

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI**

**MIRZO ULUG'BEK NOMIDAGI
O'ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI**

UDK:550.3:539(075.8)(575.1)

Yer haqidagi fanlarda amaliy fizika
FANIDAN
O'QUV- USLUBIY QO'LLANMA



TOSHKENT - 2017

Tuzuvchilar:

Zahidova M.A. O'zMU, "Umumiy fizika" kafedrasi dotsenti, f.-m.f.n.

Begmatova D.A. O'zMU, "Umumiy fizika" kafedrasi dotsenti, p.f.n.

Taqrizchilar:

Nematov Sh.K. Toshkent davlat texnika universiteti professori, f.-m.f.d.

Kanakov Z. O'zMU, "Tibbiyot fizikasi" kafedrasi mudiri dotsenti, f.-m.f.n.

SO'Z BOSHI

Ona zaminimiz yerda kechadigan deyarli hamma tabiiy jarayonlar (fizikaviy, kimyoviy, geologik va ayniqsa biologik) Quyoshning faoliyatiga bog'liqdir. Yerda ko'mir, neft va gazning paydo bo'lishi, o'simliklardagi fotosintez jarayonlarining kechishi bevosita Quyosh energiyasi va uning nurlari ta'siriga bog'liqdir. Yerdan Quyoshgacha eng qisqa masofa 146100 ming km, eng uzoq masofa 152 100 ming km. Quyosh nuri 8,12 va 8,45 daqiqalarda yerga yetib keladi. Yer Quyosh atrofida o'rtacha 30 km/s tezlikda ellips shaklidagi orbita bo'yicha harakat qilib, bir yilda (365 kun 6 soat 11 minut) bir marotaba aylanib chiqadi. Bu aylanishda yer o'z o'qi atrofida 23,5 gradus burchak ostida bir kun (24 soat)da bir marotaba aylanadi. Aylanish soat strelkasiga nisbatan qarama-qarshi yo'nalishda bo'ladi, shuning uchun Yaponiyani kun chiqar mamlakat deb aytiladi. Yerning massasi $6 \cdot 10^{24}$ kg. Yerning o'z o'qi atrofida aylanishi uning yassilanishiga, aylanish o'qi bo'yicha siqilishiga olib kelgan. Shuning uchun yer qutblari bir oz siqiq, ekvatoridagi radiusi bilan qutbdagi radiusining farqi ~ 21 km ga teng. Yerning o'rtacha radiusi 6380 km, o'rtacha zichligi $5,5 \text{ g/sm}^3$.

Endigina shakllangan, sirti sovuq yer sayyorasining ichki qismi og'ir radioaktiv elementlar hisobiga qiziy boshlagan va bu yerning ichidagi moddalarni erishiga olib kelgan. Og'ir elementlar cho'kib, yer yadrosini vujudga keltirgan. Quduq va shaftalar qazilganda, pasaygan sari temperatura ortib, har 40 metrda bir daraja yuqorilab boradi. Chuqurlik yer yuzasidan 3,5 km ga etganda temperatura 100 gradus atrofida bo'ladi.

Hozirda yer asosan uchta qismdan iboratligi tasdiqlangan. Yer yuzasi sirtidan 50 km chuqurlikgacha masofada joylashgan birinchi qattiq qismi, asosan tog' jinslaridan tashkil topgan. Bu qavat- qit'alarga asos bo'lib hizmat qiladigan ustki va uning ostida qalinligi 5-7 km ga teng o'ta qattiq jinsdan iborat qobiqlardan tashkil topgan. Bu o'ta qattiq qobig'i bir biriga nisbatan sekin asta siljiydigan alohida plitalardan tashkil topgan. Plitalarning o'zaro siljishlaridan va yemirilishlaridan yer qimirlashlar sodir bo'ladi.

Yerning oraliq ikkinchi (50 km ÷ 2920 km) qismi - 50 km÷80 km chuqurlikda temperaturasi ming gradus atrofidagi va 80 km÷2920 km chuqurlikda temperaturasi o'rtacha 3,5 ming gradus atrofidagi yumshoq qobiqlardan tashkil topgan.

Yerning uchinchi ulkan yadro (2920 km÷6380 km) qismi 2920 km - 5100 km gacha chuqurlikda bo'ib, temperaturasi 6 ming gradus atrofida, asosan temir va nikeldan tarkib topgan suyuq, 5100 km - 5970 km chuqurlikda qattiq va 5970 km - 6380 km chuqurlikda o'ta qattiq, asosan og'ir metallardan tashkil topgan.

Amerikalik olimlarning tahminiga ko`ra yer yadrosining markazida uchinchi qattiq qobiq mavguddir.

Yerning yumshoq va suyuq qobiqlari ichida yuqori temperaturalar bo`lgani uchun yillar davomida kimyoviy elementlarning har hil birikmalari: vodorod azot bilan reaksiyaga kirishib ammiak, kislorod bilan reaksiyaga kirishib suv, uglerod esa kislorod bilan reaksiyaga kirishib karbonat angidrid molekulalarini hosil qilgan. Doimiy vulqonlarni otilishi hisobiga metall qotishmalarining erigan birikma (lava) lari yer yuzasiga chiqib, sovushi tufayli uning ustki qatlamini hosil qilgan. Vulqonlar otilganda, lavalardan tashqari, yer qa`rida hosil bo`lgan gaz molekulalari ham uning sirtiga chiqqan. Atmosferada ko`p miqdorda yig`ilgan suv molekulalaridan bulutlar vujudga kelib, yillar davomida yomg`ir yog`ishi tufayli dengizlar va okeanlar hosil bo`lgan. Hosil bo`lgan atmosfera esa Quyoshdan kelayotgan rentgen va ultrabinafsha nurlanishlarni ko`p qismini yutib qolgan. Quyoshning ko`zga ko`rinadigan nurlanishini esa ular deyarli yutmagan. Shu tufayli yer sirti isishni boshlagan.

Biokimyogar va arxeolog olimlarning tekshirishlari natijasida bundan 400 million yil avval suv havzalarining qirg`oqlarida bir necha santimetrli o`simliklar vujudga kelganini tasdiqlandi. Keyingi davrlarda o`simliklarda ildiz qismlari rivojlanib, lavalari ta`sirida hosil bo`lgan toshlarni yemirib tuproqlar vujudga keltirgan. Shu davrda atmosferada ma`lum miqdorda kislorod bo`lganligi sababli dumli, jabrali toshbaqalar quruqlikka qadam qo`ygan. 300 million yil avval esa quruqlikda tropik o`rmonlar vujudga kelgan, Quyosh nuri ta`sirida fotosintez jarayonida kislorodni miqdori atmosferada ko`paya borgan.

Hozirda yerning qobig`i tarkibidagi kimyoviy elementlarning miqdori (foizlarda): kislorod 47, kremniy 27,3, alyuminiy 8,8, temir 4,6, kalsiy 3,6, natriy 2,6, kaliy 2,5, magniy 2,1, vodorod bor qolgan 0,5 ni boshqa kimyoviy elementlar tashkil qiladi.

Yer paydo bo`lganda uning atmosfera havosi bo`lmagan, u ~1,5 milliard yildan so`ng sekin asta shakllanib hozirgi holatga kelgan. Yer yuzini o`rab turuvchi atmosfera tahminan 1000 km balandlikkacha cho`zilgan. Yer sirtidan 20 km gacha - pastki; 20 km dan 60 km - o`rta; 60 km dan 100 km - yuqori; 100 km dan 400 km va undan baland-o`ta yuqori qatlamlardan tashkil topgan. Yer sirtidagi atmosferani tashkil qilgan havo molekulalarining tarkibi: 78,1 foiz azot, 21 foiz kislorod, 0,9 foiz asosan vodorod, geliy va argonlardan tashkil topgan. Yer yuzasidan ko`tarilgan sari havoni tashkil qilgan molekulalar soni tez kamayib boradi, bu esa uning temperaturasini pasayishiga olib keladi. Tahminan 6 km balandlikda atmosfera zichligi yerning sirtiga yaqin joydagidan 2 marta kam bo`lib, yuzlab

kilometr balandlikdagi zichligi esa, millionlab marta kam. O`rta qatlam asosan ozon (uchta kislarod atomidan hosil bo`lgan) molekulalaridan tashkil topgan, uning temperaturasi minus 80 gradus atrofida va u Quyoshdan kelayotgan ultrabinafsha nurlarni ko`p qismini yutib qoladi. Yerdagi havoning 80 foizi er sirtiga tutashgan 20 km qatlamda to`plangan.

Fizika yerda kuzatiladigan tabiiy hodisalar va atrofimizni o`rab turgan moddiy borliqning ob`ektiv hossalarni o`rganadi. Atrofimizda (tabiatda) ro`y berayotgan barcha o`zgarishlar va jarayonlar material ob`ektlarning o`zaro ta`siri va harakati natijasidir. Fizika materiya harakatining eng sodda va umumiy ko`rinishlarini o`rganadi. Fizikada o`rganiladigan harakat turlari deyarli barcha kimyoviy, biologik va geofizikaviy jarayonlarda uchraydi. Shu sababli fizika asoslarini bilmay turib, kimyoviy, geologik yoki geofizikaviy jarayonlarni yetarli darajada o`rganish mumkin emas.

Mazkur o`quv qo`llanma “Yer haqidagi fanlarda amaliy fizika ” fanidan 5140800– Geologiya, 5140900-Geofizika ta`lim yo`nalishi talabalari uchun mo`ljallangan bo`lib, fizika fakultetining “Umumiy fizika” kafedra professor-o`qituvchilari tomonidan ishlab chiqilgan. “Yer haqidagi fanlarda amaliy fizika” fani o`quv qo`llanmasini yaratishda yetakchi horijiy oliy ta`lim muassasalarining o`quv dasturlariga kiritilgan adabiyotlardan olingan ma`lumotlar kiritilgan.

Qo`llanmada asosiy fizikaviy jarayonlar, qonun va qonuniyatlardan tashqari ularning texnika va turmushda qo`llanilishiga doir misollar ham keltirib o`tilgan. Bu o`quv qo`llanmadan fizika fanini bilish talab qilinadigan boshqa tabiiy va texnik yo`nalishda taqsim olayotgan talabalar ham foydalansa bo`ladi. Qo`llanmani yaratishda talabalarga qiziqarli bo`lishi, tushunishga oson bo`lishi bilan bir qatorda iloji boricha ko`proq ma`lumotni qamrab olinishiga e`tibor berildi. Yerdagi fizikaviy jarayonlarni o`rganishda asosan, issiqlik harakati, elektrofizik jarayonlar, magnit maydoni va zarralaraning kvant tabiati bilan bog`liq ta`sirlar asosiy rolni o`ynagani sababli, mavzularni bayon qilishda asosiy e`tibor fizikaning molekulyar, elektr bo`limlarini va kvant fizikasi elementlarini bayon qilishga, talabalarning bu sohadagi falsafiy mushohada yuritishlariga qaratilgan.

MEXANIKA ASOSLARI

Moddiy nuqta kinematikasi. Moddiy nuqtaning to'g'ri chiziqli harakati

Fizika ham, xuddi boshqa fanlar kabi, shunchaki faktlar to'plamiga emas, ijodiy fikrlashga asoslanadi. Kuzatiladigan hodisalarni tushuntirish uchun muhim nazariyalar quriladi. Nazariy xulosalar eksperiment natijalar bilan solishtirib "tekshiriladi", va faqat shundan keyingina nazariyalarni qabul qilinishi yoki inkor etilishi mumkin.

Har bir konkret hodisani yoki hodisalarning ma'lum to'plamini tushunish uchun olimlar *modelni* – hodisani tushuntirishi mumkin bo'lgan o'ziga xos tasavvur yoki analogiyani taklif qilishlari va shu yo'l bilan uni tushunishni engillashtirishlari mumkin.

Ilmiy *qonun* aniq tasdiqni ifodalaydi, ko'p hollarda bu qonunlar bir qator vaziyatlar uchun konkret hodisalarning to'plamini miqdoran tavsiflovchi formula ko'rinishida beriladi.

Fizikada o'lchashlar hal qiluvchi rolni o'ynaydi, biroq ular hech qachon absolyut aniq bo'lmaydi. Shuning uchun o'lchashda olinadigan har qanday qiymat uchun o'lchash *xatoligi* $\pm$ belgi ko'rsatilishi kerak.

Barcha kattaliklar standart kattalik yoki *o'lchov birligi* orqali ifodalanadi, barcha hollarda tegishli o'lchov birligi ko'rsatilishi kerak. Hozirgi vaqtda *xalqaro birliklar sistemasidan* (XBS) foydalaniladi, bu sistemada metr, kilogramm, sekunda uzunlik, massa va vaqtning standart birliklari hisoblanadi.

Biror kattalikning o'lchamligi shu o'lchamlik tuzilgan asosiy kattaliklar o'lchamliklarining kombinatsiyasi hisoblanadi (masalan, tezlik uzunlik/vaqt o'lchamligiga ega yoki $[L/T]$). Shu munosabatga kiruvchi kattaliklarning o'lchamlariga qarab u yoki bu munosabatning to'g'riligini tekshirish (bu metod *o'lchamliklar tahlili* deb ataladi), ba'zi hollarda esa izlanayotgan munosabatning umumiy ko'rinishini ham topish mumkin.

Harakati o`rganilayotgan jismning kattaligi va shakli kuzatilayotgan sharoitda hech qanday ahamiyatga ega bo`lmasa, bunday jism moddiy nuqta deb qaraladi.

Sanoq sistemasi . Istalgan bir jismning harakati boshqa bir jismga yoki birlariga nisbatan olib o`rganiladi. Sanoq sistemasi sifatida biror qattiq jism bilan bog`langan, o`zaro bir-birlariga tik bo`lgan 3 ta o`qdan iborat bo`lgan dekart koordinatalar sistemasi qo`llaniladi. Bunday sanoq sistemasi moddiy nuqta deb qaralishi mumkin bo`lgan jismning istalgan vaqtda fazodagi o`rnini to`la aniqlash imkonini beradi. Nuqtaning fazodagi o`rnini X, Y va Z koordinatalari orqali aniqlanadi.

Radius – vektor va traektoriya tushunchasi. Koordinatalar boshidan kuzatilayotgan nuqtaga o`tkazilgan vektorning koordinata o`qlaridagi proeksiyalari mos ravishda nuqtaning koordinatalariga tengdir, ya`ni  $r_x = x$ ;  $r_y = y$  va  $r_z = z$ . Agar nuqtaning fazodagi o`rni o`zgaradigan bo`lsa, $\vec{r}$ ham o`zgaradi. Shuning bilan bir qatorda nuqtaning  $X, Y, Z$  koordinatalari ham o`zgaradi, Bundan ko`rinadiki, nuqtaning istalgan vaqtda fazodagi o`rnini, koordinatalari yoki $\vec{r}$ vektori orqali ifodalash mumkin ekan.

Nuqtaning fazodagi o`rnini to`la ravishda aniqlashga imkon beruvchi bunday vektor radius-vektor deb ataladi.

Harakat qilayotgan jismning berilgan vaqt oralig`idagi harakat trayektoriyasi deganda, shu oraliqdagi vaqtning har qanday qiymatlarida kuzatilayotgan jismning fazodagi o`rinlarini ifodalovchi nuqtalarning o`zaro qo`shilishidan iborat bo`lgan chiziqni tushuniladi.

Tezlik. Harakatlanayotgan moddiy nuqtaning fazodagi o`rnini ifodalovchi  $x, y, z$  koordinatalar va  $\vec{r}$  radius-vektor vaqt o`tishi bilan uzluksiz o`zgarib boradi. Koordinatalarning va unga mos ravishda  $\vec{r}$  radius-vektorning birlik vaqt oralig`ida o`zgarish miqdorini aniqlovchi fizik kattalik - tezlikni kiritaylik.

Moddiy nuqta biror traektoriya bo`yicha harakatlanayotgan bo`lib, biror t vaqtda uning fazodagi o`rni  $\vec{r}$  radius-vektor orqali va oradan  $\Delta t$  vaqt o`tgandan

so`ng, ya`ni $t + \Delta t$ da nuqtaning fazodagi o`rni  $\vec{r} + \Delta\vec{r}$  radius-vektor orqali ifodalansin (1- rasm.) Demak, radius-vektor  $\Delta t$  vaqt ichida  $\Delta\vec{r}$  ga o`zgargan, moddiy nuqta esa Δs masofaga siljigan bo`lsin. Radius-vektorning vaqt bo`yicha o`zgarishini ko`rib chiqaylik. $\Delta\vec{r} / \Delta t$ nisbatning miqdori va fazodagi yo`nalishi  $\Delta t$  ning qiymatiga bog`likdir. Agar Δt vaqt oralig`ini uzluksiz kamaytirib borsak aniq kattalikka intiladi va bu kattalik moddiy nuqtaning  $t$  vaqtdagi harakat tezligidan iborat bo`ladi.

Yuqorida ta`kidlab o`tilganlarni matematik usulda quyidagicha yozish mumkin:

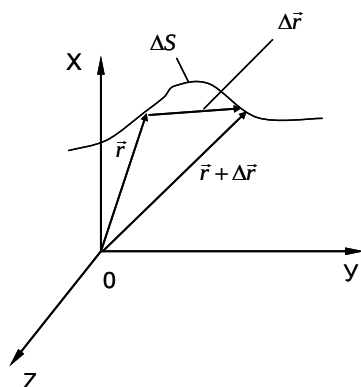
$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \vec{v} \quad (1)$$

(1) ifodadan tezlik vektorining yo`nalishi vektorning  $\Delta\vec{r}$  yo`nalishi bilan mos kelishi ko`rinib turibdi. Agar  $\Delta t$  ni uzluksiz kamaytirib borilsa,  $\Delta r$  ning yo`nalishi pirovardida shu vektor boshlanish nuqtasidagi traektoriyaga o`tkazilgan urinma bilan mos tushadi,  $\Delta\vec{r}$  ning son qiymati esa  $\Delta s$  ga teng bo`lib qoladi.

Demak, biror traektoriya bo`yicha harakatlanayotgan jismning istalgan nuqtadagi tezlik vektori traektoriyaning shu nuqtasiga o`tkazilgan urinma bo`yicha yo`nalgan bo`lar ekan.

Matematika kursidan ma`lumki, (1) formula asosida tezlik vektorini radius-vektoridan vaqt bo`yicha olingan birinchi tartibli xosila ko`rinishida yozish mumkin, ya`ni

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (2)$$



1-rasm

1-rasmdan ko`rinadiki, berilgan t uchun, Δt uzluksiz kamayib borsa, $\Delta \vec{r}$ ning moduli ΔS ga intiladi va (1) formulaga asosan tezlik vektorining modulini quyidagicha yozish mumkin:

$$|\vec{v}| = v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (3)$$

Tezlanish. Moddiy nuqtaning harakat tezligi vaqt o`tib borishi bilan ham son qiymati bo`yicha, ham yo`nalishi bo`yicha, o`zgarib turishi mumkin, Bu o`zgarishni harakterlovchi kattalik tezlanishni ifodalaydi. Biror t vaqtda nuqta harakatining tezligi $\vec{v}$ va $t + \Delta t$ da $\vec{v} + \Delta \vec{v}$ ga teng bo`lsin. Yuqorida ko`rib o`tganimizdek, o`rtacha tezlanishni aniqlovchi nisbatning qiymati Δt uzluksiz kamayib borganda aniq kattalikka intilib, tezlanishning berilgan vaqtdagi qiymatini ifodalaydi, ya`ni

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (4)$$

(4) formuladagi o`rniga uning (2) munosabatdagi ifodasini keltirib qo`ysak,

$$\vec{a} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} \quad (5)$$

hosil bo`ladi.

Demak, moddiy nuqtaning harakat tezlanishi radius-vektordan vaqt bo`yicha olingan ikkinchi tartibli xosilaga teng ekan.

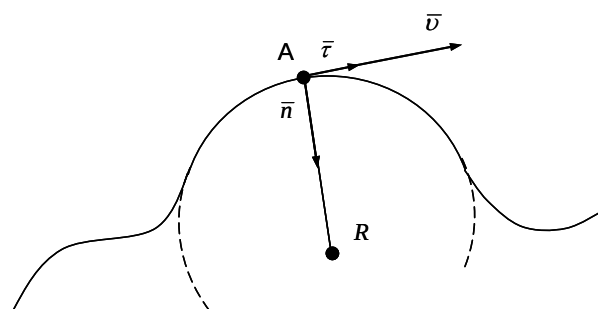
Moddiy nuqtaning harakat traektoriyasi egri chiziqdan iborat bo`lgan umumiy xolni ko`rib chiqaylik. Traektoriyada ixtiyoriy ravishda biror A nuqtani tanlab (2-rasm), shu nuqta orqali egrilik doirasini o`tkazaylik.

Egrilik doirasining R radiusi egri chiziqli traektoriyaning berilgan A nuqtadagi egrilik radiusi bo`lsin. A nuqtadan chiquvchi ikkita birlik vektorini tanlaylik: ulardan biri traektoriyaga urinma ravishda va ikkinchisi  $\vec{n}$  egrilik radiusi bo`ylab yo`nalgan bo`lsin.

Tezlik vektori hamma vaqt traektoriyaga o'tkazilgan urinma bo'yicha yo'nalganligini e'tiborga olib quyidagicha yozish mumkin:

$$\vec{v} = v \vec{\tau} \quad (6)$$

A nuqta moddiy nuqta deb qaralishi mumkin bo'lgan jismning biror vaqt fazodagi o'rnini ko'rsatadi.



2 – rasm

Vaqt o'tib borishi bilan A nuqta traektoriya bo'ylab ko'cha boshlaydi va shunga mos ravishda $\vec{\tau}$ vektoriing yo'nalishi ham o'zgarib boradi. Buni e'tiborga olgan xolda (6) ni (4) ga keltirib qo'yib quyidagini yozish mumkin:

$$\vec{a} = \frac{d(v \cdot \vec{\tau})}{dt} = \vec{\tau} \frac{dv}{dt} + v \frac{d\vec{\tau}}{dt} \quad (7)$$

(7) formuladan ko'rinadiki, tezlanish vektori ikkita tashkil etuvchining yig'indisidan iborat ekan: birinchisi (birinchi had) traektoriyaga o'tkazilgan urinma bo'yicha yo'nalgan tezlikning son miqdori bo'yicha o'zgarishini harakterlovchi tezlanish va ikkinchisi hamma vaqt tezlik vektoriga tik bo'lib, egrilik markaziga qarab yo'nalgan tezlikning shu yo'nalish bo'yicha o'zgarishini harakterlovchi tezlanish. Shuning uchun tezlanish vektorining bu tashkil etuvchilarini mos ravishda urinma (tangensial) tezlanish $\vec{a}_t$ va markazga intilma (normal) tezlanish $\vec{a}_n$ deb ataladi. (7) ni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n \quad (8)$$

Osonlik bilan ko'rsatish mumkinki, tezlanish vektorining tangensial va normal tashkil etuvchilarining modullari quyidagicha aniqlanadi:

$$a_t = \frac{dv}{dt} \quad \text{va} \quad a_n = \frac{v^2}{R} \quad (9)$$

Moddiy nuqtaning to'g'ri chiziqli tekis o'zgaruvchan harakati

Moddiy nuqta deb xisoblanishi mumkin bo'lgan jism tezligining harakat davomida faqat miqdori (qiymati) o'zgarib, yo'nalishi esa uzgarmasdan qolsa,

bunday harakat traektoriyasi to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi va uni to'g'ri chiziqli harakat deb ataladi. Agar harakat davomida $a = \text{const}$ va u musbat ishorali bo'lsa, tezlik va tezlanish yo'nalishi bir xil bo'ladi va

ko'rinishda yoziladi. Vaqt o'tishi bilan tezlik qiymati bir xilda ortib boradi. Bunday harakatni tekis tezlanuvchan harakat deyiladi.

Aks xolda, a - manfiy ishorali, demak, tezlik va tezlanish qarama-qarshi yo'nalishda bo'lsa, harakat tekis sekinlanuvchan harakat deyiladi. Moddiy nuqtaning to'g'ri chiziqli tekis o'zgaruvchan harakatida yo'l formulasi quyidagicha ifodalanadi:

$$S = v_0 t \pm \frac{at^2}{2} \quad (10)$$

Moddiy nuqtaning aylana bo'ylab harakati. Burchak tezlik va burchak tezlanishi

Burchak tezligi va burchak tezlanish. Moddiy nuqta harakatining traektoriyasi aylana shaklida bo'lsa, bunday harakat aylanma harakat deb ataladi. Agar AO radius-vektor Δt vaqt oralig'ida $\Delta\varphi$ burchakka burilgan bo'lsa, jism burchakli tezligining o'rtacha qiymati $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ ga teng bo'ladi. Burchakli tezlikning berilgan vaqtdagi qiymati

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (11)$$

ifoda orqali aniqlanadi, juda kichik vaqt oralig'idagi moddiy nuqtaning aylana bo'ylab bosib o'tgan ds yo'l uzunligini quyidagicha yozish mumkin:

$$ds = v dt$$

Yuqoridagi formuladan $d\varphi$ elementar burchakka burilish uchun:

$$d\varphi = \frac{v dt}{r}$$

ni (11) ga keltirib qo'yamiz va chiziqli hamda burchakli tezliklar orasidagi quyidagi munosabatni olamiz:

$$v = \omega \cdot r \quad (12)$$

Aylana buylab tekis harakat uchun (12) ni $d\varphi = \omega dt$ ko'rinishda yozib, 0 dan T (bir marta to'liq aylanib chiqish uchun ketgan vaqt - aylanish davri) gacha bo'lgan vaqt oralig'idagi burilish burchagi 2π ning $2\pi = \varphi = \int d\varphi = \int \omega dt = \omega T$ ga teng ekanligini aniqlab, burchakli tezlikni

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{yoki} \quad \omega = 2\pi\nu \quad (13)$$

ko'rinishda ifodalash mumkin (bu erda ν - aylanish chastotasi).

