot 10^5$	-
Mis	8600	1100	395	0,094	$1{,}76 \cdot 10^5$	$1{,}6 \cdot 10^{-5}$
Qalayi	7200	232	230	0,055	$5{,}86 \cdot 10^4$	$2{,}7 \cdot 10^{-5}$
Platina	21400	1770	117	0,028	$1{,}13 \cdot 10^5$	$0{,}89 \cdot 10^{-5}$
Po'kak	200	-	2050	0,49	-	-
Qo'rg'oshin	11300	327	126	0,030	$2{,}26 \cdot 10^4$	$2{,}9 \cdot 10^{-5}$
Kumush	10500	960	234	0,056	$8{,}8 \cdot 10^4$	$1{,}9 \cdot 10^{-5}$
Po'lat	7700	1300	460	0,11	-	$1{,}06 \cdot 10^{-5}$
Rux	7000	420	391	0,093	$1{,}17 \cdot 10^5$	$2{,}9 \cdot 10^{-5}$

X jadval

Ba'zi bir qattiq jismlarning elastilik xossalari

Modda	Mustahkamlik chegarasi	Yung moduli
	N/m^2	N/m^2
Alyuminiy	$1,1 \cdot 10^8$	$6,9 \cdot 10^{10}$
Temir	$2,94 \cdot 10^8$	$19,6 \cdot 10^{10}$
Mis	$2,45 \cdot 10^8$	$11,8 \cdot 10^{10}$
Qo'rg'oshin	$0,2 \cdot 10^8$	$1,57 \cdot 10^{10}$
Kumush	$2,9 \cdot 10^8$	$7,4 \cdot 10^{10}$
Po'lat	$7,85 \cdot 10^8$	$21,6 \cdot 10^{10}$

XI jadval

Ba'zi bir qattiq jismlarning issiqlik o'tkazuvchanligi
(λ $W/m \cdot grad$)

Alyuminiy	210
Namat	0,046
Temir	58,7
Eritilgan kvars	1,37
Mis	390
Quruq qum	0,325
Po'kak	0,050
Kumush	460
Ebonit	0,174

XII jadval

Dielektriklarning dielektrik kirituvchanligi

Mum	7,8
Suv	81
Kerosin	2
Moy	5
Parafin	6
Slyuda	6
Shisha	6
Chinni	6
Ebonit	2,6
Parafinlangan qog'oz	2

XIII jadval

O'tkazgichlarning solishtirma qarshiligi (0^0 C da $\Omega \cdot m$)

Alyuminiy	$2,53 \cdot 10^{-8}$
Grafit	$3,9 \cdot 10^{-7}$
Temir	$8,7 \cdot 10^{-8}$
Mis	$1,7 \cdot 10^{-8}$
Nixrom	$1 \cdot 10^{-6}$
Simob	$9,4 \cdot 10^{-7}$
Qo'rg'oshin	$2,2 \cdot 10^{-7}$
Po'lat	$1,0 \cdot 10^{-7}$

XIV jadval

Ionlarning elektrolitlardagi harakatachanligi ($m^2/V \cdot s$)

NO_3^-	$6{,}4 \cdot 10^{-8}$
NO^+	$3{,}26 \cdot 10^{-7}$
K^+	$6{,}7 \cdot 10^{-8}$
Cl^-	$6{,}8 \cdot 10^{-8}$
Ag^+	$5{,}6 \cdot 10^{-8}$

XV jadval

Elektronlarning metallardan chiqishdagi ishi (MeV da)

W	4,5
W + Cs	1,6
W + Th	2,63
Pt + Cs	1,40
Pt	5,3
Ag	4,74
Li	2,4
Na	2,3
K	2,0
Cs	1,9

XVI jadval

Sindirish ko'rsatkichlari

Olmos 2,42	Uglerod sulfid 1,63
Suv 1,33	Skipidar 1,48
Muz 1,31	Shisha 1,5-1,9

XVII jadval

Volfram 0,178	Platina 0,158
Oltin 0,153	Kumush 0,484
Mis 0,38	

XVIII jadval

Simob yoyining spektral chiziqlari ($\mathring{A}$ da)

2537	4047	5461	6128
3650	4358	5770	6908
3655	5235	5791	7082

XIX jadval

Ba'zi izotoplarning massalari (*m. a. b*)

Izotop	Massa	Izotop	Massa	Izotop	Massa
$_1H^1$	1,00814	$_4Be^9$	9,01505	$_{14}Si^{30}$	29,98325
$_1H^2$	2,01474	$_5Be^{10}$	10,01612	$_{20}Ca^{40}$	39,97542
$_1H^3$	3,01700	$_2C^{12}$	12,00380	$_{27}Co^{56}$	55,95769
$_2He^3$	3,01699	$_7N^{13}$	13,00987	$_{29}Cu^{63}$	62,94962
$_2He^4$	4,00388	$_7N^{14}$	14,00752	$_{48}Cd^{113}$	112,94206
$_3Li^6$	6,01703	$_8O^{17}$	17,00453	$_{80}Hg^{200}$	200,02800
$_3Li^7$	7,01823	$_{12}Mg^{23}$	23,00145	$_{92}U^{235}$	235,11750
$_4Be^7$	7,01916	$_{12}Mg^{24}$	23,99267	$_{92}U^{238}$	238,12376
$_4Be^8$	8,00785	$_{13}Al^{27}$	26,99010	-	-