Burchakli tezlanish burchakli tezlikning birlik vaqt davomida o'zgarish kattaligini aniqlaydi. Agar Δt vaqt oralig'ida burchakli tezlik $\Delta\omega$ ga o'zgargan bo'lsa, burchakli tezlanishning shu vaqt oralig'idagi o'rtacha qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (14)$$

Burchakli tezlanishi berilgan t vaqtdagi qiymatini

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} \quad (15)$$

kurinishda yozib, (12) ni (15) ga keltirib qo'ysak quyidagi formulani xosil qilamiz:

$$\varepsilon = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (16)$$

(16) dan burchakli tezlanish burilish burchagidan vaqt bo'yicha olingan ikkinchi tartibli xosilaga teng ekanligi ko'rinib turibdi.

Aylanma harakat ko'pincha **chastota** ν – birlik vaqt ichidagi aylanishlar soni kabi kattalik bilan ifodalanadi. Jismning aylana bo'ylab harakatlanish **davri** T – bitta to'liq aylanish uchun ketgan vaqtdir. Davr va chastota o'zaro quyidagicha bog'langan

$$T = 1/\nu \quad (17)$$

Masalan, agar jism 3 ayl/s chastota bilan aylanayotgan bo'lsa, u holda har bir aylanish vaqti $1/3$ s ga teng. Jism aylana bo'ylab (aylana uzunligi $2\pi r$) o'zgarmas v tezlik bilan harakatlanib bir aylanishda $2\pi r$ masofa otsa, uning vaqti T bo'ladi.

U holda $v = \frac{2\pi r}{T}$ bo'ladi.

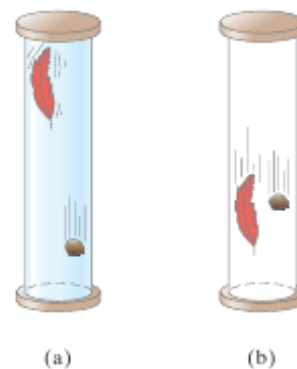
Tushuvchi jismlar

Tekis tezlanuvchan harakatning keng tarqalgan misollaridan biri erga vertikal bo'ylab erkin tushayotgan jismning harakati hisoblanadi. Tushayotgan jismning tezlinishi bir qarashda sodda faktdek tuyulmaydi. Og'ir jismlar engil jismlarga nisbatan tezroq tushadigandek, tushish tezligi esa jismning og'irligiga proporsionaldek ko'rinadi (Galiley davrigacha ko'pchilik shunday ekanligiga ishonar edi). Galiley o'zining mavhumlashtirish va soddalashtirish ilmiy metodini qo'lladi, bunda hodisa ideallashtirilgan (soddalashtirilgan) vaziyatlarda yuz beradi, deb tasavvur qilinadi. Galiley erkin tushish holi uchun havo yoki qarshilikka ega bo'lmagan biror boshqa muhit bo'lmaganda barcha jismlar *o'zgarmas doimiy tezlanish* bilan tushadilar degan postulatni kritdi. U shu postulatga asosan tinch holatdan tushayotgan jism bosib o'tgan masofa vaqtning kvadratiga proporsional ekanligini ko'rsatdi. Buni (22) tenglamadan ham ko'rish mumkin, biroq birinchi bo'lib bunday bog'lanishni Galiley olgan. Haqiqatan ham, Galileyning fanga qo'shgan buyuk hissalaridan biri shundan iboratki, muhim matematik munosabatlarni o'rnatdi va ularning ahamiyatini ko'rsatib berdi. Galileyning boshqa buyuk hissasi shundan iboratki, konkret eksperimental natijalarga ega, miqdoran tekshirish mumkin bo'lgan nazariyani taklif etdi. Jismlar tushayotganda tezligi ortishi haqidagi o'z nazariyasini tasdiqlash uchun Galiley quyidagi argumentni keltirdi: 2 m balandlikdan tashlab yuborilgan og'ir tosh qoziqni 10 sm balandlikdan tashlab yuborilgan xuddi o'shanday og'ir toshga nisbatan ancha chuqurroqqa urib kirgizadi. Birinchi holda tosh kattaroq tezlik olishi kerakligi tushunarli albatta. Yuqorida eslatib o'tganimizdek, Galiley aytganidek ixtiyoriy buyumlar (ham og'ir, g'am engil) hech bo'lmasa havo yo'qligida bir xil tezlanish

bilan tushadilar. Sogʻlom fikr qadimgilar haqiqatga yaqinroq boʻlganini aytishi mumkin. Haqiqatan ham, agar siz bir qoʻlingizda bir varaq qogʻozni, boshqa qoʻlingizda undan ogʻirroq jismni, aytaylik beysbol toʻpini gorizonta tutib turib, ularni bir vaqtni oʻzida qoʻyib yuborsangiz (3-rasm), ogʻirroq jism erga avvalroq etib borishi maʼlum. Endi qogʻozni gʻijimlab tajriani takrorlasangiz (3a-rasm), ikkala jism polga deyarli baravar yetib borishini koʻrasiz.



3-Rasm



4-Rasm

Sirt yuzasi katta boʻlgan juda engil jismlarga havo oʻziga xos ishqalanish turi kabi taʼsir qilishiga Galileyning ishonchi komil edi. Havosi soʻrib olingan kamerada qush pati yoki gorizonta tutib turilgan bir varaq qogʻoz kabi engil jismlar ham ogʻir jismlar bilan bir xil tezlanish bilan tushadilar (4b-rasm). Galileyning zamonida vakuumda bunday narsani namoyish qilish mumkin boʻlmaganligi uchun ham uning xizmatlarini yanada buyuklashtiradi. Galileyni nafaqat uning ilmiy yutuqlarining mazmuni uchun (astronomiyadagi kashfiyotlari, inersiya, erkin tushish haqidagi tushunchalar), balki uning stili va fanga yondoshuvi (ideallashtirish va soddalashtirish, nazariyani matematik ifodalash, eksperimentda tekshiriladigan natijalarni avvaldan aytib berish) uchun ham koʻpincha “zamonaviy fanning otasi” deb atashadi. Tushayotgan jismlarning harakatini tushuntirishga Galileyning qoʻshgan hissasini quyidagicha umumlashtirish mumkin. Yerning muayyan joyida, havoning qarshiligi boʻlmaganda barcha jismlar bir xil oʻzgarmas tezlanish bilan tushadilar. Bu tezlanish, ogʻirlik kuchi sababli yuzaga keladi va erkin tushish tezlanishi deb

ataladi hamda g bilan belgilanadi. Uning qiymati taxminan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ga teng. Amalda g geografik kenglikka (bu erning aylanishi bilan bog'liq), hamda dengiz sathidan balandlikka qarab bir muncha o'zgaradi. Biroq bu o'zgarishlar shu darajada kichikki, ko'p hollarda biz ularni hisobga olmaymiz. Ko'p hollarda havoning qarshiligi u qadar katta ta'sir ko'rsatmaydi va ko'pincha biz uni hisobga olmaymiz. Biroq, tushayotgan jism bosib o'tadigan masofa juda katta bo'lsa, havoning qarshiligi hatto og'ir jismlarga ham sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Erkin tushayotgan jismlar bilan ish ko'rganda (10) tenglamadan a ni g bilan almashtirib foydalanish mumkin. Bundan tashqari jism vertikal bo'ylab harakatlanayotganligi sababli x ni y bilan, x_0 ni esa y_0 bilan almashtirish kerak (agar biror boshqa qiymati keltirilmagan bo'lsa $y_0 = 0$). y ning yo'nalishini erkin tanlash mumkin, ya'ni uning yuqoriga yoki past tomonga yo'nalishini musbat deb qabul qilish mumkin, biroq masalani echish davomida tanlangan yo'nalishni o'zgarmas saqlash kerak.

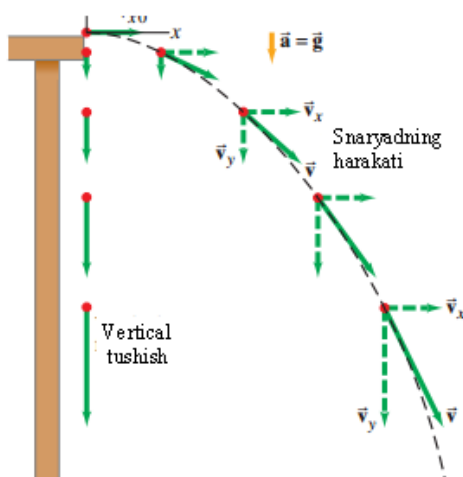
Ballistik harakat

Ballistik harakat – bu gorizontga burchak ostida otilgan jismning harakatidir. Sodda bo'lishi uchun jismlarning er sirti yaqinidagi harakatini qarab chiqamiz. Beysbol to'pining harakati, o'qning uchishi, hamda sportchining yuqoriga sakrashi bunga misol bo'ladi (5 va 6-rasm). Ko'pincha havoning qarshiligi jiddiy ahamiyatga ega bo'lsa ham, ko'p hollarda uning ta'sirini hisobga olmaslik mumkin, biz ham quyida shunday yo'l tutamiz. Bu erda biz otish yoki o'q uzish jarayonini emas, balki otilgan jismning og'irlik kuchi ta'siridagi erkin harakatini o'rganamiz. Shunday qilib, jismga ta'sir qiladigan yagona tezlanish – bu erkin tushish tezlanishi g bo'lib, u pastga yo'nalgan va $9,80 \text{ m/s}^2$ qiymatga ega. Galiley birinchi bo'lib ballistik harakatni to'g'ri tavsiflab berdi. U harakatning gorizont va vertikal tashkil etuvchilarini alohida tahlil etish yo'li bilan bunday harakatni to'liq tavsiflash mumkinligini ko'rsatib berdi. Bu umuman yangi metod edi, Galileygacha hech kim bunday ishga qo'l urmagan edi. (Havoning qarshiligi

hisobga olinmasligi sababli bunday qarash ham ideallashtirilgan ekanligini ta'kidlab o'tamiz).

Faraz qilaylik, gorizontga Θ_0 burchak ostida havoga otilgan jism (7-rasm) $\mathcal{G}_0$ boshlang'ich tezlikka ega. (Agar jismni fazoga gorizont chizig'idan yuqoriga otilsa, u holda Θ_0 burchak musbat, pastga otilsa – manfiy bo'ladi). To'g'ri chiziqli koordinatalar sistemasini shunday tanlaymizki, harakat xy tekislikda yuz bersin, bunda y o'qi vertikal qilib tanlanadi, shunda jismning tezlanishi faqat y bo'ylab yo'naladi. Shunday qilib,

$$a_x = 0, \quad a_y = -g.$$



5-rasm

Koordinatalar sistemasining boshini jism o'z harakatini boshlaydigan nuqtada tanlab olamiz (masalan, beysbol to'pi otayotgan odamning qo'lidan chiqadigan vaqtda), ya'ni biz $x_0 = y_0 = 0$ ga egamiz, va vaqtning boshlang'ich momentini $t_0 = 0$ deb belgilaymiz. Boshlang'ich tezlik $\mathcal{G}_0$ quyidagicha proeksiyalarga ega bo'ladi:

$$\begin{aligned} \mathcal{G}_{x0} &= \mathcal{G}_0 \cos \Theta_0, \\ \mathcal{G}_{y0} &= \mathcal{G}_0 \sin \Theta_0. \end{aligned} \quad (18)$$

$a_x = 0$ ekanligi sababli gorizont harakatda tezlik o'zgarmaydi, va, demak, biz quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$\mathcal{G}_x = \mathcal{G}_{x0} = \mathcal{G}_0 \cos \Theta_0 \quad (19)$$

$$x = \mathcal{G}_{x0} t \quad (20)$$

Vertikal harakat $a_y = -g$ tezlanish bilan yuz beradi va shuning uchun quyidagilarga ega bo'lamiz:

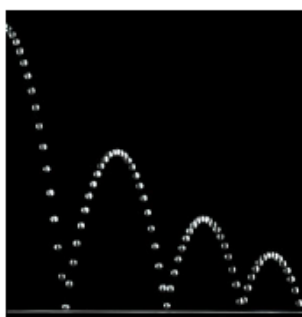
$$g_y = g_{y0} - gt \quad (21)$$

$$y = g_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (22)$$

$$g_y^2 = g_{y0}^2 - 2g_y \quad (23)$$

Agar snaryad yuqoriga biror burchak ostida uchib chiqqan bo`lsa, u holda  $g_y$  tezlik vaqt o`tishi bilan kamayadi va uchishning eng yuqori nuqtasida 0 ga teng bo`lib qoladi; (21) dan ko`rinib turibdiki, bu vaqtning $t = \frac{g_{y0}}{g}$ momentida yuz beradi. Vaqtning bundan keyingi momentlarida g_y manfiy qiymatga ega bo`ladi va vaqt o`tishi bilan son jihatidan ortib boradi. Ballistik harakatda agar jismni otilish nuqtasi erga tushish nuqtasidan yuqori bo`lsa ( $x_0 = y_0 = 0$ ),  $x$  o`qini kesib o`tishi mumkinligini ta`kidlab o`tamiz.

Jismning boshlang`ich tezligi gorizontal yo`nalgan, ya`ni  $g_0 = 0$  (5-rasm) bo`lganda qiziq xususiy holi kuzatiladi. Stol chetidan dumalab tushgan koptokning, gorizontal tutib otilgan qurol stvolidan uchib chiqqan o`qning harakati bunga misol bo`ladi.. bu holda $g_{y0} = 0$ bo`lganligi sababli  $g_y = -gt$  va  $y = -\frac{1}{2}gt^2$  ga ega bo`lamiz. Demak, bu erda vertikal bo`ylab harakat erkin tushayotgan jismning harakati hisoblanadi. Shunday qilib, ko`rib turibmizki, (Galiley ham shuni aytib o`tgan edi), gorizontal otilgan jism erga boshlang`ich tezliksiz vertikal tushayotgan jism bilan bir vaqtda tushar ekan.

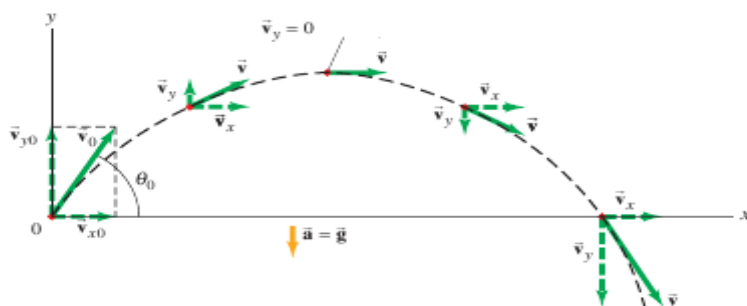


(a)



(b)

6-rasm



7-rasm

Nazorat savollari

1. Mexanik harakat qanday fizik kattaliklar bilan xarakterlanadi?
2. Radius vektor nima?
3. Harakat tezligi nima?
4. Qanday harakat tekis va tekis o'zgaruvchan bo'ladi?
5. Tezlanish nima? Qachon jism tezlanish bilan harakatlanadi?
6. Egri chiziqli harakatda qanday tezlanishlar bo'ladi? Ularning vector yo'nalishlari qanday?
7. Normal va tangensial tezlanishlar tezlikning qanday o'zgarishida paydo bo'ladi?
8. Erkin tushish nima?
9. Galiley tajribasini tushuntiring.
10. Ballistik harakat haqida tushuncha bering.

Dinamika asosiy qonunlari

Dinamika – jismlarning harakatini va harakatni vujudga keltirgan sabablar (kuch)ni e'tiborga olib, birgalikda o'rganuvchi mexanikaning bo'limidir. Dinamika so'zi grekcha «dinamis» so'zidan olingan bo'lib, kuch degan ma'noni bildiradi.

Dinamikaning asosiy vazifasi harakatlanayotgan jismga ta'sir etuvchi kuch bilan shu jism massasi orasidagi bog'lanishni ifodalovchi harakat qonunlarini aniqlashdan iborat.

Dinamikaning asosini, ingliz olimi I.Nyutonning uchta qonuni tashkil etadi. Nyutonning qonunlari tajribalarda topilgan juda ko'p faktlarni umumlashtirish natijasida maydonga kelgan. Nyutonning qonunlari har qanday sanoq sistemada ham o'rinli bo'lavermaydi.

2. Tekis va to'g'ri chiziqli harakatlanayotgan (yulduzlarga nisbatan) sanoq sistemasiga *i n e r s i a l* sanoq sistemasi deyiladi. Bunday sanoq sistemalari juda ko'p bo'lishi mumkin, chunki biror inersial sistemaga nisbatan tekis va to'g'ri chiziqli harakatlanayotgan har qanday sistema inersial sistema bo'ladi. Inersial sistemalarga nisbatan tezlanish bilan harakatlanayotgan sanoq sistemalar **n o i n e r s i a l** sistemalar deyiladi.

Barcha inersial sistemalarda mexanik jarayonlar mutlaqo bir xil o'tadi degan qoida 1636 yilda G.Galiley tomonidan aniqlangan bo'lib, Galileyning nisbiylik prinsipi deb ataladi. Galiley bu prinsipni sokin dengizda tekis va to'g'ri chiziqli harakat qilib borayotgan kema kayutasida bo'ladigan mexanik jarayonlar misolida tushuntirgan.

XX asr boshlariga kelib, faqat mexanik jarayonlarga emas, balki issiqlik, elektr, optik va tabiat hodisalari ham barcha inersial sanoq sistemalarida mutlaqo bir xil o'tishi aniqlandi. Shu asosda A.Eynshteyn 1905 yilda umumiy nisbiylik prinsipini aniqladi, bu prinsipni keyinchalik Eynshteynning nisbiylik prinsipi deb nomlanadi:

Barcha inersial sanoq sistemalarida barcha fizik jarayonlar mutlaqo bir xil o'tadi.

N'yuton qonunlari va dinamikaning boshqa qonunlari faqat inersial sanoq sistemalarida o'rinlidir. Amalda Yer bilan bog'langan koordinatalar sistemasini yetarlicha aniqlik bilan inersial sistema deb qarash mumkin.

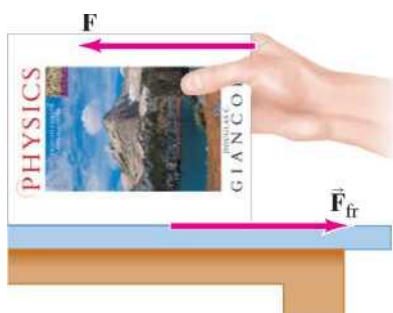
Nyutonning birinchi harakat qonuni. Shu paytgacha biz harakatni tezlik va

tezlanish asosida o`rgangan edik. Endi quyidagi savollar bilan shug`ullanamiz. Nima uchun jismlar aynan shunday harakatlanadilar, boshqacha emas. Jism tezlanish olishi va tormozlanishining sababi nima . Nima uchun jism aylana bo`ylab harakatlanadi. Har bir holda jismga kuch ta`sir qiladi deyish mumkin. Biz bu yerda kuch va harakat orasidagi bog`lanishni o`rganamiz. Biz qaraydigan tezlik yorug`lik tezligidan ancha kichik bo`lishi kerak, degan yagona cheklashni kiritamiz. Bizga relyativistik effektlarni hisobga olmaslik imkonini beradi. Dinamikadan chuqur kirishishdan avval kuch tushunchasini sifat jihatidan muhokama qilamiz. Kuchni itarishish va tortishish ko`rinishida aniqlash mumkin. Aravachani ichidagi mahsulotlari bilan itarsak unga bir necha kuch tasir qiladi. Bolalar o`yinchoq aravachasini tortishda kuch bilan ta`sir qilinadi. Dvigatel liftni ko`targanda bolg`a bilan mixni urganda yoki daraxtning barglarini shamolda qimirlashi kabi hodisalar kuch ta`sirida ro`y beradi. Biz aytamizki, og`irlik kuchi ta`sir qilganligi uchun jism pastga tushadi. Har doim ham jism harakatlanmaydi. Masalan, bir og`ir stol yoki xolodilnikni itarganda ular siljmaydi. Kuch ta`sirida jism tinch yoki harakatlanganda uning shakli o`zgaradi. Buni sharni siqish natijasida yaqqol ko`rish mumkin.

Galiley g`oyasini tushunish uchun, gorizonta tekislik bo`ylab harakatini kuzatib, doimiy tezlikda bir stol yuzasi bo`ylab bir jismni surish uchun kuch ma`lum bir miqdorda talab qilinadi. Stol bo`ylab juda silliq yuzada og`ir jismni bir xil tezlikda surish uchun kam kuch talab qiladi. Jism va stol yuzasi o`rtasida neft yoki boshqa yog`ning bir qatlami joylashtirilgan bo`lsa, har bir ketma-ket siljishda kam kuch talab qilinadi,. Keyingi siljishda, ishqalanish jismga qarshilik qilmaydi. Jism stol bo`ylab siljiganda hech qanday tashqi ta`sirsiz doimiy tezlikda harakatlanadi. Bir qattiq gorizonta yuzada bir po`lat to`p hech qanday kuch ta`sirisiz vaziyatni o`zgartiradi.. Shunday qilib havo va yupqa max qatlami ishqalanishni yetarlicha kamaytiradi.

Bu ideallashtirish hech qanday kuch ta`sirida bo`lmagan harakatlanayotgan jismga nisbatan qo`llaniladigan bo`lsa, u to`g`ri chiziq doimiy tezlikda o`z

harakatini davom ettiradi degan xulosaga olib keldi. Agar jismga faqat bir kuch ishqalanish kuchi ta'sirida bo'lsa, jism faqat sekinlashadi. Galileo doimiy tezlikda stol bo'ylab jismni surish uchun ishqalanish kuchini muvozanatlagich kuch kerak deb hisoblagan. Jism doimiy tezlikda harakatlansa itarish kuchi ishqalanish kuchiga teng bo'ladi, lekin bu kuchlar qarama-qarshi yo'nalishga ega (8-rasm). Galileyning fikrlari dinamika qoyuylarini ta'riflashda Nyuton uchun asos bo'lgan. Nyutonning harakat tahlil o'zining mashhur "harakatning uch qonunlari umumlashgan" Uning buyuk ishlari 1687 yilda nashr etilgan, Nyuton tezda Galileyga tan beradi.. Aslida Nyutonning birinchi qonuni Galiley xulosalariga yaqinligi ta'kidlanadi.



8-rasm

Nyutonning ikkinchi harakat qonuni. Nyutonning birinchi qonuni ta'kidlaydiki natijaviy kuch 0 ga teng bo'lsa o'zining tinch holatini saqlaydi yoki doimiy tezlik bilan to'g'ri chiziq bo'ylab harakat qiladi. Natijaviy kuch bir jismga tatbiq qilinadigan bo'lsa, qanday bo'ladi? Nyuton jismning tezligi o'zgarishini tushundi. Jismga qo'llaniladigan bir tashqi kuch uning tezligini ortiradi. Natijaviy kuch harakatning yo'nalishiga teskari bo'lsa, bu kuch jismning tezligini kamaytiradi. Natijaviy kuch tezligi o'zgarishlar yo'nalishiga burchak ostida yo'nalishga ega bo'lsa, harakat tezligi yo'nalishi bo'yicha o'zgaradi. Bu o'zgarish ham bir tezlashtirish hisoblanadi. Shunday qilib, bir jism ustida natijaviy kuch ham tezlashtirishga sabab bo'ladi. Tezlanish bilan kuch o'rtasida qanday bog'liqlik bor? Kundalik tajriba shuni ko'rsatdiki, ishqalanish e'tiborga olinmaydigan darajada kichik bo'lganda, avtomobil harakatlanishi uchun zarur bo'lgan kuchni ko'rib chiqaylik. Ma'lum bir vaqt ichida, doimiy kuch bilan gorizontaal yo'nalishda

harakatlanayotgan avtomobil tezlanishga ega bo`ladi. Ikki marta katta kuch ta`sir qilmasa tezlanishi ikki barobar katta bo`ladi. Agar kuch uch marta katta bo`lsa, tezlanish uch marta katta bo`ladi (9-rasm).



9-rasm

Shunday qilib, tezlanish teng ta`sir etuvchi kuchlarga proporsionaldir, shu bilan birga tezlanish jism massasiga bog`liq bo`ladi. Shu kuch bilan bo`sh aravacha itariladi va yuklangan telejka shu kuch bilan sekin harakatlanadi. Jismning massa katta bo`lsa teng shu kuch ta`sirida tezlanish kichik bo`ladi. Nyuton aytganidek jismning tezlanishi jism massasiga teskari proporsional. Jism tezlanishi teng ta`sir etuvchi kuchga to`g`ri proporsional jism massasiga teskari proporsional.

Nyutonning ikkinchi qonunini tenglama sifatida quyidagicha yozish mumkin:

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$$

Natijaviy kuch jismga ta`sir qilayotgan hamma kuchlarning vektor yig`indisidir.

Shu sababli Nyutonning ikkinchi qonuni ushbu tenglama orqali ifodalanadi

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (24)$$

Kuchning o`lchov birligi shunday tanlanadiki massa kg da kuch esa N da o`lchanadi $1N = 1kg \cdot (m/s^2)$.

Nyutonning ikkinchi qonuni kuch harakat tavsifi bilan bog`liq. Bu fizikada eng asosiy munosabatlardan biri hisoblanadi. Nyutonning ikkinchi qonunidan biz

jismni tezlanishga erishishida bir sabab sifatida kuchni yanada aniqroq ta'riflash mumkin.

Massa jismning inertliginigina emas, balki gravitasion (tortishish) va «energiya tutuvchanligini» ham xarakterlaydi. Gravitasion soʻzi lotincha soʻz boʻlib, ogʻirlik demakdir. Jismning massasi kichik tezliklarda doimo oʻzgarmasdir. Massa skalyar kattalik. Katta tezliklarda jismning massasi A.Eynshteyn kashf etgan quyidagi formula boʻyicha oʻzgaradi:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (25)$$

m_0 - jismning tinch turgandagi massasi; $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ - yorugʻlikning vakuumdagi tezligi.

Tajribalar asosida jismning «inert» va «gravitasion» massalari kattalik jihatidan teng ekanligiga ishonch hosil qilingan. Shuning uchun ularni ajratishning maʼnosi yoʻq. Turli jismlarning massalarini taqqoslash uchun moddaning zichligi deb ataluvchi fizik kattalikdan foydalaniladi.

Moddaning zichligi deb, hajm birligiga mos kelgan massasiga miqdor jihatdan teng boʻlgan fizik kattalikga aytiladi:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (26)$$

ρ - zichlik; V – hajm. Oʻlchov birligi SI: kg/m

(24) ifodada massani oʻzgarmas deb qaraladi, ammo tabiat va texnikada jismlarning harakatlanish jarayonida massalarini oʻzgarishi koʻplab uchrab turadi. Masalan, raketa, samolyot, avtomobillarning massalari yoqilgʻining yonishi hisobiga uzluksiz kamayib boradi. Togʻdan dumalab tushayotgan qor uyumining massasi oshib boradi va h.k. Undan tashqari katta tezliklarda massa tez oshadi. Bunday hollarda (26) ifoda yaroqsiz boʻlib qoladi. Shuning uchun Nʻyutonning II qonunini ifodalaridan biri boʻlgan harakat miqdorining (impulʼs) oʻzgarish

qonunidan foydalaniladi. N`yutonning II qonunini quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{g}}{dt} \quad (27)$$

Massa o`zgaras bo`lgani uchun:

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{g})}{dt} \quad (28)$$

Hosil bo`lgan tenglama (27) tenglamaga ekvivalent bo`lishiga qaramasdan, undagi yangi $m\vec{g}$ fizik miqdor bilan keng ma`noga egadir.

Jism massasining, uning tezligiga ko`paytmasi bilan ifodalanadigan  $m\vec{g}$  vektorga jismning impul`si deyiladi:

$$\vec{P} = m\vec{g}. \quad (29)$$

O`lchov birligi SI: (kg m)/s.

Kuch impul`si deb, jismga ta`sir qilayotgan kuchning ta`sir vaqtiga ko`paytmasiga teng bo`lgan vektor kattalikka aytiladi, (28) dan:

$$\vec{F} \cdot dt = d(m\vec{g}) \quad (30)$$

(29) ni e`tiborga olib (30) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$d\vec{p} = \vec{F} \cdot dt \quad (31)$$

Bu tenglik o`zgaras kuch holi uchun impul`sning o`zgarish qonunini ifodalaydi. O`zgaras kuch ta`sirida jism impul`sining o`zgarishi shu kuch impul`siga tengdir. Impul`sning o`zgarishi $d\vec{p}$ faqatgina tezlikning o`zgarishi hisobiga emas, massaning o`zgarishi hisobiga ham ro`y berishi mumkin. Shuning uchun massa o`zgaruvchan bo`lgan hol uchun ham

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{g})}{dt} \quad \text{yoki} \quad \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (32)$$

ifodalar o`rinli bo`lib hisoblanadi.

(32) ga asosan N`yutonning II qonunini, umumiyroq qilib quyidagicha ta`riflashimiz mumkin: jism impul`sidan vaqt bo`yicha olingan birinchi tartibli hosila jismga ta`sir etayotgan kuchga teng. Bu ifoda jismning harakat tenglamasi ham deyiladi. Agar massa o`zgaruvchan hol uchun yozadigan bo`lsak, (32) ifoda ko`rinishi quyidagicha bo`ladi:

$$m \frac{d\vec{g}}{dt} + \vec{g} \frac{dm}{dt} = \vec{F} \quad (33)$$

$\frac{d\vec{g}}{dt} = \vec{a}$ ekanligini hisobga olsak, quyidagi ifoda hosil bo`ladi:

$$\vec{F} - \vec{g} \frac{dm}{dt} = m\vec{a} \quad (34)$$

(34) dan ko`rinadiki, o`zgaruvchan massali jismning harakati, o`zgarmas jismning harakatiga nisbatan murakkabroq ekan.

O`zgaruvchan kuch uchun kuch impul`si tushunchasini ixtiyoriy vaqt oraliq`i uchun umumlashtirish kerak bo`ladi. Buning uchun t vaqt oraliq`ini  $n$  ta shunday kichik oraliqlarga bo`lish kerakki, har bir bunday vaqt oraliq`ida ta`sir qiluvchi kuchni o`zgarmas va mos ravishda  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n$  ga teng deb hisoblash mumkin bo`lsin. U holda (31) ga asosan bu vaqt oraliqlarining har biri uchun quyidagicha yozish mumkin:

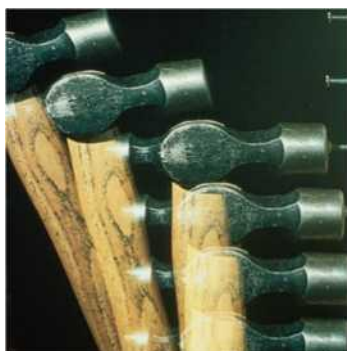
$$\begin{aligned} F_1 dt_1 &= dp_0 \\ F_2 dt_2 &= dp_1 \\ F_3 dt_3 &= dp_2 \\ F_n dt_n &= dp_{n-1}. \end{aligned} \quad (35)$$

Bu tenglamalarni qo`shib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\sum_{i=1}^n F_i dt_i = dp_n. \quad (36)$$

Demak, jismga ta`sir qilayotgan o`zgaruvchan kuchning to`la impul`si, jism impul`sining o`zgarishiga tengdir.

Nyutonning uchinchi harakat qonuni. Nyutonning ikkinchi qonuni hara-



katda kuchlarning qanday ta'sir miqdori bilan ta'riflanadi. kuchlar qanday paydo bo'ladi degan tabiiy savol tug'iladi. Kuch istalgan jismga ta'sir qilsa boshqa jismdan ham qarama-qarshi kuch yuzaga keladi. Masalan, inson mahsulot ortilgan telejkani itaradi, bolg'a mixni uradi, magnit temirli ignani tortadi. Har bir hodisada bir jism ikkinchi jism bilan ta'sirlashadi. Nyuton tushundiki vaziyat bir tomonlama yuzaga kelmaydi. Haqiqatdan bolg'a mixga qarab ta'sir qilsa mix ham bolg'aga aks ta'sir qiladi. Shu sababli Nyuton kuch shunday bir tomonlama emas, deb tushundi. Nyuton fikricha, ikki jism teng ravishda ta'sirlashishi kerak. Bolg'a qoziqqa kuch bilan ta'sir qilsa qoziq orqaga bolg'acha bo'yicha kuch bilan ta'sir etadi. Bu harakat Nyutonning uchinchi qonuni mohiyatidir.

O'zaro ta'sir qiluvchi ikki jism bir-biriga kattaligi jihatdan teng va yo'nalishi jihatdan qarama-qarshi bo'lgan kuchlar bilan ta'sir qiladi:

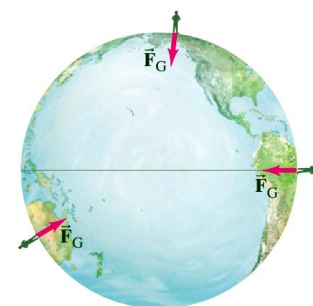
$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad (37)$$

Bu kuchlar turli xil jismlarga qo'yilgan bo'lgani uchun ular bir-birini kompensatsiyalamaydi. (37) dan shu narsa kelib chiqadiki, ikki jismning faqat bir-biriga o'zaro ta'sirining o'zi ikkala jismni bir yo'nalishda harakatlantira olmaydi. Buning uchun ular biror uchinchi jism bilan o'zaro ta'sirlashishi kerak. Masalan, teplovoz vagonlarni o'zining vagonlar bilan o'zaro ta'sirlashishi tufayli emas, o'zining tayanch rel'si bilan o'zaro ta'siridan yuzaga kelayotgan ishqalanish kuchlari tufayli tortadi. Mexanikada kuchlar gravitatsion-og'irlik, elastik va ishqalanish kuchlariga bo'linadi. Jismga ta'sir etayotgan kuch to'g'risida tasavvurga ega bo'lish uchun:

- 1) kuchning qanday kattalikda ekanligini;
- 2) kuchning qanday yo'nalishda ta'sir etishini;
- 3) kuch jismning qaysi nuqtasiga qo'yilishini;

4) kuchning tabiatini bilish kerak bo`ladi.

Nyutonning butun olam tortishish qonuni. Uchta harakat qonunini yoritishdan tashqari, Isaak Nyuton shuningdek planetalarning va oyni harakatini ko`rib chiqqan. Hususan u Oyni Yer atrofidagi deyarli aylanma harakat qilishi uchun uni ushlab turuvchi kuch tabiati haqida qiziqqan. Shuningdek Nyuton gravitatsiya muammosi haqida ham o`ylagan. Erkin tushuvchi jismlar tezlanish olgani uchun Nyuton, bu jismlar ularga ta`sir qiluvchi va og`irlik kuchi deb ataluvchi kuch ta`sirida bo`lishi kerak degan hulosaga kelgan. Har doim jismga ta`sir etadigan kuch biror boshqa jism *tomonidan* ta`sir etadi. Yer sirtidagi har bir jism gravitatsiya kuchi F_G ning ta`sirini sezadi va jism qayerda joylashganligiga qaramasdan bu kuch Yerning markazi tomon yo`nalgan bo`ladi (10-rasm). Nyuton bu Yer bo`lishi kerak va u o`zining sirtidagi jismlarga gravitatsiya kuchi bilan ta`sir etadi degan xulosaga kelgan.



10 – rasm.

Nyuton gravitatsion kuchning qiymatini, ya`ni Yerning Oyga ta`sirini Yer sirtidagi jismlarning og`irlik kuchi bilan solishtirgan holda aniqlashga kirishdi va quyidagi hulosaga keldi: ixtiyoriy jismga Yer tomonidan ta`sir etuvchi gravitatsiya kuchi F_{grav} yoki F_G Yer markazidan jismlargacha bo`lgan r masofaning kvadratiga proporsional ravishda kamayadi:

$$F_G \sim 1/r^2 \quad (38)$$

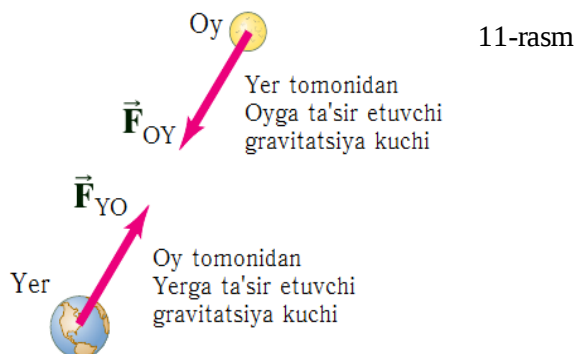
Oy Yerdan 60 Yer radiusiga uzoq, shuning uchun unga Yer sirtiga yaqin niqtadagiga nisbatan $60^2=3600$ marta kichikroq gravitatsiya kuchi ta`sir etadi.

Nyuton jismlarga ta`sir etuvchi gravitatsiya kuchi faqatgina masofaga bog`liq emas, balki jismlarning massasiga ham bog`liqligini tushundi. Aslida, u ularning massalariga to`g`ri proporsional. Nyutonning uchinchi qonuniga asosan, Yer ixtiyoriy jismga, Oy kabi, gravitatsion kuch bilan ta`sir etsa jismlar ham Yerga huddi shunday va qarama-qarshi yo`nalgan kuch bilan ta`sir etadi (11-rasm). Bu

simmetriya sababini Nyuton quyidagicha asosladi, gravitatsiya kuchining qiymati *ikkala* massaga proporsional bo`lishi shart, ya`ni:

$$F_G \sim m_Y m_j / r^2 \quad (39)$$

Bunda m_Y va m_j mos ravishda Yerning va jismning massalari, r – Yerning



markazidan jismning markazigacha bo`lgan masofa.

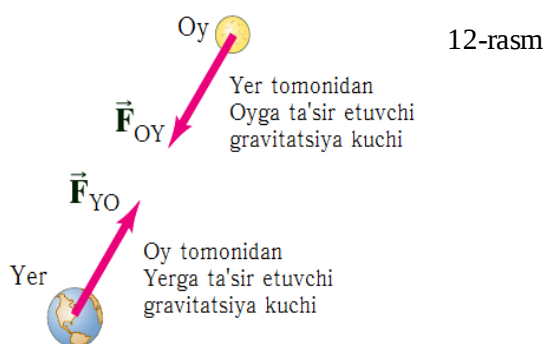
Nyuton gravitatsiyani analiz qilishda yanada chuqurlashdi. Sayyoralar orbitalarini ko`rib chiqishda u quyidagi hulosaga keldi, turli sayyorarni Quyosh atrofidagi o`z orbitalarida ushlab turish uchun kerak bo`lgan kuch, ulardan Quyoshgacha bo`lgan masofaning kvadratiga teskari teskari proporsional ravishda kamayadi. Bu uni quyidagi fikrga olib keldi: bu shuningdek har bir sayyorani o`z orbitalarida ushlab turuvchi Quyosh va bu sayyolalar orasidagi og`irlik kuchidir. Agar gravitatsiya bu ob`ektlar orasida ta`sir etsa, u holda nima uchun barja jismlar orasida tasir etmas ekan? Shunda qilib u o`zining **butun olam tortishish qonunini** taklif qildi, va biz uni quyidagicha tarflashimiz mumkin: **Koinotdagi har bir zarra boshqa bir zarrani ularning massalari ko`paytmasiga to`g`ri proporsional va ularning orasidagi masofaning kvadratiga teskari proporsional kuch bilan tortadi. Bu kuch zarralarni birlashtiruvchi chiziq bo`ylab ta`sir etyadi.**

Gravitatsion kuchning ifodasi quyidagicha yoziladi

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (40)$$

bunda m_1 va m_2 – ikki zarraning massasi, r – ular orasidagi masofa, va G – gravitatsion doimiy bo`lib, u tajriba yordamida aniqlanishi mumkin. G ning

qiymati juda kichkina bo'lishi kerak, chunki biz oddiy jismlar orasidagi tortishish kuchini bilmaymiz, masalan, ikkita beysbol koptogi orasidagi. Ikkita oddiy jismlar orasidagi ta'sir kuchini birinchi bo'lib 1798 yili Genri Kavendish, Nyuton o'z qonunini elon qilganidan 100 yilcha keyin o'lchangan. Oddiy jismlar orasidagi juda kichik ta'sir kuchini aniqlash va o'lchash uchun u 5-18-rasmda ko'rsatilgan qurilmani ishlatgan. Kavendish Nyutoning ikkita jism bir-biriga tortilishi va (40) formula bu kuchni aniq ifodalashi haqidagi gipotezasini tasdiqladi. Bundan tashqari Kavendish F_G , m_1 , m_2 va r larni aniq o'lchasi mumkin bo'lgani uchun u doimiy G ning qiymatini ham aniq hisoblay olgan. Bugungi kunda uning qabul qilingan qiymati quyidagiga teng.



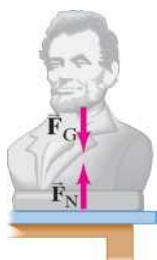
$$G=6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2.$$

(Kitobning oxirida berilgan jadvalda barcha doimiylarning yuqori aniqlikdagi qiymatlari berilgan). (40) formula **teskari kvadratlar qonuni** deyiladi, chunki kuch r^2 ga teskari proporsional. (12 – rasm). Bir jismning gravitatsion kuchi ikkinchi jismga ta'sir etib, birinchi jism tomon yo'nalgan bo'ladi va Nyutonning uchinchi qonuniga asosan ikkinchi jism tomonidan birinchi jismga ta'sir etuvchi kuchga teng va qarama-qarshi yo'nalgan. Rasmda ko'rsatilgan holda Yer tomonidan Oyga ta'sir etuvchi gravitatsiya kuchi $\vec{F}_{OY}$, Oy tomonidan Yerga ta'sir etuvchi gravitatsiya kuchiga teng va qarama-qarshi. Ya'ni $\vec{F}_{OY} = -\vec{F}_{Ye}$.

Qat'iy qilib aytganda, (40) formula bir-biridan r masofada joylashgan bir + zarraning boshqasiga ko'rsatuvchi gravitatsion ta'sirining kattaligini ko'rsatadi. Katta o'lchamli jism (moddiy nuqta emas) uchun biz r masofani qanday

o`lchash mumkinligini ko`rib chiqishimiz kerak. To`g`ri hisob-kitob shuni ko`rsatadiki, har bir hajmiy jismni zarralar to`plami deb qarash mumkin, natijaviy kuchni esa barcha zarralar kuchlarining yig`ndisiga teng. Barcha zarralar bo`yicha yig`indi ko`pincha, Nyuton o`zi o`ylab topgan integral hisob yordamida amalga oshiriladi. Jismlarning tortishishi ularning orasidagi masofaga nisbatan katta bo`lganda (Yer–Quyosh sistemasi kabi), ularni moddiy nuqtalar deb qarash natijaga kichik hatolik beradi. Nyuton *tashqaridanzarraga bir jinsli shar tomonidan ta`sir etuvchi gravitatsiya kuchi, huddi sharning barcha massasi uning markazida mujassamlashganidek bo`lishi mumkinligini* ko`rsata olishi mumkin edi. Shunday qilib (40) formula markazlari orasidagi masofa r bo`lgan ikki bir jinsli sharlar orasidagi to`g`ri kuchni beradi.

**Og`irlik kuchi.** Galiley ta`kidladiki, hamma jismlar Yer yuzasiga yaqin balandlikdan bir xil tezlanish g bilan tushadi. Bu tezlanishni yuzaga keltiradigan



kush tortishish yoki tortishish kuchi deyiladi. Bir jism ustida tortishish kuchi qanday ta`sirga ega? Og`irlik kuchiga Nyutonning II qonunini qo`llaymiz. Shunday qilib, bir jismga tasir etuvchi og`irlik kuchini quyidagicha yozish mumkin:

$$F_g = mg \quad (41)$$

Bu kuch pastga Erning markaziga tomon yo`nalgan bo`ladi XBS birliklari, $g = 9.80 \text{ m/s}^2$ shunday Yerdagi bir 1.00-kg massa og`irligi  $(1.00 \text{ kg}) \times (9.80 \text{ m/s}^2) = 9.80 \text{ N}$ . Oyda, boshqa sayyoralarda yoki kosmosda, og`irlik kuchi Yerdagiga nisbatan turli xil bo`ladi, deb qayd qilinadi. Jismning erkin tushishida gravitatsion kuch yoki og`irlik kuchi ta`sir qiladi. Agar jism tinch holatda bo`lsa hamma ta`sir qiluvchi kuchlar nolga teng bo`ladi.

Butun olam tortishish kuchining ko`rinishidan biri og`irlik kuchi, ya`ni jismlarning Yerga tortilish kuchidir. Agar Yerning massasini  $M$  bilan, radiusini  $R$  bilan, muayyan jismning massasini  $m$  bilan belgilansa, Yer sirti yaqinidagi jismga ta`sir qiluvchi og`irlik kuchi butun olam tortishish qonuniga asosan quyidagiga teng bo`ladi:

$$P = F = G \frac{Mm}{R^2} \quad (42)$$

Bu og'irlik kuchi jismga qo'yilgan bo'lib, Yerni markaziga tomon yo'nalgan. Ikkinchi tomondan jismning og'irlik kuchi N'yutonning II qonuniga asosan:

$$\vec{P} = \vec{F} = m\vec{g} \quad (43)$$

Jismning og'irlik kuchi jism massasi bilan erkin tushish tezlanishining ko'paytmasiga teng. (42) va (43) dan g ni topamiz:

$$g = \frac{F}{m} = G \frac{M}{R^2} \quad (44)$$

Demak, g jismning massasiga bog'liq bo'lmasdan hamma jismlar uchun bir xildir ($g_{ekv}=9,78 \text{ m/s}^2$, $g_{qutb}=9,83 \text{ m/s}^2$). Jismning Yerdan h balandlikdagi og'irlik kuchi quyidagiga teng bo'ladi:

$$P_h = F_h = mg_h = G \frac{Mm}{(R+h)^2} \quad (45)$$

Bundan tashqari erkin tushish tezlanishi Yerning geografik kengligiga va Yer qobig'i tuzilishiga ham bog'liqdir. Jismning og'irlik kuchi bilan jismning og'irligi (vazni)ni chalkashtirmaslik kerak. Jismning og'irligi deb, jismning Yerga tortishish kuchi tufayli tayanch yoki osmaga ta'sir qiladigan kuchiga aytiladi. Jismning og'irlik kuchi jismga qo'yilgan bo'lib, Yerning markaziga tomon yo'nalgan bo'ladi.

Og'irlik esa, jism tomonidan tayanch va osmaga qo'yilgan bo'ladi. Og'irlik jism tayanchga tekkanida namoyon bo'ladi. Insonlar hayotida og'irlik kuchining ahamiyati kattadir.

Bir-biriga tegib turgan jismlar yoki bir jismning o'zaro tegib turgan bo'lakchalari, bir-biriga nisbatan ko'chganda harakatga qarshilikning hosil bo'lishiga ishqalanish deyiladi. Bu paytda vujudga kelgan kuchlarga ishqalanish kuchlari deyiladi. Ishqalanish kuchlari doimo urinish sirti bo'ylab harakatga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Ikkita tegib turgan jismlar bir-biriga nisbatan

ko`chgandagi ishqalanishga tashqi ishqalanish deyiladi. Bitta yaxlit jismning qismlari orasidagi o`zaro ishqalanishga ichki ishqalanish deyiladi. Ikkita qattiq jism sirlari orasidagi ishqalanish quruq ishqalanish deb ataladi. Qattiq jism bilan suyuqlik yoki gazsimon muhit yoki shunga o`xshash muhit qatlamlari orasidagi ishqalanish suyuq yoki qovushoq ishqalanish deyiladi.

Quruq ishqalanish, sirpanish va dumalanish ishqalanishga bo`linadi. Quruq ishqalanishda ishqalanish kuchi faqat sirpanish yuzaga kelgandagina hosil bo`lmasdan, shuningdek sirpanishni amalga oshirishga uringan vaqtda ham yuzaga keladi.

Nazorat uchun savollar

1. Dinamikaning vazifasi qanday?
2. Inersial va noinersial sanoq sistemalarini tushuntiring.
3. Galiley va Eynshteynning nisbiylik prinsiplari.
4. N`yutonning I, II, III qonunlari.
5. Jismning qanday xossasiga inertlik deyiladi?
6. Kuch deb nimaga aytiladi?
7. Massa va zichlikni tushuntiring.
8. Katta tezliklarda massa nima uchun o`zgaruvchan bo`ladi?
9. Impul`s. Kuch impul`si. Ularning o`lchov birliklari, impul`sning saqlanish qonunini ta`riflang.
10. Kuchlarning tabiati va turlarini ayting.
11. Butun olam tortishish qonunini ta`riflang.
12. Gravitatsion doimiyning fizik ma`nosi qanday?
13. Og`irlik kuchi bilan og`irlikning farqi nimada?
14. Erkin tushish tezlanishi nimalarga bog`liq va nima uchun?
15. Ishqalanish kuchi deb nimaga aytiladi va uning turlari qanday?
16. Ishqalanish kuchi bilan og`irlik kuchining qanday farqi bor?