XX jadval

Ba'zi izotoplarning yarim yemirilish davrlari

$_{20}Ca^{45}$	164 sutka
$_{38}Sr^{90}$	28 yil
$_{84}Po^{210}$	138 sutka
$_{86}Rn^{222}$	3,82 sutka
$_{88}Ra^{226}$	1590 yil
$_{92}U^{235}$	$7,1 \cdot 10^8$ yil
$_{92}U^{238}$	$4,5 \cdot 10^9$ yil

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining «O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida»gi Farmoni.// O'zbekiston Respublikasi Qonun hujjatlari to'plami. –T., 2017. - B.39.
2. Sh.M.Mirziyoyev. Buyuk kelajagimizni mard va oliyjanob xalqimiz bilan birga quramiz. Toshkent: "O'zbekiston", 2017 y.
3. Abduraxmanov Q.P., Xamidov V.S., Axmedova N.A. FIZIKA. Darslik. Toshkent. 2018 y.
4. Абдурахманов К.П., Эгамов Ў. "Физика". Дарслик. Тошкент. 2013 й.
5. Abduraxmanov Q.P., Egamov O'. "FIZIKA". Darslik. Toshkent. 2015 y.
6. Xudayberdiyev A.T., Jumayev N.A., Turayev S.J. Umumiy fizikadan masalalar va ularni yechishda dasturiy vositalardan foydalanish namunalari. O'quv qo'llanma. Qarshi "Nasaf". 2019 y. – B.247.
7. Douglous C. Giancoli., Physics principles with applications. USA-2014. V.1, p-978.
8. Serway R.A., Jewett J.W. Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 8ed., Brooks Cole, 2010. – 1558p.
9. Bauer W., Westfall G.D. University Phisics with Modern Phisics, McGraw-Hill, 2011, 1472p.
10. Young H.D., Freedman R.A. University Physics with modern Physics, 13th Edition. – Addison-Wesley, 2012. – 1598p.
11. Савельев И.В. Курс общей физики. Том 1,2,3. Москва 2018 г.
12. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике. М.: АСТ. Астрель. 2005г.
13. Типлер П.А., Ллуэллин Р.А. Современная физика (Лучший зарубежный учебник в двух томах) (1том). М. Мир. 2007. 496 с.
14. Типлер П.А., Ллуэллин Р.А. Современная физика (Лучший зарубежный учебник в двух томах) (2том). М. Мир. 2007. 416 с.
15. Трофимова Т.И. Курс физики.М.Высшая щкола 1999.С.543
16. Abduqodirov M.A. "Fizikadan amaliy mashg'ulot darslariga tayyorlanishda mustaqil o'rganish va bilimini tekshirish uchun uslubiy qo'llanma", 2017.
17. Ismoilov Sh.X., Toxirov U.X. "Fizika fanidan laboratoriya mashg'ulotlar uchun laboratoriya ishlari va uslubiy ko'rsatmalar I-qism. Mexanika. Elektrostatika. Elektromagnetizm." nomli uslubiy

ko'rsatma.
18. Холмедов Х.М., Туляганова Ш.А. Методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу физики. II-часть. «Колебания и волны. Оптика.», 2017.
19. Абдужаббаров А.А., Каримов Х.Н. "Сборник задач и методические указания по физике. Част I. Механика.", 2017.
20. Nazirov Sh.A., Qobulov R.V., Bobojanov M.R., Raxmanov Q.S. "C va C++ tili." Voris-nashriyot MCHJ, Toshkent 2013, 488 b.
21. Horstsman, Gay S. C++ for everyone/Gay S. Horstsman. Printed in the United States of America-2nd ed. 2010.-P.562.
22. Horton I.-Beginning Visual C++ 2012/ I. Horton. Published imultaneously in Canada.-2012.-P.988.
23. Бежанова И.Ю. - Delphi7 самоучитель программиста. Москва-2003г.

Ximmataliyev D.O., Turayev S.J.

FIZIKA
(MEXANIKA. MOLEKULYAR FIZIKA VA TERMODINAMIKA ASOSLARI)

"5330600-Dasturiy injiniring" bakalavriat ta'lim yo'nalishi uchun o'quv qo'llanma

Nashr uchun mas'ul: B. Mavlonov
Muharrir: U. Yunusov
Badiiy muharrir: F. Sobirov
Dizayner-sahifalovchi: L. Abdullayev

Nashriyot ro'yxat raqami № 1043191. 24.09.2021-y.
Bichimi 60x84 1/16 Offset qog'ozi.
Times New Roman garniturasi.
Shartli bosma tabog'i 7. Nashr hisob tabog'i 3,7.
Adadi 100 nusxada. Buyurtma № 10-12.

1940
100000, Toshkent shahri, Mirzo Ulug'bek tumani,
M.Ismoiliy ko'chasi 1-G uy.
«ZUXRA BARAKA BIZNES» MChJ bosmaxonasida chop etildi.
Toshkent shahri Bunyodkor shoh ko'chasi 27 A–uy.