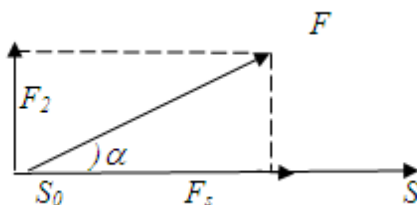
Energiya va mexanik ish. Mexanik energiyaning saqlanish qonuni

Mexanikada ish tushunchasi ko`chish va kuch tushunchalari bilan bog`liq. Mexanik ish deb, jismga ta`sir etuvchi  $F$  kuchning ta`sir yo`nalishi bo`yicha bosib o`tgan  $S$  yo`lga bo`lgan ko`paytmasiga aytiladi.

$$A = F \cdot s \quad (44)$$

Agar kuch yoʻlga nisbatan biror α burchak ostida yoʻnalgan boʻlsa, kuch ikkita, yaʼni yoʻlga parallel va perpendikulyar tashkil etuvchilardan iborat boʻladi. Perpendikulyar tashkil etuvchi kuchning bajargan ishi nolga teng, parallel tashkil etuvchi kuchning bajargan ishi quyidagiga teng boʻladi (13 – rasm):

$$A = F_1 \cdot s = F \cdot s \cos \alpha \quad (45)$$



13-rasm

$$\alpha < 90^\circ \text{ da } A > 0 \quad (+)$$

Natijada F_s ning yunalishi koʻchish yunalishi bilan mos tushadi va u jism tezligini oshiradi. Kuch bilan taʼsir etayotgan jismdan kuch taʼsiriga uchrayotgan jismga energiya oʻtadi va kuch musbat ish bajaradi.

$$\alpha > 90^\circ \text{ da } A < 0 \quad (-)$$

Bu holda F_s ning yuʻnalishi koʻchish yuʻnalishiga teskari. Shuning uchun kuch jism harakatiga tormozlovchi taʼsir koʻrsatadi, yaʼni uning tezligini kamaytiradi. Ishqalanish kuchi koʻchish yuʻnalishiga teskari va u manfiy ish bajaradi.

$$\alpha = 90^\circ \text{ da } A = 0 \text{ boʻladi.}$$

Bu holda F_s ning yuʻnalishi koʻchish yuʻnalishiga perpendikulyar.

Umumiy holda kuch oʻzgaruvchan boʻlsa, yoʻlning elementar ΔS uchastkasida kuchni doimiy deb hisoblab, elementar bajarilgan ish

$$\Delta A = F \cdot \Delta s \cos \alpha \text{ yoki } dA = F \cdot ds \cos \alpha \quad (46)$$

koʻrinishda topilishi mumkin. Butun yoʻl davomida bajarilgan ish:

$$A = \int_a^b dA = \int_a^b F ds \cos \alpha \quad (47)$$

integral yordamida hisoblanadi (14 – rasm).

SGS sistemasida ishning o'lchov birligi - *Erg*,

$$1 \text{ Erg} = 1 \text{ din} \cdot 1 \text{ sm}$$

SI sistemasida – Joul` (J)

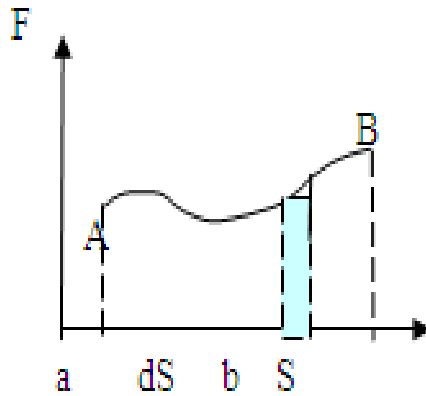
$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}, \quad 1 \text{ J} = 1 \cdot 10^7 \text{ erg}.$$

2. Jismni chekli s masofaga ko`chirishda bajarilgan ish jismga ta`sir etuvchi kuchning tabiatiga boq`liq. Amalda bajarilgan ishning qiymati emas, balki bu ish qanday muddatda bajarilganligi ham ahamiyatga ega. Ishni bajarilish tezligi quvvat degan fizik kattalik bilan xarakterlanadi. Vaqt birligi davomida bajarilgan ishga quvvat deyiladi.

$$N = \frac{A}{t} \quad (48)$$

Quvvat jismning tezligiga bog`liq bo`ladi:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot S}{t} \cos \alpha = F \cdot \mathcal{V} \cdot \cos \alpha \quad (49)$$



14-rasm

$\cos \alpha = 1$ bo`lsa,

$$N = F \cdot \mathcal{V} \quad (50)$$

Quvvatning o'lchov birliklari:

$$\text{SI: } \text{Vatt (Vt): } 1 \text{ Vt} = 1 \text{ J} / 1 \text{ s}.$$

Sistemadan tashqarii o'lchov birliklari ham bor:

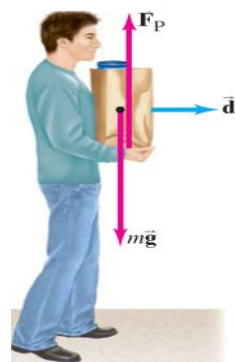
$$1 \text{ GVt (gektoVatt)} = 100 \text{ Vt}$$

$$1kVt \text{ (kiloVatt)} = 1000 Vt$$

$$1 o.k. = 75 kG \cdot m / s = 7,5 \cdot 9,8 Vt = 736 Vt.$$

Foydali ishning bajarilgan to'liq ishga bo'lgan nisbati- foydali ish koeffitsienti deyiladi:

$$\eta = \frac{A_{\phi}}{A_m} = \frac{N_{\phi} \cdot t}{N_m \cdot t} = \frac{N_{\phi}}{N_m} \quad (51)$$



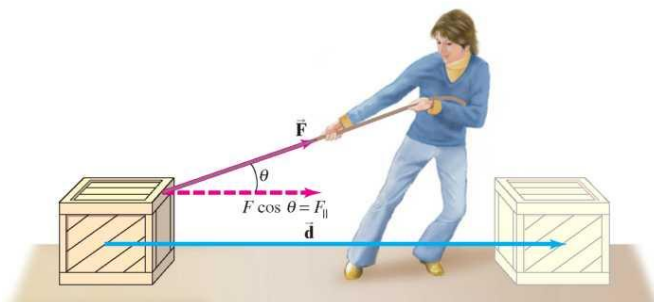
Ish va energiya. Hozirgacha biz Nyutonning 3 ta harakatlanish qonunlariga asoslanib predmetning ilgarilanma harakatni o'rgandik. Ushbu taxlil jarayonida kuch xarakatni belgilovchi birlik sifatida markaziy rol o'ynaydi. Bu bobda biz predmetni ilgarilanma xarakatni energiya va moment birliklar orqali o'rganamiz. Energiya va momentning ahamiyati shundaki ular saqlanib qoluvchi tushunchadir. Ya'ni umumiy holatlarda ular doimiylikni saqlab qoladi. Ushbu saqlanib qolgan birliklar bizga nafaqat olam, tabiatga chuqurroq nazar solish, balki amaliy masalalarni hal etishda yangicha yondashuv imkonini beradi. Energiya va momentning doimiylik qonunlari ko'plab predmetlarni bir tizim sifatida taxlil etish imkonini berishi bilan muhim, chunki tizim predmetlarni alohida kuch o'lchovlarni hisoblash murakkab yoki ilojsizdir. Ushbu qonunlarni ko'pgina hodisalarga nisbatan qo'llash mumkin. Ular hattoki Nyuton qonunlari ilojsiz bo'lgan atom va subatom dunyosida ham ish beradi.

Bu bob juda muhim hisoblangan energiya va ish tushunchalarga bag'ishlangan ushbu 2 ta o'lchov birligi skalyar kattalik va shuning uchun ham o'z yo'nalishlari yo'q. Bu holat ular bilan ishlash tezlanish va kuchga ega vektor tushunchalarga nisbatan osonroq ekanini anglatadi. Energiyaning muhim ahamiyati 2 ta shart bilan belgilanadi: Birinchidan – bu saqlanadigan kattalik, ikkinchidan bu tushuncha faqat mehanik harakatda foydalanilmasdan ,fizikaning hamma sohasida va shu bilan boshqa fanlarda ham qo'l keladi.

Lekin energiyaning o'zini ko'rishdan oldin, doimo kuch talab qiladigan ish o'zi nimani namoyon etadi. Kundalik hayotda ish so'zi turli ma'nolarda ishlatiladi. Fizikada esa ish so'zi aniq ma'noni anglatadi. Ya'ni kuch nimaga qodir?

Jumladan, ish doimiy kuch bilan jismni vaziyatini o'zgartirganda bu kuchning kattaligi va harakat yo'nalishini ko'rsatadi buni quyidagi formula orqali yozishimiz mumkin.

$$W = F \cdot d \cos \theta \quad (52)$$



15-rasm

Bu vaziyatda ish nolga teng bo'ladi, ish ko'chishga perpendikulyardir. F -doimiy kuch, d -zarrachalarning ko'chishi, θ -kuch yo'nalishi bilan ko'chish orasidagi burchak. Kuch va ko'chishning yo'nalishi bir tomonlama bo'lganda ya'ni $\cos \theta = 1$ $W = Fd$ bo'ladi.

Misol uchun: yuklangan telejkani 30 N kuch bilan gorizontal holatda itarsak va telejka 50 m masofagako'chsa, $(30 \text{ N}) \cdot (50 \text{ m}) = 1500 \text{ N} \cdot \text{m}$ ish bajariladi. XBS da ish $\text{N} \cdot \text{m}$ da o'lchanadi. Ishning o'lchov birligi $\text{J} = \text{N} \cdot \text{m}$. Masalan, mahsuloti bor og'ir sumkani qo'lga ko'tarib, harakatlanmasangiz ishbajarilmaydi. Siz charchash-ingiz mumkin, chunki muskullar energiya ajratadi. Lekin sumka tinch holatda bo'ladi (ko'chish 0 ga teng) $W = 0$. Sumkani mahsuloti bilan 15-rasmdagidek polga nisbatan gorizontal holatda siz ish bajarmaysiz. Yukni doimiy tezlikda ko'chirish uchun hech qanday kuch talab qilinmaydi. Og'irligiga teng va yuqoriga yo'nalgan kuch bilan ta'sir qilish mumkin. Lekin bu kuch sumkaning gorizontal ko'chishiga perpendikulyardir. Shu sababli ish bajarilmaydi:

$$W = 0, \quad \cos 90^\circ = 0 \quad (53)$$

Aravachani o'ziga nisbatan itarayotgan bolani kuzatamiz. Aravacha yer sirtiga nisbatan d masofaga ko'chadi, bunda ish bajariladi. Agar bola 20N kuch bilan 30° burchak ostida telejkani itarsa va telejka 100m masofaga ko'chsa bajarilgan ish

quyidagiga teng bo`ladi:  $20(\text{N}) \cdot 100(\text{m}) \cdot 0,866 = 1700 \text{ J}$ . Ish  $F$  kuch bilan yerga nisbatan  $0^\circ$  burchak ostida  $F \cos \Theta$  ga teng bo`ladi.

Energiya haqidagi ta`limot fanlar ichida eng muhimlaridan biri. Biz energiyani bir so`z bilan keng ta`riflay olmaymiz. Har bir muayyan turdagi energiyaga har bir shaxs oddiy ta`rif berish kerak. Biz bu bobda kinetik va ba`zi turdagi potentsial energiyaga ta`rif beramiz. Biz oxirgi boblarda boshqa turdagi energiya shuningdek issiqlik va elektr energiyalarni tekshiramiz. Hal qiluvchi shakli shundaki hamma turdagi energiyani umumiy energiya sifatida qabul qilish mumkin. Xuddi shunga o`xshash jarayonlardan oldin bu energiyning qiymati o`zgarmaydi. Biz energiyani ananaviy “ishlash qobiliyati” i aniqlashimiz mumkin. Bu oddiy aniqlanish yo`lini har doim ham tadbqiq qilib bo`lmaydi. Lekin biz muhokama qilayotgan bu bobimiz mexanik energiyaga talluqli. Biz muhokama qilib kinetik energiya energiyaning asosiy turlaridan biri ekanligini aniqladik .

Harakatlanayotgan obyekt o`zi borib urilgan obyektga nisbatan ma`lum ish bajaradi. Uchib ketayotgan zambarak o`qi o`zi borib urilib, qulayotgan g`isht devorga nisbatan ish bajaradi. Yog`ochga mix qoqayotgan bolg`a ham mixga nisbatan ma`lum ish bajaradi. Har qaysi holatda ham harakatlanayotgan obyekt o`zi urilayotgan 2-obyektga nisbatan ish bajaradi. Harakatdagi obyekt ish bajarish qobiliyatiga ega va shuning uchun energiyaga ega deyiladi. Harakat enegiyasi kinetik energiya deyiladi. Yunonchadan “kinetikos” – “harakat” ma`nosini bildiradi. Kinetik energiyaning miqdorini aniqlash uchun boshlangish tezligi v_1 bo`lgan va to`g`ri chiziq bo`ylab harakatlanayotgan oddiy m massali qattiq jismni olaylik. Uni v_2 tezlikga chiqarish uchun doimiy tashqi kuch F_{net} uning qo`zgalish harakatiga parallel ravishda sarflanadi. Bu holatda obektga nisbatan bajarilgan tashqi ish  $W_{\text{net}} = F_{\text{net}} d$ . Biz Nyutonning 2- qonunini qo`llaymiz. $F_{\text{net}} = ma$, va $v_2^2 = v_1^2 + 2ad$ tenglikni

$$a = (v_2^2 - v_1^2) / 2d \quad (54)$$

ko`rinishida yozamiz.  $V_1$ = boshlangich tezlik va  $v_2$ = oxirgi tezlik. Ushbu tenglikni  $F_{\text{net}} = ma$  da  $a$  ning o`rniga qo`yib bajarilgan ishni aniqlaymiz.

$$W_{\text{net}} = F_{\text{netd}} = mad = md(v_2^2 - v_1^2)/(2d) = 1/2m(v_2^2 - v_1^2) \quad \text{yoki}$$

$$W_{\text{net}} = 1/2(mv_2^2) - 1/2(mv_1^2) \quad (55)$$

miqdorini ob`yektning ilgarilanma kinetik energiyasi (K_E) deyiladi.

$$E_K = 1/2(mv^2) \quad (54)$$

Ilgarilanma kinetik energiya uni aylanma kinetik energiyadan ajratish uchun ilgarilanma deb ataladi. Bu mavzu 8 bobda tahlil etiladi. (54) tenglama doimiy kuchga 1 o`lchamli harakat uchun keltirib chiqarilgan bo`lsada u 3 o`lchamli obyektlarning ilgarilanma harakati uchun ham qo`llanilsa bo`ladi, hattoki (3) o`zgarganda ham (54) formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$W_{\text{net}} = k_{E2} - k_{E1} \quad (56)$$

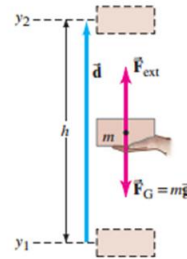
Biz hozirgina obyekt harakati tufayli energiyaga ega bo`lishi haqida gapirdik, ushbu energiya kinetik energiya deb nomlanadi. Ammo kinetik energiyadan tashqari potensial energiya ham mavjud. U obyektning holati yoki konfiguratsiyasiga tashqi kuch orqali ta`sir ko`rsatadi. Potensial energiya turli xil-larga ajratilishi mumkin va har biri aniq kuch bilan bog`liq. Mexanizmli o`yinchoqning prujinasi potensial energiyaning misoli. Chunki u inson tamonidan ishga tushirilgani tufayli prujina potensial energiyani ishlab chiqaradi. Va bo`shatilgani sari, kuch ta`sir etadi va o`yinchoq yuradi.

Gravitatsion potensial energiya – potensial energiyaning eng ko`p uchraydi-gan misoli bo`la oladi. Yerdan ko`tarilayotgan og`ir g`isht yerga nisbatan vaziyati tufayli potensial energiyaga ega bo`ldi. Ko`tarilgan g`isht ish bajaradi, uni qo`yib yuborsak gravitatsion kuch tufayli yerga tushadi va yerda qoldirgan izi u bajargan ishini ko`rsatadi.

Keling yer yuzining oldida joylashgan obyektning potensial energiyasi formu-lasini topaylik. Vertial ko`tarilgan m massali obyekt uchun vertial yo`naltirilgan kuch jism massasiga teng, mg , aytaylik, inson qo`li bilan ta`sir ko`rsatilish kerak. Obyekt tezlanishsiz ko`tarilishi uchun, inson unga tashqi kuch ko`rsatishi kerak  $F_{\text{ext}}=mg$ . Agar u h balandlikga ko`tarilib, y_1 holatidan y_2 holatiga olinsa 16-rasm (

tepaga yo`naltirilgan harakat musbat tanlanadi ), inson vertikal qo`zg`alish  $h$  ga ko`paytirilgan, tashqi kuchga teng bo`lgan ish bajaradi.

$$F_{\text{ext}} = mg = F_{\text{ext}} d \cos 0^\circ = mgh = mg(y_2 - y_1)$$



16-rasm. Vertikal harakatlanayotgan jismning potensial energiyasi.

Gravitatsiya jism y_1 holatidan y_2 holatiga o`tguncha ham ta`sir qiladi va quyidagi ishni bajaradi:

$$W_G = F_G d \cos \theta = mgh \cos 180^\circ \quad (57)$$

bu yerda $\theta = 180^\circ$, chunki $\vec{F}_G$ va $\vec{d}$ qarama-qarshi yo`nalishda belgilanadi. Shuning uchun

$$W_G = -mgh = -mg(y_2 - y_1) \quad (58)$$

So`ngra, obyektni  $y_2$  holatidan gravitatsiya ixtiyoriga qo`yib h balandlikdan tashlab yuborsak, jism quyidagi tezlikga erishadi $v^2 = 2gh$ (16-rasm) . Shunda u $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(2gh) = mgh$ kinetik energiyaga teng bo`ladi va  $mgh$  ga teng ishni bajaradi. Bu degani,  $m$  massali jismni  $h$  baladlikga ko`tarish uchun mgh ga teng bo`lgan ish bajariladi (57-formula). Bir marta  $h$  balandlikga ko`tarilgan jism mgh at a g bo`lgan ish bajaradi. Biz jismni ko`tarishda bajarilgan ishni gravitatsion potensial energiya deb atasak bo`ladi.

Shunga ko`ra jismning gravitatsion potensial energiyasini jismning  $mg$  mas-sasi va uning ma`lum bir y darajadagi balandligi (yer sathidan) quyidagiga teng:

$$PE_G = mgy \quad (59)$$

Jism yerdan qancha balandlikga ko`tarilsa uning potensial energiyasi shuncha katta bo`ladi. Biz (57) formulani (59) formulaga tenglashtiramiz:

$$\begin{aligned} W_{\text{ext}} &= mg(y_2 - y_1) \\ W_{\text{ext}} &= PE_2 - PE_1 = \Delta PE_G \end{aligned} \quad (60)$$

Jismni y_1 balandligidan y_2 balandligiga ko'tarilgan holatda potensial energiyadagi o'zgarish jismni 1 joydan 2 joyga tezlanishsiz ko'chirish uchun sarflangan tashqi kuchga teng.

Ekvivalent, gravitatsion potensial energiyadagi o'zgarishni, ΔPE_G , gravitatsiyaning o'zi ishni bajargan vaqtda ta'riflashimiz mumkin. Formula (60) dan boshlab, biz quyidagiga ega bo'lamiz:

$$W_G = -mg(y_2 - y_1) \quad W_G = -(PE_2 - PE_1) = -\Delta PE_G \quad (61)$$

$$-W_G = \Delta PE_G$$

Gravitatsion potensial energiya ma'lum bir darajaga ko'tarilgan vertikal balandlikga bo'g'liq (59-formula). Ba'zi hollarda y balandlikni qaysi nuqtadan o'lchashni o'ylab qolish mumkin. Stolning ustidan ko'tarib turilgan kitobning gravitatsion potensial energiyasi, misol uchun, stol ustidan, poldan yoki boshqa joydan o'lchanishiga bog'liq. Har doim gravitatsion potensial energiyaning o'zgarishi fizik jihatdan muhim ΔPE , chunki u bajarilgan ishga bo'g'liq, 60-formula va ΔPE ni belgilaydi. Biz y o'lchash uchun ma'lum qulay vaziyatni tanlashimiz mumkin, ammo biz bu vaziyatni avvaldan tanlashimiz kerak va keyinchalik ham o'zgartirmasligimiz kerak. Ikki nuqta orasidagi potensial energiyaning farqi, bu tanlovga bog'liq emas.

Oldin aytib o'tgan muhim natijamiz faqat vertikal holatda ish bajaradigan gravitatsion kuchga ta'lluqli: gravitatsiya bajargan ish tanlangan yo'lga emas, balki faqat h balandlikga bo'g'liq va harakat to'g'ri vertikal yoki og'ganligiga bog'liq emas. 59-formulada biz gravitatsion potensial energiyadagi o'zgarish tanlangan yo'lga emas, faqat balandlikning o'zgarishiga bog'liq ekanligini ko'ramiz. Potensial energiya ma'lum bir obyektga emas, balki butun tizimga tegishli. Potensial energiya har doim kuch bilan bog'liq va bir obyektning kuchi boshqa bir obyektga doim ta'sir ko'rsatadi. Yer sirtidan y balandligiga ko'tarilgan obyekt uchun, gravitatsion potensial energiyaning o'zgarishi mgy ga teng. Sistemani bu yerda jism va Yer tashkil etadi: obyekt (m) va Yer (g).

Potensial energiyaning umumiy taʼrifi Gravitatsion energiyadan tashqari potensial energiyaning boshqa turlari ham bor. Har bir potensial energiya maʼlum bir kuch bilan bogʻlib boʻlib, gravitatsion potensial energiya kabi taʼriflana boʻladi. Umumiy holda maʼlum bir kuch bilan bogʻliq potensial energiyaning oʻzgarishi, obyekt bir joydan ikkinchi joyga koʻchganidagi bajargan ishning teskarisiga teng. Shuningdek, potensial energiyadagi oʻzgarishni obyektning bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga tezlanishsiz koʻchirish uchun talab etilgan qoʻshimcha kuch kabi ifodalasak boʻladi.

Elastik Prujinaning Potensial Energiyasi Turli amaliy qoʻllanishga ega elastik materiallar bilan bogʻliq potensial energiyani koʻrib chiqamiz. Rasm. 6-13 koʻrsatilgan oddiy oʻrama prujinani koʻrib chiqaylik. Prujina siqilganida (yoki qoʻyib yuborilganida) potensial energiyaga ega, chunki uni qoʻyib yuborsak rasmda koʻrsatilganidek koptokga nisbatan ish bajara oladi. x masofada tortilgan yoki qisilgan holatda prujinani ushlab turish uchun qoʻl tamonidan berilgan magnitudasi F_{ext} ga teng boʻlgan qoʻshimcha kuch talab etiladi, va u x ga toʻgʻri proportsional:

$$F_{ext} = kx$$

bu yerda k - oʻzgarmas yoki prujina qattiqligi konstantasi deyiladi (yoki shunchaki prujina konstantasi) va maʼlum prujinaning qattiqlik oʻlchovi hisoblanadi. Siqilgan yoki choʻzilgan prujina qoʻlga qarama-qarshi yoʻnalgan F_s ga teng boʻlgan kuch yuzaga keladi. rasm. 6-14: $F_s = -kx$

Bu kuch baʼzida “qayta tiklanish kuchi” deb ataladi, chunki taʼbiy holatiga qaytish uchun qarama-qarshi kuch yuzaga keladi (manfiy bilan belgilanadi). Tenglama 6-8 prujina tenglamasi shuningdek Guk qonuni deb ataladi va prujina x juda katta uzunlikga ega boʻlib ketmagan holatlarda qoʻllanadi. Choʻzilgan prujinaning potensial energiyasini hisoblash uchun, keling uni choʻzish uchun bajarilgan ishni hisoblaymiz (rasm. 6-14b). Biz tenglama 6-1 ni bajarilgan ishga qoʻllashimiz mumkin, $W = F \cdot x$, bu yerda x taʼbiy holatdan choʻzilganlik masofasi. Ammo bu $F_{ext} = kx$ konstanta boʻlmagunicha notoʻgʻri hisoblanadi, prujina choʻzilgan sari

kattalashib boradi va rasm. 6-15 ko'rsatilgandek x masofaga qarab o'zgaradi. Shuning uchun keling o'rta kuchni, $\vec{F}$, qo'llaymiz. Qachonki cho'zilmagan kx holat va cho'zilgan x holatda $F_{ext} = 0$ dan chiziqli o'zgargunicha, o'rta kuch quyidagiga teng bo'ldi: $\vec{F} = \frac{1}{2}[0+kx] = \frac{1}{2}kx$, bu yerda x yakuniy cho'zilish miqdori (aniqlik uchun rasm.6-15 x_f deb ko'rtilgandek). Shunda bajarilgan ish:

$$W_{ext} = \vec{F}x = \left(\frac{1}{2}kx\right)(x) = \frac{1}{2}kx^2$$

Shunga ko'ra elastik potensial energiya, PE_{el} , cho'zilgan masofaning kvadratiga proporsional: $PE_{el} = \frac{1}{2}kx^2$

Agar prujina ta'biy ("muvozanat") holatdan x masofada qisilsa, o'rta kuch magnitudasi yana $\vec{F} = \frac{1}{2}kx^2$ teng bo'ldi va potensial energiya yana tenglama 6-9 bilan yechiladi. Ushbu x tabiiy holatdan hoh cho'zilgan hoh qisilgan masofani bildirishi mumkin. Shuni esda tutish kerakki, prujinaning tabiiy holatida, boshlang'ich PE uchun ma'lum bir nuqtani belgilab olish kerak.

Energiya turlari. Energiyaning saqlanish qonuni Mexanik sistemaning kinetik energiya va potensial energiyalaridan tashqari, energiyaning boshqa formalari ham mavjud. U elektik energiya, yadroviy energiya, issiqlik energiyasi va ovqat va yonilg'ida uchraydigan kimyoviy energiya uchraydi. Energiyaning bu turlari molekulalar yoki atom darajasida potensial yoki kinetik energiya hisoblanadi. Misol uchun, atom teoriyasiga ko'ra, kinetik energiya tez harakatlanayotgan molekulalar energiyasi-obyektni isitsak, uning tarkibidagi molekulalar tezroq harakatlana boshlaydi. Boshqa tomondan, ovqat va benzin kabi yonilg'idagi energiyani potensial energiya deb hisoblasak bo'ldi, buning sababi elektr kuchi ta'sirida molekulalar orasidagi atomlarning joylashish tartibidir (kimyoviy bog'lanish). Kimyoviy bog'lanishlardagi energiya kimyoviy reaksiyalar orqali yechiladi. Bu jarayonni, siqilgan prujina qo'yib yuborilganida bajargan ish bilan solishtirsak bo'ladi. Elektr, magnit va atom energiyalari ham kinetik va potensial energiyalar misollari bo'la oladi. Energiyaning bu turlari bilan boshqa bo'limlarda tanishamiz.

Energiya bir shakldan ikkinchi shaklga o'ta oladi. Misol uchun tepalikdan tashlab yuborilgan tosh potensial energiyaga ega, u pastga tushib borar ekan potensial energiyani yo'qotadi va kinetik energiyaga ega bo'lib boradi. Potensial energiya kinetik energiyaga aylanadi. Odatda energiya transformatsiyasi o'z ichiga energiyani bir obyektidan ikkinchi obyektga o'tkazishni ham kiritadi. Prujinadagi potensial energiya, to'pning kinetik energiyasiga o'tadi. Sharshara yoki to'g'on yuqorisidagi suv potensial energiyaga ega, suv tushib borishi bilan kinetik energiyaga aylanadi. To'g'on asosidagi kinetik energiya turbine parraklari yordamida tezroq elektr energiyaga aylantirilishi mumkin, bu haqida keyinroq suhbat qilamiz. Kamondagi potensial energiya o'qdagi kinetik energiyaga o'zgaradi.

Har bir misolda, energiyaning transformatsiyasi ishning namoyishi bilan ko'rsatilgan. Suv turbine parraklariga nisbatan ish bajaradi. Kamon o'qga ta'sir qiladi. Ushbu izlanishlar bizga energiya va ish orasidagi munosabatlarni yaxshiroq o'rganish imkoniyatini yaratadi: ish energiya bir obyektidan ikkinchi obyektga o'tganida bajariladi.

Fizikaning ajralmas natijalaridan biri, energiya o'zgarishi yoki boshqa obyektga o'tishidan qat'iy nazar uning miqdori ko'paymadi ham, kamaymaydi ham. Bu fizikaning eng asosiy prinsiplaridan biri, energiyaning saqlanish qonuni, u quyidagicha ifodalanadi: **Har qanday berk tizimda energiya yo'qdan bor bo'lmaydi va yo'qolib ketmaydi. Faqat bir turdan ikkinchi turga aylanishi va bir obyektidan ikkinchi obyektga o'tishi mumkin, ammo jami qiymati o'zgarmaydi.**

Biz hozirgina konservativ kuchlardan tarkib topgan mexanik sistemada energiyani saqlanishi haqida suhbat qildik va Nyuton qonunidan kelib chiqishini ko'rdik. Ammo umuman olganda, energiyaning saqlanish qonuni amal qilishi eksperimental izlanishlarga asoslangan ishqalanish kuchi kabi konservativ bo'lmagan kuchlar bilan bog'liq. Shunday bo'lsada Nyutonning qonunini atomning submikroskopik olamiga nazar tashlashimizni talab etadi, saqlanish qonunni har bir kelgusi eksperimental holatlarda qo'llananila boshlandi.

5. Jismlarning o'zaro ta'siri bir tomondan kuch, ikkinchi tomondan potensial energiya orqali ifodalanadi. Shu boisdan bular orasida bog'lanish mavjud bo'lishi kerak. Bizga ma'lumki, gravitatsion maydonda konservativ kuchlarning bajargan ishi potensial energiyaning kamayishi hisobiga bo'ladi:

$$\Delta E_n = E_{n2} - E_{n1} = A_{1,2} \quad (62)$$

Konservativ kuchining jismni $d\vec{S}$ ga ko'chirishdagi bajargan ishi:

$$\vec{F}d\vec{S} = -dE_n \quad (63)$$

Kuchni ko'chish yo'nalishidagi proeksiyasini F_s deb belgilasak:

$$\vec{F}d\vec{S} = FdS \cos \alpha = F_s dS \quad (64)$$

U holda (63) ni quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$F_s dS = -dE_n \quad (65)$$

$$\text{Bundan} \quad F_s = -\frac{dE}{dS} \quad (66)$$

$$\text{yoki} \quad F_s = -\frac{\partial E}{\partial S} \quad (67)$$

($\frac{\partial}{\partial S}$ belgisi $\vec{S}$ yo'nalish bo'yicha olinayotgan xususiy hosilani ifodalaydi).

E_p jism vaziyatini funksiyasi bo'lgani uchun (67) ixtiyoriy yo'nalish uchun ham o'rinli bo'ladi:

$$F_x = -\frac{\partial E_n}{\partial x}, \quad F_y = -\frac{\partial E_n}{\partial y}, \quad F_z = -\frac{\partial E_n}{\partial z}. \quad (68)$$

Agar $\vec{F} = F_x \vec{i} + F_y \vec{j} + F_z \vec{k}$ ni (68) ga asosan

$$\vec{F} = -\left(\frac{\partial E_n}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial E_n}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial E_n}{\partial z} \vec{k} \right) \text{ deb yozishimiz mumkin.}$$

Qavs ichidagi ifoda $grad E_n$ deb belgilanadi va potensial energiyaning gradienti deb o'qiladi. U holda

$$\vec{F} = -grad E_n \quad (69)$$

Bundan, E_n – skalyar, lekin uning gradienti vektor ekanligi ko`rinadi. ( - ) ishora  $F$  ning yo`nalishini potensial energiyaning kamayishi tomoniga yo`nalganini bildiradi.

(69) $\vec{F}$ bilan E_n orasidagi bog`lanishni ifodalaydi va quyidagicha o`qiladi: potensial maydonda jismga ta`sir qiladigan kuch, uning potensial energiyasining teskari ishora bilan olingan gradientiga teng. Bu, biror yo`nalishda jism ko`chirilganda uning potensial energiyasining o`zgarishi qancha katta bo`lsa, shu yo`nalishda kuchning ta`siri ham shuncha katta bo`lishini bildiradi.

Gradient – eng tez o`zgaradigan yo`nalishda olingan birlik maso-fadagi o`zgarishdir.

Nazorat uchun savollar

1. Energiya va ish tushunchasi nima bilan farq qiladi?
2. O`zgarmas va o`zgaruvchan kuchning bajargan ishi qanday aniqlanadi?
3. Ish va quvvatni o`lchov birliklari qanday?
4. Quvvat deb nimaga aytiladi, uning kuch va tezlik orqali ifodasi qanday?
5. Mexanik energiya va uning turlari?
6. Kuchning bajargan ishi bilan kinetik energiya orasidagi bog`lanish.
7. Konservativ va nokonservativ kuchlar deb nimaga aytiladi?
8. Kuch va potensial energiya orasidagi bog`lanish.
9. Gradient deganda nimani tushunasiz?

Impul`s. Impul`sning saqlanish qonuni.

1. Bizga ma`lumki, konservativ kuchlar maydonidagi jism konservativ kuch ta`sirida elementar $d\vec{r}$ ga ko`chganda bajarilgan ish, ya`ni konservativ kuchlarning bajargan ishi quyidagiga teng edi:

$$dA = -dE_n, \quad (70)$$

ikkinchi tomondan bu ish

$$dA = dE_k. \quad (71)$$

Bu ikki tenglikdan:

$$dE_k = -dE_n, \quad (72)$$

$$\text{yoki} \quad d(E_k + E_n) = 0 \quad (73)$$

ni hosil qilamiz.

$E = E_k + E_n$ -jismning to'la energiyasi deyiladi.

$$(73) \text{ dan } E = E_k + E_n = \text{const} \quad (74)$$

ekanligi kelib chiqadi. Bu formula mexanik energiyaning saqlanish qonunini ifodalaydi:

Konservativ kuchlar maydonida harakatlanayotgan jismlarning to'la mexanikaviy energiyasi o'zgarmaydi. Misol uchun boshlang'ich tezligi nol bo'lgan jismni h balandlikdan tushishida

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{m}{2} (\sqrt{2gh})^2 = mgh = E_n. \quad (75)$$

2. Aksariyat hollarda, jismga konservativ va nokonservativ kuchlar bir vaqtda ta'sir etadi. Bunday holda sistemaning to'la mexanik energiyasi kamayib boradi va bunday kamayishga energiyaning **dissipatsiyasi** (isroflanishi) deb ataladi. Bundan energiyaning saqlanish qonuni buzilayapti degan xulosa kelib chiqmaydi: mexanik energiyaning boshqa turdagi energiyaga aylanishi sodir bo'ladi. Keng miqyosdagi tajribalar natijalarini umumlashtirishdan energiyaning umumfizikaviy saqlanish qonuni kelib chiqqan bo'lib, u quyidagicha ta'riflanadi: energiya hech qachon yo'qdan bor bo'lmaydi va mavjud energiya yo'qolmaydi. Bu qonun faqat mexanik hodisalarga tegishli bo'lmasdan barcha hodisalarga ham tegishlidir.

3. Bizga ma'lumki, jismni impul'si $P = mv$ dir. O'zaro ta'sirlashayotgan bir necha jismdan iborat jismlar sistemasi berilgan deylik. Bundan har bir jismga har xil kuchlar ta'sir qilayotgan bo'lsin (ichki va tashqi kuchlar). Jismlar tomonidan bir-biriga ta'sir etayotgan kuchlari sistemaning ichki kuchlari, tashqaridan

jismlarga ta'sir etayotgan kuchlar tashqi kuchlar deb ataladi. N'yutonning II qonunini i – tartib nomerli jismga tadbqiq etib, quyidagini yozishimiz mumkin:

$$\frac{d\vec{P}_i}{dt} = \vec{f}_i + \vec{F}_i, \quad (76)$$

bunda $R_i - i$ -tartibli jismni impul'si, $\vec{f}_i$ va $\vec{F}_i$ shu jismga ta'sir etuvchi ichki va tashqi kuchlar.

(76) ni sistemadagi barcha jismlar uchun yozamiz:

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{P}_1}{dt} &= \vec{f}_1 + \vec{F}_1 \\ \frac{d\vec{P}_2}{dt} &= \vec{f}_2 + \vec{F}_2 \\ &\dots \dots \dots \dots \dots \\ \frac{d\vec{P}_n}{dt} &= \vec{f}_n + \vec{F}_n. \end{aligned}$$

Bularni hadma-had qo'shsak

$$\frac{d}{dt}(\vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \dots + \vec{P}_n) = \vec{f}_1 + \vec{f}_2 + \dots + \vec{f}_n + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n \quad (77)$$

hosil bo'ladi.

$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \dots + \vec{P}_n = \vec{P}$ - sistemaning to'la impul'si. N'yutonning II qonuniga asosan barcha ichki kuchlarning yig'indisi nolga teng, chunki sistemadagi jismlarning o'zaro ta'sir kuchlari miqdor jihatdan teng va qarama-qarshidir. U holda $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \vec{F}$ deb belgilasak

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F}. \quad (80)$$

Agar sistema berk bo'lsa va $\vec{F} = 0$ bo'lsa,

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = 0 \quad \text{yoki} \quad \vec{P} = \text{const}. \quad (81)$$

Demak, sistemaning to'la impul'si vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi. Bu impul'sning saqlanish qonunidir. Impul'sning saqlanish qonuniga asoslangan ko'plab

hodisalarni misol keltirish mumkin: masalan, miltiq - o`q, raketalarining ishlashi, ba`zi tirik organizmlarning harakati, o`simlik (harakatchan bodring).

4. Reaktiv harakat impul'sning saqlanish qonuniga asoslanadi. Jismning biror qismi undan qandaydir tezlik bilan ajralganda paydo bo`ladigan harakat r e a k t i v harakat deb ataladi. Masalan, raketa va reaktiv tayyoralarining harakati reaktiv harakatdir. Bularning harakatining asosiy xususiyatlaridan biri shundan iboratki, bu erda berk sistemaning massasi harakat davomida uzluksiz o`zgarib boradi. Umuman olganda raketa massasi bilan bir qatorda uning tezligi ham o`zgarib boradi, ya`ni u tezlanish bilan harakatlanadi. Raketaga tezlanish beruvchi kuchga reaktiv kuch deyilib, u gazning otilib chiqishi tufayli vujudga keladi. Bu kuch raketaning harakat tenglamasi orqali ifodalanadi. Bu tenglamani keltirib chiqarishni sodalashtirish uchun Yerning tortish kuchi va havoning qarshilik kuchini hisobga olmay turaylik. Raketaning t paytdagi massasi m , tezligi v va impul'si $m\vec{g}$ bo`lsa,  $dt$  vaqt davomida  $dm$  massali gaz otilib chiqishi natijasida massasi  $m - dm$  ga, tezligi  $\vec{g} + d\vec{g}$  ga teng bo`ladi, ya`ni  $dt$  dan so`ng raketani impul'si $(m - dm)(\vec{g} + d\vec{g})$ ga, raketaga nisbatan $\vec{u}$ tezlik bilan otilib chiqqan dm massali gazning impul'si $(\vec{g} + d\vec{g} - \vec{u})dm$ bo`ladi. Impul'sning saqlanish qonuniga asosan

$$(m - dm)(\vec{g} + d\vec{g}) + (\vec{g} + d\vec{g} - \vec{u})dm = m\vec{g}.$$

$$md\vec{g} - \vec{u}dm = 0 \text{ yoki } md\vec{g} = \vec{u}dm \text{ ga ega bo`lamiz.}$$

$$\vec{u} = \text{const desak, } m \frac{d\vec{g}}{dt} = \vec{u} \frac{dm}{dt} \text{ bo`ladi.} \quad (82)$$

(82) tenglama $P = 0$ va $F_{x,k} = 0$ hol uchun raketaning harakat tenglamasi deyiladi. Agar raketaga tashqi kuchlar ta`sir etsa, uning harakat tenglamasi quyidagi ko`rinishni oladi:

$$m \frac{d\vec{g}}{dt} = \vec{F}_T + \vec{u} \frac{dm}{dt}. \quad (83)$$

$\vec{u}$ ning yoʻnalishi $\vec{g}$ ning yoʻnalishiga qarama-qarshi boʻlsa, raketa tezlanish bilan harakatlanadi; agar $\vec{u}$ va $\vec{g}$ bir xil boʻlsa, sekinlanuvchan boʻladi. Shuning uchun (82) ni raketa harakati yoʻnalishiga boʻlgan proeksiyasi orqali ifodalasak, uni quyidagicha yozamiz:

$$m \frac{d\mathcal{G}}{dt} = -u \frac{dm}{dt} \quad \text{yoki} \quad d\mathcal{G} = -u \frac{dm}{m}. \quad (84)$$

Agar, boshlangʻich massani m_0 va oxirgi massasi $m_f = m_0 - m_{yo}$ boʻlsa, rektaning oxirgi eng katta tezligi (84) ni integrallash orqali topiladi:

$$\mathcal{G} = -u \int_{m_0}^{m_f} \frac{dm}{m} = u \ln \frac{m_0}{m_f} \quad (85)$$

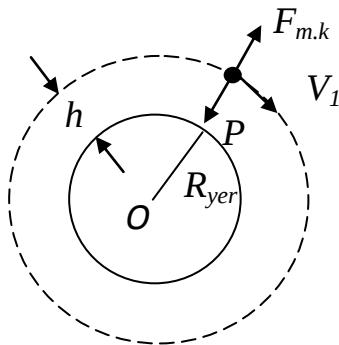
bu erda $m_f = m_0 - m_{yo}$ foydali yuk deyiladi (m_{yo} – ishlatilgan yoqilgʻining massasi). (85) tenglik Siolʻkovskiy formulasi deyiladi. (85) dan raketaga muayyan tezlik berish uchun zarur boʻlgan yonilgʻining massasini hisoblash mumkin boʻladi.

5. Kosmik tezlik deb jismning Yer sayyorasi atrofidagi orbita boʻylab, yoki sayyora tortishish kuchi doirasidan chiqib ketishi uchun zarur boʻlgan tezlikka aytiladi. Birinchi kosmik tezlik deb, jismning Yer atrofida radiusi Yer radiusidan kam farq qiladigan aylana (orbita) boʻylab harakatlanishi uchun zarur boʻlgan tezlikka aytiladi.

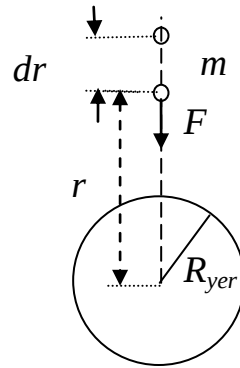
$$F_{m,k} = P \quad \text{yoki} \quad \frac{m \mathcal{G}_l^2}{R_{yer}} = mg \quad (86)$$

$$\mathcal{G}_l = \sqrt{g R_{yer}} = \sqrt{9,8 \cdot 6,4 \cdot 10^5} \frac{M}{c} \approx 7,9 \cdot 10^3 \frac{M}{c} \approx 8 \frac{KM}{c} \quad (84)$$

Bunday tezlik bilan oʻz mehvori (orbitasi) boʻylab harakatlanib turgan jism Erga tushib ketmaydi, ammo Erning tortish kuchi taʼsirida boʻladi.



17– rasm



18 – rasm

Ikkinchi kosmik tezlik deb, jismning Yer tortishish kuchi maydoni doirasi-
dan chiqib ketishi va Quyoshning sun`iy yo`ldoshi singari harakatlanishi uchun za-
rur bo`lgan tezlikka aytiladi. Buni topish uchun jismni Yer sirtidan cheksizlikkacha
uzoqlashtirish uchun Yerning tortish kuchiga qarshi majburan bajariladigan ishni
hisoblash kerak (18 – rasm).

$$dA = F \cdot dr = \gamma \frac{mM_{yer}}{r^2} dr \quad (88)$$

$r = R_{yer}$ dan $r = \infty$ gacha bo`lgan yo`lda bajarilgan ishni integrallash
yo`li bilan topamiz:

$$A = \int dA = \int_{R_{yer}}^{\infty} \gamma \frac{mM_{yer}}{r^2} dr = -\gamma \frac{mM_{yer}}{r} \Big|_{R_{yer}}^{\infty} = \gamma \frac{mM_{yer}}{R_{yer}} = \gamma \frac{mM_{yer}}{R_{yer}^2} R_{yer} = mgR_{yer}$$

$$\frac{m\mathcal{G}^2}{2} = mgR_{yer} \text{ bo`lganligidan } \mathcal{G}_2 = \sqrt{2gR_{yer}} \approx 11,2 \frac{\kappa\mathcal{M}}{c} \quad (89)$$

Uchinchi kosmik tezlik deb, jismni Quyosh sistemasidan chiqib ketishi
uchun zarur bo`lgan tezlikka aytiladi.

$$\mathcal{G}_3 = \sqrt{\frac{2\gamma M_q}{R}} \approx 42 \frac{\kappa\mathcal{M}}{c}. \quad (90)$$

M_q – Quyoshning massasi; R – Quyosh bilan Yer orasidagi masofa. Olingan bu na-
tija Yer qo`zg`almas bo`lgan hol uchun to`g`ridir.

To'rtinchi kosmik tezlik deb jismning quyoshning berilgan nuqtasiga tushishi uchun unga Yerga nisbatan berilishi kerak bo'lgan tezlikka aytiladi. Bu tezlikning qiymati Quyosh sirtidagi tushish nuqtasining holatiga bog'liqdir. Bu tezlikni hisoblash ancha murakkabroq bo'lgani uchun uning faqat son qiymatini keltiramiz.

$$g_4^{\max} \approx 31,8 \frac{KM}{c} \approx 32 \frac{KM}{c} \quad g_4^{\min} \approx 29,2 \frac{KM}{c}.$$

Harakat miqdori (yoki, impuls qisqacha) jismning massasi va uning harakat tezligi ko'paytmasi deb tushuniladi. Impuls (lotin tilidan *impuls* turtki) $\vec{p}$ belgisi bilan ifodalanadi. Agar biz m jism massasi va $\vec{v}$ uning tezligi deb belgilasak, u holda uning impulsi $\vec{p}$ quidagicha topiladi.

$$\vec{P} = m \cdot \vec{v} \quad (91)$$

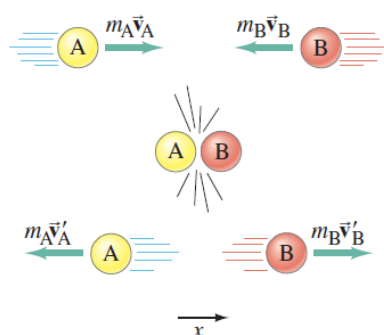
Tezlik vektor hisoblangani kabi, impuls ham vektordir. Impulsning yo'nalishi tezlik yo'nalishida va impulsning kattaligi $p=mv$. Tezlik sanoq sistemasiga bog'liq, impuls ham, shu sababli sanoq sistemasi belgilangan bo'lishi shart. Impulsning o'lchov birligi massa o'lchov birligi bilan tezlik o'lchov birligini ko'paytmasiga teng bo'ladi, XBS da birligi **kg·m/s**. Bu birlik uchun aniq bir nom mavjud emas. Impuls so'zining kundalik ishlatilishi keltirilgan mazmunlar bilan mosdir. 82 formulaga asosan, bir xil massaga ega bo'lgan, tez harakatlanayotga mashinada asta harakatlanayotgan mashinaga qaraganda impuls ko'proq bo'ladi; og'ir yuk mashinasida bir xil tezlikda harakatlanayotgan yengil mashinaga qaraganda ko'proq impuls bo'ladi. Jism impulsi qanchalik ko'p bo'lsa, uni to'xtatish shunchalik qiyin bo'ladi, agar u boshqa jismga urilib to'xtalsa u jismga katta zarar yetkazadi. Futbol o'yinchisi sokin yoki asta yugirayotgan raqib bilan urilganga qaraganda tez yugirayotgan raqib bilan urilsa, gangib qolish ehtimili yuqori. Tez harakatlanayotga yuk mashinasi asta harakatlanayotgan motosiklga qaraganda ko'proq zarar yetkazadi.

Nyuton ikkinchi qonunining (91) tenglamasi, uning o'xshash $\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$ ko'rinishiga qaraganda ko'proq umumiy bayon qiladi, chunki u massaning

o'zgarishi mumkinlik holatini o'zichiga oladi. Massadagi o'zgarish aniq bir vaziyatda sodir bo'ladi, yongan yoqilg'ini chiqarish natijasida massasini yo'qotadigan raketalardek.

Impulsning saqlanish qonuni. Impuls tushunchasi o'ziga xos ahamiyatga ega, agar sistemaga tashqi kuch ta'siri bo'lmasa, sistemaning umumiy impuls o'z miqdorini saqlaydi.

Faraz qilamiz, ikkita sharlardan iborat bo'lgan sistemaga tashqi ta'sirlarning kuchi nolga teng, bu to'qnashuv davomidagi asosiy ahamiyatli kuchlar, har bir koptokning boshqasiga tasir kuchidir. Shuningdek har ikki sharning impulsi o'zgarishi to'qnashuvning natijasidir, impulslarning yig'indisi to'qnashuvdan keyin ham to'qnashuvdan oldingidek bo'ladi. Agar A sharning impulsi $m_A \vec{v}_A$ va B sharning impulsi $m_B \vec{v}_B$ bo'lsa, to'qnashuvdan oldingi ikki shar impulsining vektor yig'indisi $\vec{m}_A \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B$. To'qnashuvdan so'ng har ikki sharlar turlicha impuls va tezlikka ega bo'ladi, biz tezlikni "shtrixlar" bilan belgilaymiz: $\vec{m}_A \vec{v}'_A$ va $\vec{m}_B \vec{v}'_B$. To'qnashuvdan so'ng umumiy impuls vektor yig'indisiga teng: $m_A \vec{v}'_A + m_B \vec{v}'_B$. Tashqi kuch ta'siri bo'lmaguncha, tezliklar va massalar qanday bo'lishidan qat'iynazar, tajribalar shuni ko'rsatadiki, to'qnashuvdan oldin va keying umumiy impuls bir xil bo'ladi, yoxud to'qnashuv yuzma-yuz bo'lsa yoki bo'lmasa ham.



19 rasm.

Oldingi impuls keying impulsga teng, ya'ni

$$m_A \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B = m_A \vec{v}'_A + m_B \vec{v}'_B \quad [\sum \vec{F}_{ext} = 0] \quad (92)$$

Shunday qilib, sistemadagi ikki sharlar to'qnashuvining umumiy impuls vectori saqlanadi: u doimiy o'zgarmas qoladi. Shuningdek, impulsning saqlanish qonuni tajribada aniqlangan bo'lsa-da, u biz hozir ko'rsatadigan Nyutonning harakat qonunidan keltirilib chiqariladi. Tasavvur qilaylik, to'qnashuvdan oldin m_A va m_B massali ikki jismlar $\vec{p}_A (= m_A \vec{v}_A)$ va $\vec{p}_B (= m_B \vec{v}_B)$ impulslarga va to'qnashuvdan keyin $\vec{p}'_A$ va $\vec{p}'_B$ 19-rasmdagidek impulslarga ega bo'lsin. To'qnashuv mobaynida tasavvur qilaylik **A** jism tomonidan **B** jismga ondagi ta'sir qilgan kuchi $\vec{F}$ bo'ldi. So'ngra Nyutonning uchunchi qonuniga ko'ra, **B** jism tomonidan **A** jismga bo'lgan o'sha ondagi ta'sir kuchi $-\vec{F}$ bo'ladi. Qisqa to'qnashuv vaqti davomida, hech qanday boshqa (tashqi) kuchlar ta'siri bo'lmaydi deb faraz qilamiz (yoki $-\vec{F}$ boshqa har qanday tashqi tasir kuchlaridan kattaroq). Juda qisqa Δt vaqt oralig'ida biz:

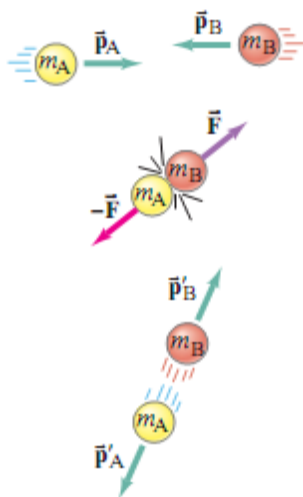
$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}_B}{\Delta t} = \frac{\vec{p}'_B - \vec{p}_B}{\Delta t}$$

$$\text{va } -\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}_A}{\Delta t} = \frac{\vec{p}'_A - \vec{p}_A}{\Delta t} \text{ ga ega bo'lamiz.}$$

Biz bu ikki tengliklarni birqalikda qo'shamiz va

$$0 = \frac{\Delta \vec{p}'_B - \Delta \vec{p}_A}{\Delta t} = \frac{(\vec{p}'_B - \vec{p}_B) + (\vec{p}'_A - \vec{p}_A)}{\Delta t}$$

ni topamiz. Bu $\vec{p}'_B - \vec{p}_B + \vec{p}'_A - \vec{p}_A = 0$ yoki $\vec{p}'_A + \vec{p}'_B = \vec{p}_A + \vec{p}_B$ ni ifodalaydi. Umumiy impuls saqlandi.



To`qnashuvdan oldin

To`qnashuv vaqtida

To`qnashuvdan keyin

20-rasm.

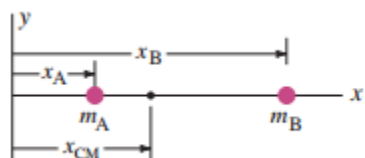
21-rasm.

Tashqi kuchlar ta`siri bo`lmaguncha, tanlangan sistemada impuls saqlanishi bajari-
ladi. Real hayotda tashqi kuchlar ta`siri hisobga olinadi: billiard sharlari ishqalani-
shi, tennis koptogiga gravitatsiya tasiri va boshqalar.

Miltiq kattaroq massaga ega bo`lganligi sababli, uning tezligi o`qnikiga qara-
ganda ancha kichik bo`ladi. Minus ishorasi miltiqning tezligini (va impulsi), X
o`qida o`qnikiga qarama-qarshi yo`nalishda ekanligini ifodalaydi.

Massa markazi (MM) Shu vaqtgacha alohida moddiy nuqtaning harakatini
ko`rib chiqdik. Jism (yani chiziqli o`lchamga ega bo`gan) harakatini tafsiflaganda
uni moddiy nuqta deb yoki u ilgariylanma harakatda ishtirok etyapti deb taxmin
qilgandik. Ammo real aylanma va boshqa harakatlarda ishtirok etishi mumkun.
Masalan 21 (a) rasmda g`avvos suvga sho`ng`ishda ilgariylanma harakatda ishtirok
etadi (tanasining hamma qisimlari har xil traektoriya boylab ko`chadi). 21 (b) rasm

bo'yicha u ilgarilanma va aylanma harakatlarda ishtirok etadi. Jism tebranishi mumkun bunda esa,uningqisimlari murakkab holda harakatlanadi.Ilgarilanma bo'lmagan harakatni umumiy harakat deb ataymiz.



Agar jism aylanayotgan bo'lsa,yoki bir-biriga nisbatan harakatlanayotgan jismlar sistemasi mavjud bo'sa, u holda jism (yoki jismlar guruhi) shunday nuqtaga ega bo'ladiki, o'sha natijaviy kuch tasirida modiy nuqta traektoriyasi bo'ylab harakatlangan bo'lardi.Bu nuqta massa markazi deb nomlanadi.Jisimning yoki jisimlarsistemasining umumiy harakatini ular MM.larining ilgarilanma harakatiyig'indisi va MM.iga nisbatan aylanma,tebranma yoki boshqa turdagi harakatning yig'indisi deb qarash mumkun.Misol tariqasida suvga sakrayotgan g'avvosning massa markazi harakatini korib chiqamiz (21-rasm). Agar g'avvos 21 (b)- rasmda ko'rsatilganday aylanayotgan bo'lsa, uning MM. parabola traektoriyasi boylab harakatlanadi. Bu og'irlik kuchi tasirida harakatlanayotgan snaryadning parabolik traektoriyasi kabidir (bu gorizontol otilgan jisimning harakati yoki ballistik harakat).Aylanayotgan g'avvosning boshqa qismlarining nuqtalari murakabroq traektoriya bilan harakatlanadi. MM. holatini hisoblaymiz . Har qanday jisimni mayda qismlar to'plami deb qarash mumkin. Avval massalari m_A va m_B bolgan ikkita qisimdan iborat bolgan sistemani ko'rib chiqamiz. Sanoq sistemani shunday tanlab olamizki, bu ikki qism X o'qida joylashgan bo'lsin, qismlar koordinatalari mos ravishda x_A va x_B . Sistemaning massa markazi vaziyati x_{MM} quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$x_{MM} = \frac{m_A \cdot x_A + m_B x_B}{m_A + m_B} = \frac{m_A \cdot x_A + m_B x_B}{M}$$

bu erda, $M=m_A+m_B$ sistemaning umumiy massasi. Massa markazi m_A va m_B qisimlarini tutashturuvchi to'g'ri chiziqda yotadi.Agar ikkisining massalari teng bo'lsa (m_A va $m_B=m$), x_{MM} ularni o'rtasida yotadi, u holda

$$x_{MM} = \frac{m(x_A + x_B)}{2m} = \frac{(x_A + x_B)}{2}$$

Agar birining massasi ikkinchisidan katt bo'lsa, massa markazi kattasiga yaqinroq bo'ladi. Agar bir to'g'ri chiziq bo'ylab ikkitadan ko'p jism qismlari yotgan bo'lsa qo'shimcha kiritiladi:

$$x_{MM} = \frac{m_A x_A + m_B x_B + m_C x_C + \dots}{m_A + m_B + m_C + \dots} = \frac{m_A x_A + m_B x_B + m_C x_C + \dots}{M}$$

bu yerda M barcha qismlarning umumiy massasi.

Ko'pchilik hollarda o'zaro ta'sirlashuvchi bir necha jismlar yig'indisining harakatini tekshirishga to'g'ri keladi. Shu sababli n ta o'zaro ta'sirlashuvchi moddiy nuqtalar to'plami uchun dinamika qonunlari qanday bo'lishligi bilan tanishaylik. Sistemani tashkil etgan ayrim moddiy nuqtalar uchun N'yuton qonunlarini qo'llab, harakat tenglamalarini tuzish va ularni birgalikda yechish juda ham murakkab, ba'zida ularni amalga oshirish mumkin emas. U holda «sistema harakatini butunlayicha ifodalash mumkinmi?» degan savol tug'iladi. Buning uchun yangi tushunchalardan foydalanish kerak bo'ladi. Bunday tushunchalarga inersiya markazi (massa markazi) va sistemaning massasi degan tushunchalar kiradi.

a) sistemaning massasi deb, sistemaga taalluqli alohida moddiy nuqtalar massalarini yig'indisi m_s ga aytiladi:

$$m_c = \sum_{i=1}^n m_i \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (93)$$

b) inersiya markazi deb shunday (faraziy) fazoning nuqtasiga aytiladiki, uning vaziyati koordinata boshiga nisbatan

$$\vec{R} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{m_c}, \quad (94)$$

radius-vektor bilan aniqlanadi. Inersiya markazi radius-vektorining birinchi tartibli hosilasi, massa markazining tezligiga teng bo'ladi:

$$\vec{V}_{M.M.} = \frac{d\vec{R}}{dt} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \frac{d\vec{r}_i}{dt}}{m_c} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{V}_i}{m_c}. \quad (95)$$

Demak, sistemaning impul'si

$$\vec{P}_c = m_c \cdot \vec{V}_{M.M.} \quad (96)$$

ga teng bo'ladi.

7. Nyutonning II qonuniga asosan, sistemaning to'la impul'sidan vaqt bo'yicha olingan hosila, shu sistemaga ta'sir etayotgan tashqi kuchlarning vektor yig'indisiga teng:

$$\frac{d\vec{P}_c}{dt} = m_c \frac{d\vec{V}_c}{dt} = m_c \vec{a}_c = \vec{F}_t \quad (97)$$

Bu yerda $\vec{a}_c$ - sistema inersiya markazining tezlanishi, $\vec{F}_t$ - sistemaga ta'sir etayotgan tashqi kuchlarning vektor yig'indisi. Sistema yopiq

$$\text{bo'lganda } \vec{F}_t = 0 \text{ bo'ladi. U holda: } \vec{a}_c = \frac{d\vec{V}_c}{dt} = 0. \quad (98)$$

Bundan $\vec{V}_c = \text{const}$ ekanligi kelib chiqadi. Bu xulosa inersiya markazining saqlanish qonunini ifodalaydi va quyidagicha ta'riflanadi: berk sistemaning inersiya markazi to'g'ri chiziqli tekis harakat qiladi yoki tinch holatda bo'ladi.

8. Inersiya markazi tushunchasi, sistema harakatini tavsiflashda ancha qulayliklarga egadir. $\vec{F}_t = m_c \frac{d\vec{V}_c}{dt}$ (99)

Ko'rinib turibdiki, bu formula shaklan bitta moddiy nuqtaning tashqi $\vec{F}_t$ kuch ta'sirida qilayotgan $\vec{F}_t = m \frac{d\vec{g}}{dt}$ harakatini ifodalovchi tenglamaga o'xshashdir.

Shuning uchun bu formula inersiya markazining harakat tenglamasini ifodalaydi va quyidagicha ta'riflanadi: sistemaning inersiya markazi tashqi kuchlar ta'sirida massasi sistema tarkibidagi barcha jismlarning massasiga teng bo'lgan moddiy nuqta kabi harakatlanadi. Bu xulosa inersiya markazining harakati haqidagi teorema deb ataladi.

Eslatma: inersiya markazi va og'irlik markazi degan tushunchalar bir xil emas. Og'irlik markazi - bir jinsli og'irlik kuchi maydonidagi qattiq jismlar

uchungina ma'noga ega. Inersiya markazi esa, hech qanday maydon bilan bog'liq emas va ixtiyoriy mexanik sistemalar uchun o'rinlidir.

Og'irlik kuchi maydonida joylashgan jismlar uchun, inersiya markazi va og'irlik markazi mos bo'lib, bitta nuqtada yotadi. Inersiya markazi massaning taqsimlanishini tasvirlovchi geometrik nuqta bo'lib, ba'zi hollarda jismdan tashqarida ham bo'lishi mumkin.

Nazorat uchun savollar

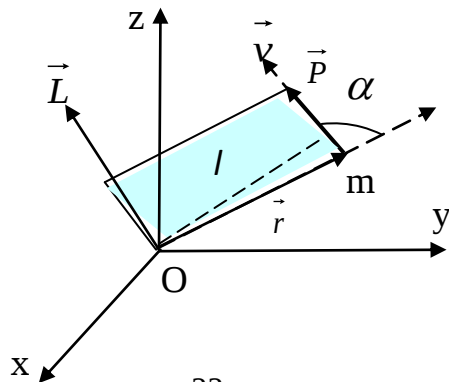
1. Konservativ va nokonservativ kuchlar qanday va ularning bajargan ishlari qanday bo'ladi?
2. Tashqi va ichki kuchlar nima? Nima uchun yopiq sistemada ichki kuchlarning yig'indisi nolga teng bo'ladi?
3. Impul'sning saqlanish qonunini ta'riflang, misol keltiring.
4. Reaktiv harakat va reaktiv kuch deb nimaga aytiladi?
5. O'zgaruvchan massali jismlarning harakatiga misollar keltiring.
6. Kosmik tezliklarni tushuntiring.
7. Sistemaning impul'si qanday?
8. Inersiya markazining saqlanish qonunini ifodasini yozing va ta'riflang.

Aylanma harakat dinamikasi

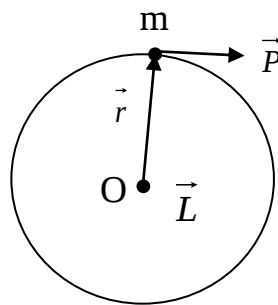
Impul's momentining saqlanish qonuni bilan tanishishdan oldin bu qonunni xarakterlovchi ba'zi tushunchalar va kattaliklar bilan tanishamiz. Biror inersial sanoq sistemasiga nisbatan harakatlanayotgan jismning tezligi $\vec{v}$, impul'si $\vec{P}$ va radius-vektori $\vec{r}$ bo'lsin (22-rasm).

Moddiy nuqtaning berilgan nuqtaga nisbatan impul's momenti deb, radius-vektorni impul's vektoriga vektor ko'paytmasiga aytiladi:

$$\vec{L} = [\vec{r} \cdot \vec{P}] \quad (100)$$



22 – rasm.



23 – rasm.

$\vec{L}$ vektor kattalik, uning yo`nalishi  $\vec{r}$  va  $\vec{P}$  vektorlar yotgan tekislikka doimo tik bo`ladi. Yo`nalishi parma qoidasi asosida aniqlanadi. Agar parma dastasini  $\vec{r}$  vektordan  $\vec{P}$  vektorga eng qisqa yo`l orqali o`tishdagi yo`nalish bo`yicha buralsa, parma uchining ilgarilanma harakati yo`nalishi $\vec{L}$ vektorning yo`nalishi bilan mos keladi. Impul`sning son qiymati $\vec{r}$ va $\vec{P}$ orqali chizilgan parallelogramm yuzasiga teng bo`ladi, ya`ni

$$L = rp \sin \alpha = lp = m\mathcal{I} \quad (101)$$

l – moddiy nuqta impul`sining O nuqtaga nisbatan elkasi.

L ning o`lchov birligi SI: $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$; SGS: $\text{g} \cdot \text{sm}^2/\text{s}$.

Moddiy nuqta radiusi $\vec{r}$ bo`lgan aylana bo`ylab o`zgarmas tezlik bilan harakatlanayotgan bo`lsa (23 – rasm), uning aylana markaziga nisbatan impul`s momentining son qiymati:

$$L = m\mathcal{I}r. \quad (102)$$

O nuqta orqali o`tuvchi ixtiyoriy  $Z$  o`qqa $\vec{L}$ ning proeksiyasi moddiy nuqtaning shu o`qqa nisbatan impul`s momenti deyiladi:

$$\vec{L}_z = [\vec{r}, \vec{P}]_z. \quad (103)$$

O`qqa nisbatan impul`s momenti skalyar kattalik bo`lib, nuqtaga nisbatan impul`s momenti esa vektor kattalikdir. Moddiy nuqtalar sistemasi uchun:

$$\vec{L} = \sum_{i=1}^n \vec{L}_i = \sum_{i=1}^n [\vec{r}_i, \vec{P}_i] = \sum_{i=1}^n [\vec{r}_i, m\vec{g}_i]. \quad (104)$$

Kuchning aylantiruvchi ta'sirini xarakterlash uchun kuch momenti tushunchasi kiritilgan. Berilgan O nuqtaga nisbatan kuch momenti deb, radius-vektorni kuch vektoriga vektor ko'paytmasiga aytiladi, ya'ni

$$\vec{M} = [\vec{r} \cdot \vec{F}]. \quad (105)$$

Kuch momentining son qiymati:

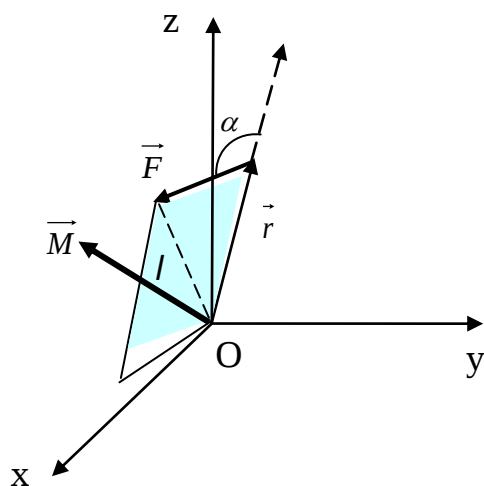
$$M = rF \sin \alpha. \quad (106)$$

Aylanish markazidan kuchning ta'sir yo'nalishiga tushirilgan perpendikulyarning uzunligiga kuch elkasi deyiladi.

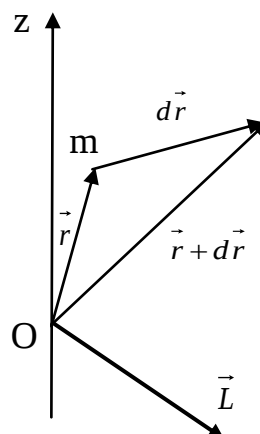
M ning o'lchov birligi SI: $N \cdot m$, SGS: $din \cdot sm$.

2. $\vec{L}$ vaqt o'tishi bilan o'zgarib turadi. Bu o'zgarishni tahlil qilish uchun $\vec{L} = [\vec{r} \cdot \vec{P}]$ ifodani vaqt bo'yicha differensiallaylik:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d}{dt} [\vec{r} \cdot \vec{P}] = \left[\frac{d\vec{r}}{dt} \cdot \vec{P} \right] + \left[\vec{r} \cdot \frac{d\vec{P}}{dt} \right]. \quad (107)$$



24 – rasm.



25 – rasm.

$\left[\frac{d\vec{r}}{dt} \cdot \vec{P} \right] = 0$ chunki $\frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{g}$ va $\vec{P}$ lar bir tomonga yo'nalgan. N'yutonning II qonuniga asosan va (105) ifodaga ko'ra

$$\left[\vec{r} \cdot \frac{d\vec{P}}{dt} \right] = [\vec{r} \cdot \vec{F}] = \vec{M} . \quad (108)$$

Demak,
$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M} . \quad (109)$$

(109) ifoda $\vec{L}$ bilan $\vec{M}$ ni orasidagi bog'lanishni ifodalab, moddiy nuqta uchun momentlar tenglamasi deyiladi.

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M} \text{ ifoda } \frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F} \text{ ga o'xshashdir.}$$

3. Agar moddiy nuqtaga ta'sir etuvchi barcha tashqi kuchlar teng ta'sir etuvchisining O nuqtaga nisbatan momenti nolga teng bo'lsa:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = 0 . \quad (110)$$

O'zgarmas kattalikning vaqt bo'yicha hosilasini nolga teng ekanligini nazarda tutsak (110) dan

$$\vec{L} = \text{const} \quad (111)$$

ekanligi kelib chiqadi. Bunday natija moddiy nuqta impul's momentining saqlanish qonunini ifodalaydi. Moddiy nuqtaning impul's momenti ixtiyoriy O nuqtadan o'tayotgan biror o'qqa nisbatan aniqlanayotgan bo'lsa, u

$$\frac{dL_z}{dt} = M_z \text{ ga teng bo'ladi.} \quad (112)$$

L_z va M_z lar $\vec{L}$ va $\vec{M}$ vektorlarning mos ravishda Z o'qqa tushirilgan proeksiyalaridir. O'qqa nisbatan impul's momenti skalyar kattalik bo'lib, nuqtaga nisbatan vektor kattalikdir. Moddiy nuqtalar sistemasi uchun biror O nuqtaga nisbatan

$$\frac{d}{dt} \sum_i \vec{L}_i = \sum_i \vec{M}_i , \quad (113)$$

biror Z o'qqa nisbatan

$$\frac{d}{dt} \sum_i L_{iz} = \sum_i M_{iz} . \quad (114)$$

Agar moddiy nuqtalar sistemasi berk bo'lsa:

$$\sum_i \vec{L}_i = \text{const} . \quad (115)$$

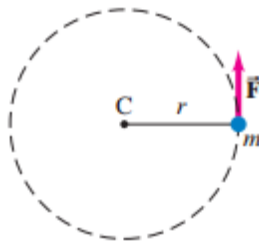
Inersiya momenti. Jism aylanishining burchak tezlanishi α va aylantirish uchun ta'sir qiladigan kuch momenti τ ga proporsionaldir

$$\alpha \propto \sum \tau$$

Yozilgan ifodadagi $\sum \tau$ to'la kuch momenti (obyekt ustidagi harakatning barcha kuch momentlari yig'indisi) α ga proporsional. O'zgaruvchan harakat uchun Nyutonning 2-qonuni muvofiqdir. $\alpha \propto \sum \tau$ o'zgaruvchan harakatda tezlanish nafaqat sof kuchga, balki jismoniy inersiyasi ya'ni massasiga teskari proporsional. Buni $a = \sum F / m$ ko'rinishida yozish mumkin. Aylanma harakatda massa qanday rol o'ynaydi? Nyutonning 2-qonunini quyidagicha yozish mumkin:

$$\sum F = ma$$

Biz avval eng sodda harakatni tatbiq qilamiz: massa m jismni arqon yoki sterjen(massalari hisobga olmagan holda)uchiga biriktirib 2 radiusli aylana bo'ylab aylantiramiz.(26- rasm)



26- rasm.

F kuch ta'sirida m massasi jism aylanaga urinma harakatga keladi. Kuch momenti aylanma harakatda $\tau = rF$ ga teng bo'ladi. Agar Nyutonning 2-qonunining son qiymati $\sum F = ma$ ga va aylanma harakatda chiziqli tangensial tezlanish $a_{\text{tan}} = r \cdot \alpha$ ga teng bo'lsa, biz $F = ma = mr\alpha$ ga ega bo'lamiz.

Biz ikkala tomonni r ga ko'paytirsak kuch momentiga ega bo'lamiz

$$\tau = rF = r(mr\alpha) \quad \text{Yoki} \quad \tau = mr^2\alpha \quad (116)$$

bu yerda burchakli tezlanish va aylantiruvchi moment o'tganda to'g'ri munosabat vujudga keladi. mr^2 ning son qiymati aylantiruvchi momentning bir qismi bo'lib inertsia momentini beradi. Hozir markazdan aylanish o'qiga ega bo'lgan aylanma harakatga kelayotgan qattiq jismni ko'rib chiqamiz. Bu g'ildirakni har xil nuqtalarda aylanma harakat qilayotgan mayda bo'lakchalardan iborat deb faraz qilaylik. Biz (116) ifodani barcha bo'lakchalar uchun qo'llab jami yig'indisini hisoblaymiz.

Har bir bo'lakchani sof aylantiruvchi momentlari yig'indisi $\sum \tau$ ni quyidagicha topamiz:

$$\sum \tau = (\sum mr^2)\alpha \quad (117)$$

Bu yerda α qattiq jismning barcha qismlari uchun o'rinli. $\sum mr^2$ yig'indi jism bo'laklarining massalari yig'indisi va ulardan aylanish o'qigacha bo'lgan masofaning kvadratiga mutanosib. Agar har bir bo'lakchani raqamlasak (1,2,3,...) u holda $\sum mr^2 = m_1r_1^2 + m_2r_2^2 + m_3r_3^2 + \dots$ munosabat o'rinli.

Bu yig'indi jism inertsia moment (yoki aylanish inertsiasini) I ni beradi.

$$I = \sum mr^2 = m_1r_1^2 + m_2r_2^2 + \dots \quad (118)$$

(117 va (118) ifodalarni bog'lasak

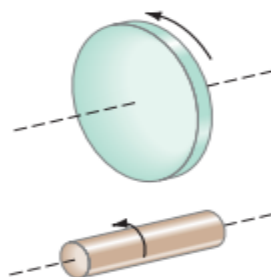
$$\sum \tau = I\alpha \quad \text{ga ega bo'lamiz} \quad (119)$$

Bu Nyutonning 2 – qonuni ekvivalentidir.

U qattiq jismning o'rnatilgan o'q atrofida aylanish kuchini saqlaydi. [shuningdek jism tezlanishi o'zgaruvchan bo'lganda, bundan tashqari I va α lar massa markazidan hisoblaganda va DS aylanish o'qi o'zgarmaganda, ta'sir kuchi o'zgarmaydi. Qiyalikdan dumalab tushayotgan shar bunga misol]

Biz ko'rayotgan inertsia moment I jismiy aylanmainertsiasini o'lchovi bo'lib, aylanma harakatda asosiy ro'l o'ynaydi. (118) ifodada aylanma inertsia bir jinsli jism massasiga bog'liqligi ko'rsatilgan. Masalan, massalari teng bo'lgan kat-

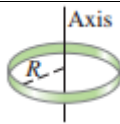
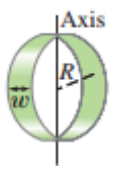
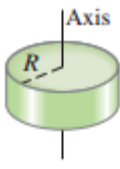
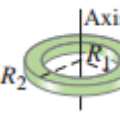
ta diametrli silindrning aylanuvchi momenti kichik diametrli silindrnikidan katta (27- rasm)

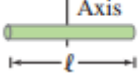
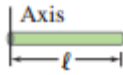
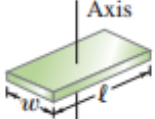


27- rasm.

27-rasm massalari teng boʻlgan ,katta diametrli silindrning moment, kichik diametrli silindrnikidan katta. Qachonki jism massasi aylanish oʻqidan uzoqroqda joylashgan boʻlsa, aylantiruvchi moment katta boʻladi. Aylanma harakatda jism massa markazi massaga bogʻliq boʻlmagan holda joylashadi.

1-jadval. Massasi M boʻlgan jismlarning inersiya momentlari

Jism	Aylanish oʻqi		Inersiya momenti
a) Ingichka aylana radiusi R	Markazda joylashgan		MR^2
b) qalinligi ω radiusi R boʻlgan aylana	Diametr markazida joylashgan		$\frac{1}{2}MR^2 + \frac{1}{12}M\omega^2$
c) Radius R boʻlgan silindir	Markazda		$\frac{1}{2}MR^2$
d) Kovak silindir ichki radiusi R_1 tashqi radius R_2	Markazda		$\frac{1}{2}M(R_1^2 + R_2^2)$

e) Sfera Radiusi R	Markazda		$\frac{1}{5}MR^2$
f) Uzun sterjen uzunligi ℓ	Markazda		$\frac{1}{12}M\ell^2$
g) Uzunligi ℓ bo'lgan sterjen	Sterjen oxirida		$\frac{1}{3}M\ell^2$
h) To'g'ri to'rtburchakli plastinka uzunligi R qalinligi ω	Markazda		$\frac{1}{12}M(\ell^2 + \omega^2)$

Ko'pgina sodda jismlar (bir jinsli) uchun inersiya momenti Δmr^2 formula orqali hisoblanadi. Har bir katta kichik aylanuvchi jismlar uchun inersiya momentlari alohida hisoblanadi.

(27- rasmdagi) Shakldagi har bir shakl ya'ni qattiq jismlar o'ziga xos o'q atrofida aylanadi. Bulardan biri aylana yoki aylana halqa aylana tekisligiga perpendikulyar o'q atrofida aylanadi. (1-jadval). Aylanada hamma massa aylanish o'qidan bir xil R masofada to'planadi. Aylananing jami massasi M bo'lib, $\sum mr^2 = (\sum mr^2)R^2 = MR^2$ o'rinli. 1-jadvalda barcha jismlarning tashqi radiusi R ga teng((d)shaklda ichki radius mavjud).

Hisoblashda qiyinchilik bo'lganda Nyutonning 2 –qonuniga muvofiq barcha tezlanish α va kuch momenti $\sum \tau$ ni bilgan holda quyidagiga ega bo'lamiz

$$I = \sum \tau / \alpha$$

6. Yuqorida keltirilgan ifodaga inersiya momentini qo'ysak va $\vec{\Delta F}_i \cdot \vec{r}_i = \Delta M_i$ ekanligini e'tiborga olsak: $M = I \cdot \varepsilon$

$$M = I \cdot \varepsilon \quad (120)$$

Bu ifoda aylanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasi bo'lib, quyidagicha ta'riflanadi: jismga qo'yilgan aylantiruvchi kuchning momenti jismning inersiya momenti bilan burchak tezlanishini ko'paytmasiga teng.



miqdor oldinga intilayotgan jismning kinetik energiyasidir. O'q atrofi-da aylanayotgan jism **aylanma kinetik energiyaga** ega xisoblanadi. Oldinga intiluvchi (ilgarilama) kinetik energiya bilan o'xshashlik orqali biz $\frac{1}{2} I \omega^2$, I jism harakatsizligining impulsi va ω burchakli tezlik, ifoda orqali berilishini kuzatishimiz mumkin. Biz bu haqiqatdan ham to'g'ri ekanligini ko'rsatishimiz mumkin.

Qat'iy aylanayotgan jism ko'plab mayda, har biri m massali, zarralardan tashkil topgan deb hisoblaylik. Agar biz r orqali bitta zarraning aylanish o'qigacha bo'lgan masofasini ifodalasak, bu holda uning chiziqli tezligi $v = r\omega$. Butun jismning umumiy kinetik energiyasi barcha zarralarning kinetik energiyasining yig'indisiga teng:

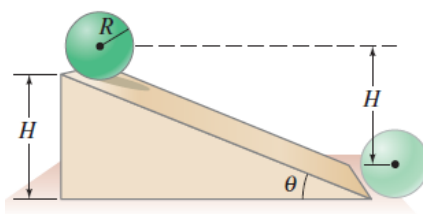
$KE = \sum \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = \sum \left(\frac{1}{2} m r^2 \omega^2 \right) = \frac{1}{2} \left(\sum m r^2 \right) \omega^2$. Biz $\frac{1}{2}$ va ω^2 agar qat'iy jismda zarralar bir xil bo'lgan xolda. $\sum m r^2 = I$ bo'lganda, xarakatsiz xolatda, qat'iy aylanayotgan jism kinetic energiyasi.

$$\text{Harakatsiz KE} = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (121)$$

ekanligini ko'rishimiz mumkin. Energiyaning boshqa turlari bilan kabi miqdorlar joulida. Jism markaziy massasi (CM) ilgarilama xarakatlangan xolatda, u ilgarilama va aylanma kinetik energiya bilan harakat qiladi. (121) tenglik agar aylana o'q belgilangan bo'lsa aylanma kinetik energiyani beradi. G'ildirak tog'ga chiqayotgani kabi jism harakatlansa, bu tenglik kuchga ega bo'ladi, chunki aylana o'q yo'nalishda aniqlanadi. Bu holda umumiy kinetik energiya:

$$KE = \frac{1}{2} M v_{CM}^2 + \frac{1}{2} I_{CM} \omega^2 \quad (122)$$

v_{CM} massa markazining chiziqli tezligi, I_{CM} o'q bo'ylan markaziy massaning inertsia moment, ω o'q bo'ylab burchak tezlik, va M jismning umumiy massasi. Sharning qiya tekislikdagi harakati. M massa va R radiusga ega bo'lgan qattiq sharning tezligi qanday bo'ladi, agar u tinch holatdan o'z harakatini H balandlikda boshlasa va qiyalikning eng pastki nuqtasiga sirg'alishsiz tushsa? 28-rasmga qarang. (yetarlich o'zgarmas ishqalanish tahmin qilamiz, demak sirg'alish kuzatilmaydi: biz qisqacha o'zgarmas sirg'alish kuzatilmasligini ko'ramiz) o'z natijangizni ishqalanishsiz qiyalikdan jism sirg'alib tushuvchi jism bilan solishtiring.



28 - rasm.

Nazorat uchun savollar

1. Kuch momenti va impul's momentini izohlang.
2. Momentlar tenglamasini yozing va izohlang.
3. Impul's momentining saqlanish qonunini izohlang.
4. Inersiya momenti deb nimaga aytiladi?
5. Shteyner teoremasini izohlang.
6. Aylanma harakat dinamikasining asosiy qonuni.

Deformatsiya turlari va Guk qonuni

Kuch ta'sirida jismning hajmini yoki shaklini o'zgarishiga deformatsiya deyiladi. Deformatsiya 2 xil bo'ladi:

1) Elastik deformatsiya. Qattiq jismlarga ta'sir etuvchi tashqi kuch olingandan keyin, jism oldingi shakliga qaytsa, elastik deformatsiya deyiladi.

2) Noelastik deformatsiya. Qattiq jismlarga ta'sir etuvchi tashqi kuch olingandan keyin, jism oldingi shakliga tiklamasa noelastik deformatsiya deyiladi.

3) Siqilish va cho'zilish deformatsiyasi

Tajribalar berilgan materialdan yasalgan Sterjenlar uchun elastik deformatsiya vaqtidanisbiy uzayish sterjen ko'ndalang kesim yuziga to'g'ri keluvchi kuchga proporsional ekanligini ko'rsatdi.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \alpha \left(\frac{F}{S} \right) \quad (123)$$

bu yerda α —elastiklik koeffitsiyenti.

Kuchning shu kuch ta'sir etayotgan sirtning yuzasiga nisbati kuchlanish deyiladi.

Agar kuch sirtga o'tkazilgan normal bilan bir xil yo'nalishga ega bo'lsa, normal kuchlanish va urinma bilan bir xil yo'nalishga ega bo'lsa, tangensial kuchlanish deyiladi.

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (124)$$

(124) ni (123) ga qo'ysak:

$$\varepsilon = \alpha \cdot \sigma \quad (125)$$

Elastiklik koeffitsiyentiga teskari bo'lgan kattalik Yung moduli deyiladi:

$$E = 1 / \alpha \quad (126)$$

$$\varepsilon = \sigma / E \quad (127)$$

Yung moduli shunday normal kuchlanishga tengki, uning ta'sirida materialning nisbiy uzayishi birga teng bo'lar edi.

$$F = \frac{ES}{l} \Delta l = K \Delta l \quad (128)$$

k – berilgan sterjen uchun o'zgarmas kattalik.

(128) Ifoda Guk qonunini ifodalaydi.

Deformatsiya paytida sterjenning uzayishi sterjenga ta'sir etuvchi kuchga proporsional bo'ladi.

Nazorat uchun savollar

1. Urilish deb nimaga aytiladi? Urilish jarayonini tahlil qilish nima uchun murakkab hisoblanadi?
2. Urilish chizig'i deb nimaga aytiladi? Markaziy va nomarkaziy urilishlar?
3. Urilishning mohiyati va eng farqli xususiyati nimadan iborat?
4. Tiklanish koeffitsientini izohlab bering.
5. Absolyut elastik va absolyut noelastik urilishlarning asosiy xususiyatlarini izohlang.

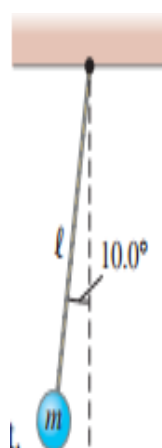
Tebranishlar va to'lqinlar. Garmonik tebranma harakat

Tebranma harakat tabiatda va texnikada ko'p uchraydi. Masalan, osma soat tebranishi, musiqa asbablarning torlari; va daraxt shoxlarining harakati –tebranma harakatdir.

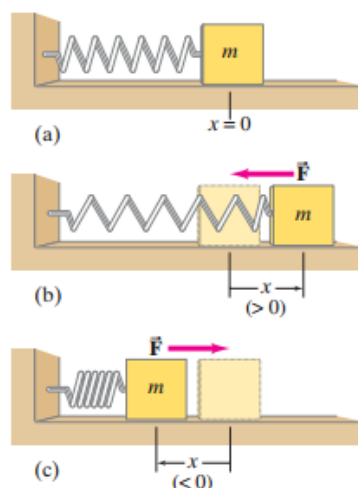
Tebranish yoki tebranma harakat deb, jismlarning muvozanat vaziyati atrofida to'g'ri chiziq yoki yoy bo'ylab goh bir tomonga, goh ikkinchi tomonga siljigandagi harakatiga aytiladi. Tebranishlarning takrorlanishi ya'ni ularning davriyligi tebranishlarning eng asosiy alomatidir. Tebranishlar erkin va majburiy bo'ladi. Tashqi kuchning ta'sirisiz (ichki kuchlar ta'sirida) vujudga keladigan tebranishlarga erkin tebranishlar deyiladi. Tashqi davriy kuchlar ta'sirida vujudga keladigan tebranishlarga majburiy tebranishlar deyiladi. Yana bir turiga avtotebranishlar deyiladi. Avtotebranishda, tashqi kuchning ta'siri sistemaning o'zini vositasida amalga oshiriladi. Osmo soat mayatnigining tebranishi avtotebranishdir. Tebranma jarayonlarning fizik tabiati va murakkablik darajasi jihatidan turlicha bo'lishga qaramay, ularning hammasi umumiy qonuniyatlar asosida ro'y beradi va garmonik tebranishlarga keltirilishi mumkindir. Garmonika so'zi grekcha «garmonikos»-kelishgan, xushbichim ma'nosini beradi.

Fizikaviy kattaliklarning vaqt o'tishi bilan sinus va kosinus qonuniga muvofiq davriy o'zgarishlariga garmonik tebranishlar deyiladi. Aksinchasiga esa nogarmonik tebranishlar deb ataladi. Garmonik tebranishlar tebranma harakatlar ichida eng muhimi bo'lishi bilan birga eng oddiysi hamdir.

Agar jism tebranayotgan yoki orqaga va oldinga bir yo'ldan harakat qilayotgan bo'lsa va har bir tebranish shu vaqt oralig'ida sodir bo'lsa – bu harakat davriy deb ataladi.

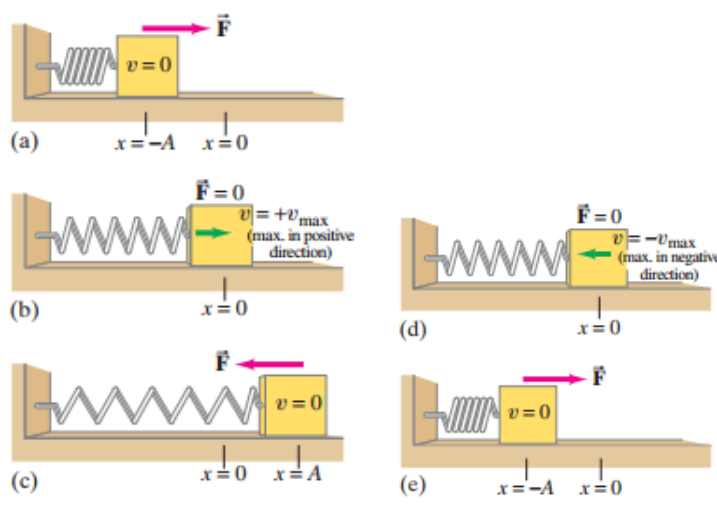


29-rasm



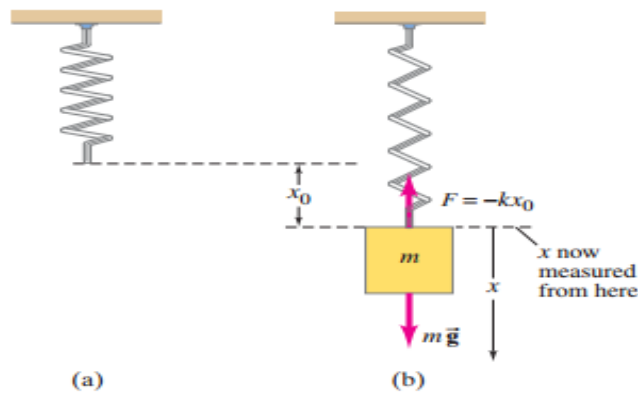
30-rasm

Davriy harakatning oddiy shakli - bu prujina uchidagi bir obyekt tebranishi tomonidan taqdim etiladi. Bu tizim tebranishni boshqa ko'plab turlari bilan chambarchas o'xshaydi, biz buni batafsil korib chiqamiz.



31-rasm

31a-rasmdagi prujina massasini xisobga olmagan xolda va u prujina gorizantal xolda joylashgan, shunday qilib m massaga ega bo'lgan jism - yuza ustida ishqalanishsiz xarakatlanmoqda. Har qanday prujina bir tabiiy uzunligi mavjudki bu uzunlikda u m massali jismga prujina tasir otkazmaydi va bu muvozanat holati deb ataladi. Agar massa chap tomonga xarakat qilsa bu prujinani siqilishiga olib keladi, yoki o'ng tomonga xarakat qilsa bu prujinani cho'zilishiga olib keladi. M massali jismga prujina o'z kuchli tasirini korsatadi, va bu tasir yonalishi m massali jismni muvozanat holatiga qaytaradi, shu sababli, bu kuch qaytarilish kuchi deb nomlangan.



32-rasm

Prujina erkin holatda vertikal osilgan $F = 0 = mg - kx_0$ bo'lganda yangi muvozanat vaziyatida prujinaga m massali jism osilgandan so'ng niam sodir bo'lishi x hozirda bu chiziqdan o'lchangan. Qachonki biz umumiy vaziyatda qaytalanish kuchi F x siljishga tog'ri proporsional xolda deb hisoblaymiz. Biz umumiy vaziyatni taxmin qilishimiz mumkin, qaytaruvchi kuch F muvozanat joydan qisiladi joy o'zgartirish x (31b-rasm) yoki siqilgan (31c rasm) to'g'ri proporsional bo'ladi va u

$$F = -kx \quad (129)$$

teng bo'ladi.

Guk qonuni nafaqat prujina uchun balki boshqa qattiq jismlar uchun ham ishlatiw mumkun, faqat deformatsiya koefitsienti kichik bolsagina. Prujinaning qattiqlik koefisienti bu k (N/m) dir.

Prujina x uzunlikga chozilishi uchun tashqi kuch prujina uchidagi jismga eng kamida $F_{\text{ext}} = +kx$ (prujinaga tasir otkazayotgan tashqi kuch) (130)

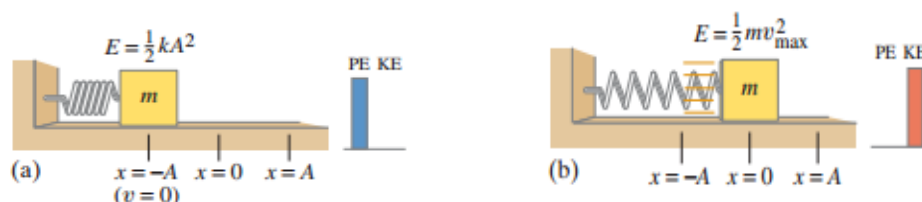
kuch bilan tasir otkazishi kerak, k ning qiymati qanchali darajada katta bo'lsa, prujinaning chozilishi uchun shunchalik kop kuch talab etiladi. Prujina qancha katta bo'lsa uning qattiqligi k shuncha kop boladi. (**E'tibor qarating**) (129) formulasidagi F kuch doimiy emas, balki holatiga qarab o'zgaradi. Shuning uchun ommaviy m uchun jadallashtirish doimiy emas, shuning uchun biz 2 bobda ishlab chiqilgan doimiy jadallashtirish tenglamalaridan foydalana olmaymiz. Misol. Geolog olim foydalanayotgan oddiy mayatnik uzunligi 37.10 sm va chastotasi 0.8190 G yerning bir aniq nuqtasidagi G yer tortish kuchini olchashga yordam beradi. Quyidagi berilgan tenglamani yechib biz g ni qiymatini belgilab olamiz - $g = ((2\pi F)^2 = (2\pi)^2 (0.8190^{-1})^2 (0.3710\text{m}) = 9.824\text{m/s}^2$

Tebranishlar energiyasi. Oldingi misollarda korib chiqilgan, oddiy prujina chozilishi yoki siqilishi xolatini energetik tomondan ifodalab berish judayam qulay. Chunki prujina oz muvozanat xolatidan chiqarilgan bolsa u oz ichida potentsial energiyaga ega bolib turadi.

$$PE = \frac{1}{2} kx^2.$$

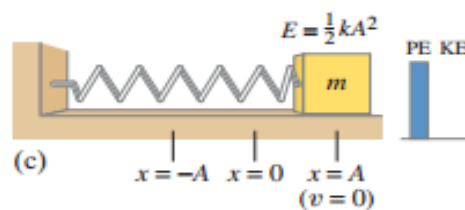
va jami energiya bu kinetik xamda potentsial energiyalar summasidir,

$$E = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} kx^2,$$



33-rasm.

Ishqalanish arziyas bo'lsa SGT sodir bo'lishi mumkin. Umumiy mexanik energiya E prujina xar bir xolatida oz energetik qiymatlariga ega bolib turadi. Energiya uzluksiz qayta-qayta kinetik energiyadan potentsial energiyaga o'zgarib turadi va bu xol har bir sikl takrorlana veradi (7-5-rasm).



Bu ekstremal qismlarda (prujina xarakat yonalishini ozgartirgan nuqtalar) toliq mexanik energiya amplituda kvadratiga teng boladi, muvozanat xolatida esa toliq mexanik energiya Kinetik energiyaga teng boladi.

Sodda garmonik ossiyalltor tebranishlarining davri prujinaning bikrligiga, shuningdek m massasiga bog`liq ekan. Biroq, ajablanarlisi shundaki, amplitudaga bog`liq emas. Buni soat taqib, kichik amplituda bilan, so`ngra katta amplituda bilan tebranayotgan prujinaning 10 yoki 20 siklini tekshirib ishonch hosil qilishingiz mumkin.

Davr quyidagi tenglama bilan beriladi:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (131)$$

Ko`rib turibmizki, massa qancha katta bo`lsa, davr shuncha katta ekan; va qattiqroq prujinalarda (k kattaroq) davr shuncha kichik ekan. Bu ma`noga ega, chunki massa qancha katta bo`lsa, jismlar shuncha inertroq, va demak, reaksiya sekinroq (tezlanish kichikroq) bo`ladi. Va  $k$  ning kattaligi kuchning kattaligini bildiradi va, demak, tezroq reaksiya (kattaroq tezlanish) beriladi. (131) tenglama to`g`ri proporsional emasligini ko`rsatadi: davr $\frac{m}{k}$ dan kvadrat ildiz kabi o`zgaradi.

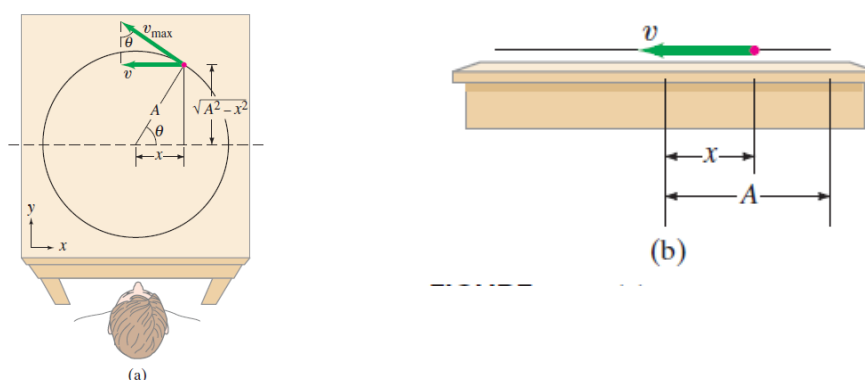
Masalan, davrni ikki marta orttirish uchun massa to`rt marta katta bo`lishi kerak. (131) tenglama eksperiment bilan to`la mos keladi va nafaqat prujina uchun, balki sodda garmonik harakatning barcha turlari, ya`ni siljishga proporsional qaytaruvchi kuch ta`sirid harakatlanuvchi sub`ektlar uchun o`rinlidir (130 tenglama).

Biz $f = \frac{1}{T}$ tenglamadan foydalanib chastotani quyidagicha yozishimiz

mumkin:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \quad (132)$$

Biz tekis aylanma harakat qilayotgan ob`ektga nisbatan sodda garmonik harakat davri uchun formulani keltirib chiqarishimiz mumkin. Xuddi shu “tayanch doirasi”dan ikkinchi foydali natijani – tebranayotgan massa holatining vaqtga bog`liqlik formulasini olishimiz mumkin. Chiziqli tebranayotgan prujinada hech narsa aylanma harakat qilmaydi, biroq biz bunday matematik o`xshashlikni foydali deb bilamiz. 34-rasmda ko`rsatilgandek m massali kichik ob`ekt  $a$  radiusli aylana bo`ylab soat strelkasiga qarshi o`zgarmas tezlik bilan qilayotgan harakatini qarab chiqamiz. Agar yuqoridan qaralsa, harakat  $xy$  tekislikda aylanadan iboratligi ko`rinadi. Biroq harakatni stol chekkasidan kuzatuvchi oldinga va orqaga tebranma harakatni ko`radi, va bu bir o`lchovli harakat sodda garmonik harakatga aniq mos keladi.



34-rasm.

Kuzatuvchi ko`rgan narsa aylanma harakatning  $x$  o`qiga proeksiyasidir (34b-rasm). Bu harakatni ko`rish uchun SGT ga o`xshab, $\vartheta_{\max}$ tezlikning 34a-rasmda ϑ bilan belgilangan x tashkil etuvchisini hisoblab topamiz. 34a-rasmdagi ikkita uchburchak o`xshash bo`lib,

$$\frac{\vartheta}{\vartheta_{\max}} = \frac{\sqrt{A^2 - x^2}}{A}$$

yoki

$$\vartheta = \vartheta_{\max} \sqrt{1 - \frac{x^2}{A^2}}$$

Bu tenglamada ko'rganimizdek, m massali tebranuvchi jismning tezligi tenglamasidir. Shunday qilib, aylanma harakat qilayotgan ob'ekt harakatining x o'qiga proeksiyasi sodda garmonik tebranayotgan m massali ob'ektning harakati kabidir.

Endi biz SGT davrini aniqlashimiz mumkin, sunki u aylanma harakat qilayotgan ob'ektimizning bitta to'liq aylanish uchun sarflaydigan vaqtiga teng. Avvalo, tezlik $g_{\max}$ aylananing uzunligini (masofani) T davrga bo'lganimizga teng:

$$g_{\max} = \frac{2\pi A}{T} = 2\pi A f .$$

Bu tenglamani masofa A nuqtai nazaridan T ga nisbatan echamiz:

$$T = \frac{2\pi A}{g_{\max}}$$

Shunday qilib $A/g_{\max} = \sqrt{m/k}$. Demak,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

(131) formula biz izlagan formula ekan. Davr A amplitudaga emas, balki prujinaning m massasiga va k bikrligiga bog'liq ekan.

Endi sodda garmonik harakat qilayotgan m massali jismning holatini vaqt funksiyasi sifatida topish uchun tayanch doirasidan foydalaniladi. 34-rasmdan ob'ekt holatining x o'qiga proeksiyasi

$$x = A \cos \omega$$

ekanligini ko'ramiz. Massa tayanch doirasida (11-7-rasm) ω o'zgarmas burchak tezlik bilan aylanadi. Bundan $\Theta = \omega t$ deb yoza olamiz, bu erda Θ - radianlarda o'lchanadi. Shunday qilib,

$$x = A \cos \omega t . \quad (133)$$

Bundan tashqari burchak tezlanishni (radian/sekundlarda) $\omega = 2\pi f$ ko'rinishda yozishimiz mumkin, bu erda f - chastota, bundan

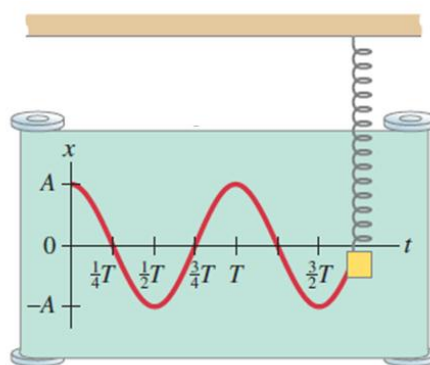
$$x = A \cos(2\pi f t) \quad (134)$$

deb yoza olamiz yoki davr T nuqtai nazaridan

$$x = A \cos \frac{2\pi t}{T} \quad (135)$$

(135) tenglamada $t = T$ bo'lganda (bir davrga teng vaqt o'tgandan so'ng) biz $\cos 2\pi$ (yoki $\cos 360$), yoki $\cos 0$ bilan ish ko'ramiz. Bu harakat biror $t = T$ vaqtdan keyin takrorlanishini bildiradi.

Kosinus funksiyasi 1 dan -1 gacha oraliqda o'zgarishi sababli (133) tenglamalar $x = A$ bilan $-A$ oralig'ida o'zgarishini, aslida ham shunday bo'lishi kerakligini bildiradi. 34-rasmda ko'rsatilgandek ruchka vibratsiyalanayotgan jismga biriktirib qo'yilsa, va uning tagidagi qog'oz o'zgarmas tezlik bilan siljitilsa, sinusoidal egri chiziq chiziladi.



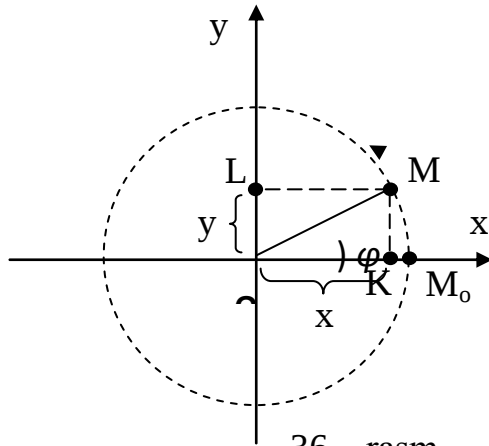
35-rasm.

$$x = A \cos(2\pi t / T)$$

$x = A \cos \omega t$ qonun bilan tebranayotgan ob'ekt tebranma harakat tinch holatdan $\vartheta = 0$ boshlanishini va uning maksimal siljishi ($x = A$) $t = 0$ ga mos kelishini bildiradi. SGT larning boshqa tenglamalari ham boshlang'ich shartlarga bog'liq ravishda ($t = 0$) shunday bo'lishi mumkin.

3. Garmonik tebranishlarning asosiy qonuniyatlari va harakteristikalari bilan moddiy nuqtaning aylana bo'ylab tekis harakati misolida tanishish oson va tushunarlidir. M - moddiy nuqta A - radi-usli aylana bo'ylab soat strelkasi harakati yo'nalishiga teskari yo'nalishda o'zgarmas ω - burchak tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsin.

Agar $t=0$ da, M nuqta M_0 vaziyatda bo'lsa, biror t vaqtdan so'ng, u aylana yoyi bo'ylab harakatlanib $\varphi = \omega t$ burchakka siljiydi. M nuqta X va Y o'qlardagi proeksiyalarini mos holda K va L deb belgilasak, M nuqtaning aylana bo'ylab tekis harakati davomida bu nuqtalar X va Y o'qlari bo'ylab $+A$ va $-A$ oralig'ida davriy ravishda O nuqta atrofida siljiydi. K va L nuqtalarning t ga bog'liq holda siljishi 36-rasmga ko'ra quyidagicha bo'ladi:



36 – rasm.

$$OK=x=A\cos\varphi=A\cos\omega t \quad (136)$$

$$OL=y=A\cos\varphi=A\cos\omega t \quad (137)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu \quad \text{ekanligidan}$$

$$x = A\cos\frac{2\pi}{T}t = A\cos 2\pi\nu t, \quad (138)$$

$$y = A\cos\frac{2\pi}{T}t = A\cos 2\pi\nu t. \quad (139)$$

Agarda, $t=0$ paytda M nuqta muvozanat vaziyatda ya'ni M_0 nuqtada bo'lmasa:

$$x = A\cos(\varphi + \varphi_0) = A\cos(\omega t + \varphi_0), \quad (140)$$

$$y = A\cos(\varphi + \varphi_0) = A\cos(\omega t + \varphi_0). \quad (141)$$

Yuqorida keltirilgan ifodalar, garmonik tebranishlarning kinematik tenglamalarining turli ko'rinishlaridir. x , A , ω , T , ν , φ , va φ_0 larga garmonik tebranishlarning kinematik parametrlari deyiladi.

x -siljish, A -amplituda, ω -siklik (doiraviy) chastota; T -tebranish davri, ν -tebranish chastotasi, φ -tebranish fazasi, φ_0 -boshlang'ich faza.

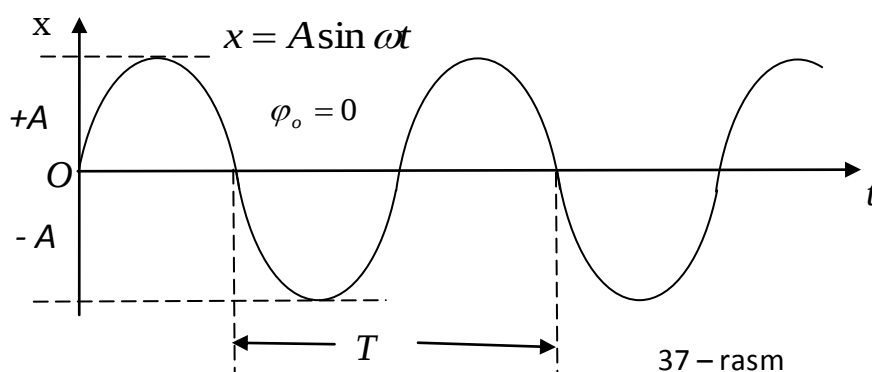
Tebranishi kuzatilayotgan jismning muayyan paytdagi siljishi va uning harakat yoʻnalishi yaʼni tebranuvchi jismni (sistemani) holatini, tebranish fazasi toʻliq belgilaydi, bu fazaning fizik maʼnosidir. Haqiqatdan ham, masalan

$$\varphi = \omega t + \varphi_0 = \frac{\pi}{6} \quad \text{boʻlsa,} \quad x = \frac{A}{2} \quad \text{ga,}$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} \quad \text{boʻlsa,} \quad x = A \quad \text{ga,} \quad \varphi = \pi \quad \text{boʻlsa,} \quad x = 0 \quad \text{ga} \quad \varphi = \frac{3\pi}{2} \quad \text{boʻlsa,} \quad x = -A \quad \text{ga va shunga}$$

oʻxshash boʻladi.

Garmonik tebranishlarning grafiklari quyidagicha boʻladi (9.2-rasm).



37 – rasm

4. Garmonik tebranishlar koʻpincha chizma ravishda amplituda-vektor usuli bilan tasvirlanadi va bu usul vektor-diagramma usuli deb ataladi. Bu usulning mohiyati quyidagidan iborat: X oʻqidagi ixtiyoriy O nuqtadan uzunligi tebranish amplitudasining son qiymatiga teng boʻlgan A vektorni shunday joylashtiriladiki, bu vektor OX oʻqi bilan tebranishning boshlangʻich fazasi α ga teng boʻlgan burchak hosil qilinadi. Agar A ni O nuqta atrofida soat miliga teskari yoʻnalishda ω_0 burchak tezlik bilan aylantirilsa, A ning X oʻqidagi proeksiyasi $+A$ va $-A$ orasida oʻzgaradi. (37-rasm).

Rasmdan koʻrinishicha t vaqtdan soʻng uning X oʻqidagi proeksiyasi $x = A \cos(\omega_0 t + \alpha)$ boʻladi. Shunday qilib ω_0 chastota bilan sodir boʻlayotgan garmonik tebranishni X oʻqidagi, ixtiyoriy nuqta atrofida, ω_0 burchak tezlik bilan aylanuvchi A ning shu oʻqdagi proeksiyaning vaqt boʻyicha oʻzgarishi tarzida tas-

virlash mumkin ekan: bunda $t=0$ paytdagi A ning X o`qi bilan hosil qilgan burchagi  $\alpha$  tebranishining boshlang`ich fazasini ifodalaydi.

5. Moddiy nuqta bir vaqtning o`zida ikki va undan ortiq tebranishlarda qatnashishi mumkin. Masalan, harakatdagi vagon shipiga osilgan prujinali mayatnikning tebranishi bunga misol bo`la oladi. Tebrangich o`zining xususiy tebranishidan tashqari vagon bilan birgalikda tebranma harakatda ishtirok etadi. Faraz qilaylik, yo`nalishi va davri bir xil bo`lgan, boshlang`ich fazasi va amplitudasi bilan farq qiladigan ikkita garmonik tebranishlar tenglamasi berilgan bo`lsin:

$$x_1=A_1\sin(\omega t+\varphi_1) \text{ va } x_2=A_2\sin(\omega t+\varphi_2). \quad (142)$$

Nazorat savollari

1. Tebranma harakat deb qanday harakatga aytiladi? Misollar keltiring.
2. Garmonik va nogarmonik tebranishlar deb nimaga aytiladi va ularni grafiqlari qanday bo`ladi?
3. Garmonik harakat kinematikasining tenglamasi qanday?
4. Garmonik harakatni harakterlovchi kattaliklarni (siljish, amplituda, davr, chastota, faza) izohlang.
5. Fazaning fizik ma`nosini tushuntiring.
6. Amplituda-vektor usulining mohiyatini tushuntiring.

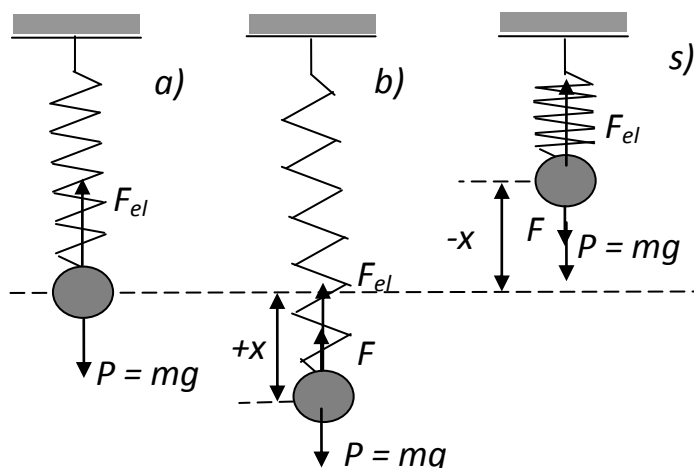
Tebranma harakat dinamikasi. Matematik

Mayatnik deb, og`irlik markazidan o`tmagan o`qqa nisbatan muvozanat vaziyati atrofida tebranma harakat qila oladigan (qattiq)jislarga aytiladi. Mayatnikning turlari ko`p bo`lib, biz asosan matematik, fizik va prujinali mayatniklar bilan tanishib chiqamiz.

a) Prujinali mayatnik deb bir uchi mahkamlangan prujina va unga osilgan m massali yukdan iborat sistemaga aytiladi (38 - rasm).

Massasi m bo`lgan moddiy nuqta  $F$  natijaviy kuch ta`sirida a tezlanish bilan garmonik tebranish qiladi. N`yutonning II qonuniga asosan:

$$F = ma \text{ ga teng, shuning uchun:} \quad ma = -kx. \quad (142)$$



38 – rasm

Prujinali mayatnikning tebranish davri:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}, \quad (143)$$

b) Matematik mayatnik deb, cho`zilmaydigan vaznsiz ipga osilgan massasi  $m$  bo`lgan moddiy nuqtadan iborat sistemaga aytiladi (39- rasm).

Mayatnikning sharchasiga ikkita kuch ta`sir qiladi: og`irlik kuchi $P=mg$ va ipning taranglik T kuchi. Muvozanat vaziyatda $P=T$ bo`ladi. Lekin, mayatnik biror kichik  $\varphi$  burchakka ( $\varphi \approx 5^\circ \div 7^\circ$ ), og`ganda P va T bir to`g`ri chiziqda yotmaydi.

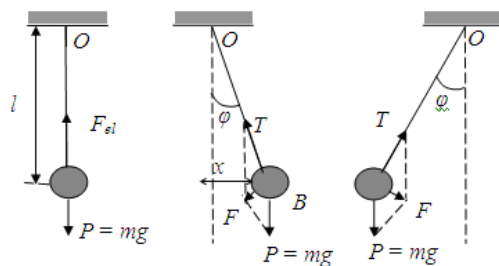
U holda natijaviy F kuch $\vec{F} = \vec{P} + \vec{T}$ bo`ladi.

Og`irlik kuchining tashkil etuvchisi bo`lgan F kuchning qiymati (moduli):

$$F = -mg \sin \varphi. \quad (144)$$

«-» ishora F kuchi siljishga qarama-qarshi yo`nalgan ekanligini bildiradi.

Bu kuch ta`sirida sharcha  $l$  radiusli aylana yoyi bo`ylab muvozanat vaziyati tomon harakatlanadi.



82 - rasm

39-rasm

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega^2\varphi = 0. \quad (145)$$

(145) ifoda matematik mayatnik tebranishining differensial tenglamasidir. Bu tenglamaning echimi:

$$\varphi = A\sin(\omega t + \varphi_0) \text{ yoki } \varphi = A\cos(\omega t + \varphi_0) \quad (146)$$

ekanligi tabiiydir.

Kichik tebranishlarda matematik mayatnik muvozanat vaziyati atrofida

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (147)$$

doiraviy chastota bilan tebranma harakat qilar ekan. Matemanik mayatnikning tebranish davri:

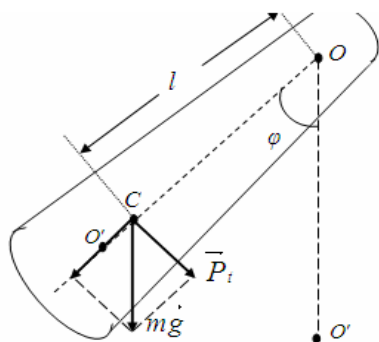
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (148)$$

(148) dan ko`rinadiki  $T$  mayatnik uzunligi  $l$  ga va  $g$  ga bog`liq bo`lib, tebranuvchi moddiy nuqta massasiga va tebranish amplitudasiga bog`liq emas.

b) Fizik mayatnik deb, inersiya markazi bilan ustma-ust tushmaydigan qo`zg`almas gorizantal o`q (nuqta) atrofida tebranma harakat qila oladigan qattiq (har qanday) jismga aytiladi.

Agar, osilish o`qidagi ishqalanish kuchini hisobga olmasak,  $\vec{P}_t = -m\vec{g} \sin \varphi$  kuch ta`sirida tebranish sodir bo`ladi.

Manfiy ishora $\vec{P}_t$ kuchning chetlanishga ($\varphi \approx \sin\varphi$) ga qarama - qarshi yo`nalgan ekanligini bildiradi. $\vec{P}_t$ ta'sirida, mayatnikni muvozanat vaziyatiga qaytaruvchi



8.3 - rasm

40-rasm

$$M = -mgl \sin \varphi. \quad (149)$$

ga teng kuch momenti vujudga keladi; bunda l - osilish o`qiga nisbatan $\vec{P}_t$ kuchning elkasi.

Tebranishlar kichik bo`lganligi uchun $\sin\varphi \approx \varphi$ deb olsak, fizik mayatnik tebranishining differensial tenglamasi:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega^2\varphi = 0 \quad (150)$$

$$\text{Bu yerda } \frac{mgl}{I} = \omega^2 \quad (151)$$

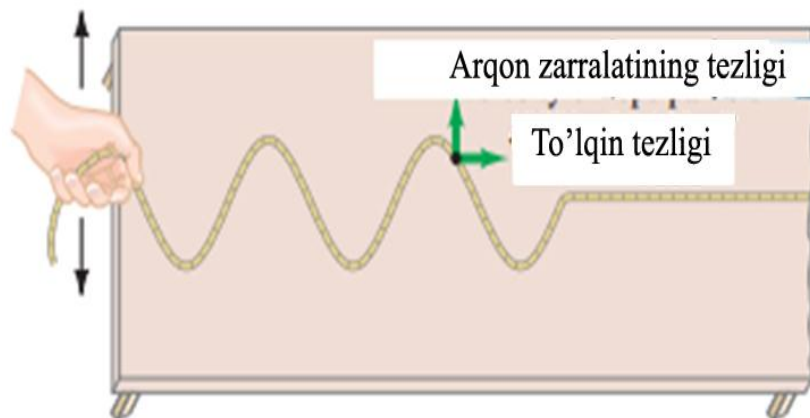
Ma'lumki, bu tenglamaning echimi $\varphi = A\sin(\omega t + \varphi_0)$ yoki $\varphi = A\cos(\omega t + \varphi_0)$ dir. Fizik mayatnikning tebranishi davri

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (152)$$

formula bilan aniqlanadi. Bunda $L = \frac{I}{ml}$ fizik mayatnikning keltirilgan uzunligi bo`lib, 40- rasmida ko`rsatilgan O va O' nuqtalar orasidagi uzunlikka teng. O' nuqta shunday xususiyatga egaki, agar O nuqtadagi o`qni  $OC$  chiziqning davomidagi  $O'$  nuqtaga ko`chirilsa, fizik mayatnik tebranish davri o`zgarmaydi. Fizik mayatnikning ham tebranish davri, mayatnikning massasiga va tebranish amplitudasiga bog`liq emasdir.

**To`lqinlar.** Ko`lga tashlangan tosh ko`l yuzida aylanma to`lqinlarni yuzaga keltiradi. Agar stol ustiga yotqizilgan shurning uchidan yuqoriga va pastga siltansa, u holda shnur bo`ylab to`lqinlar tarqaladi. Suv sirtidagi to`lqinlar hamda

shnur bo`ylab tarqaladigan to`lqinlar – bu to`lqin harakatga ikkita yaqqol misol desha bo`ladi. Shuningdek tovush ham to`lqin tarzida tarqaladi, yorug`lik esa elektromagnit to`lqindir.



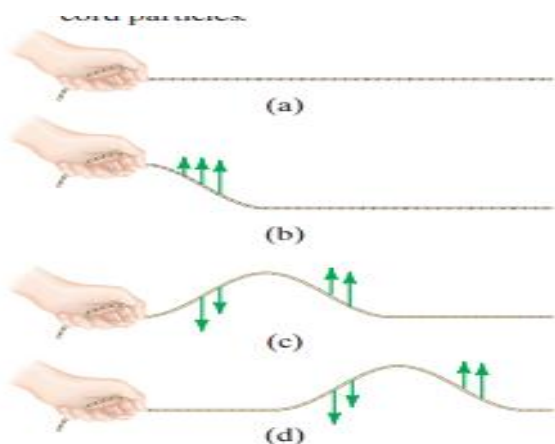
41-rasm.

Siz qirg`oqqa kelib urilayotgan to`lqinlarni kuzatganingizda “To`lqinlar suvni qirg`oq tomonga orlib keladimi?” degan savolni bergan bo`lishingiz mumkin. Yo`q, amalda to`lqinlar o`zi tarqaladigan moddani tashimaydilar. Demak, suv sirtida tarqaluvchi to`lqinlar tezlikka ega bo`ladi. Biroq bunda suvning har bir zarrasi faqatgina muvozanat vaziyatiga nisbatan tebranadi. Buni hovuz sirtida suzib yurgan barglarda ko`rish mumkin. Barglar to`lqin bilan birga oldinga suzmaydilar, ular shunchaki yuqoriga va pastga tebranadi; suv ham xuddi shunday harakat qiladi.

To`lqinlar muhit orqali uzoq masofaga tarqalishi mumkin, biroq muhitning o`zi (suv, shnur) cheklangan harakat qiladi. Shunday qilib, to`lqinning o`zi moddiy jism bo`lmasa ham, u faqatgina moddiy muhitda (moddada) tarqala oladi. To`lqin tarqalish vaqtida moddani tashib o`tmaydigan tebranishlardan iborat.

Toʻlqinlar fazoning bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga energiya tashiydilar. Suv sirtida toʻlqin suvga tashlangan tosh hisobiga yoki ochiq dengizdagi shamolning shiddati hisobiga energiya oladi. 42-rasmda shurni siltayotgan qoʻl unga energiya beradi va bu energiya shurning boshqa uchiga ham uzatilishi mumkin. Toʻlqin harakatning barcha turlarida energiya tashiladi.

Toʻlqin qanday hosil qilinishi va uning tarqalishi nimaning hisobiga yuz berishini qarab chiqamiz. Dastlab alohida (yakkalangan) toʻlqinni yani impulsni qarab chiqamiz. Shu nurda yakkalangan toʻlqin impulsini bilan bir paytda



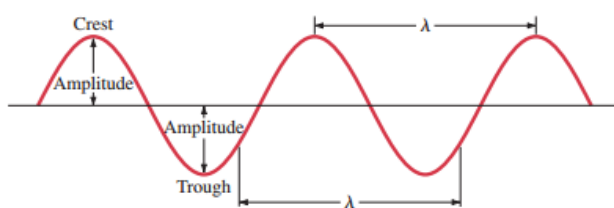
42-rasm.

qoʻlimizni yuqoriga va pastga keskin harakat qildirib yuzaga keltirishimiz mumkin (42-rasm). Shurning bir uchini yuqoriga tortganimizda, shurning oxirgi qismi qoʻshni qismlar bilan tutash boʻlganligi sababli, ularga ham yuqoriga taʼsir qiluvchi kuch uzatiladi, va ular ham yuqoriga harakatlana boshlaydi. Shurning qismlari birin-ketin yuqoriga koʻtariladi va toʻlqinning “oʻrkachi” shnur boʻylab tashqariga harakatlanadi.

Shu nurning uchini tutib turgan qoʻl dastlabki holatga pastga tushadi va shurning harakatlanishning yuqori nuqtasiga kelgan qismlari xuddi oʻsha ketma-ketlikda orqaga qaytadi. Shunday qilib gʻalayonlanish tarqalayotgan toʻlqin impulsining manbai hisoblanadi, uning tarqalishi esa shurning qoʻshni qismlari oʻrtasidagi oʻzaro taʼsir kuchlari sababli yuzaga keladi. Boshqa muhitlarda ham toʻlqinlar xuddi shunday yoʻl bilan yuzaga keltiriladi va tarqaladi. Okean tubida zilzila yuz berganida, sunami vaqtida dengizda yoki okeanda toshqinlarning yuzaga kelishi toʻlqin impulsiga misol boʻladi. Eshik taqillaganida ham quloqlarimiz toʻlqin impulsini eshitadi.

Paydo bo'lishi 42-rasmda keltirilgan *uzluksiz* yoki *davriy* to'ldinining manbai uzluksiz ta'sir qiluvchi tebrantiruvchi kuch o'zgarishi hisoblanadi, va shunday qilib, *tebranishlar* to'ldin manbai hisoblanadi. Suv sirtiga joylashtirilgan har qanday tebranuvchi jism, shu jumladan qo'l bilan ham tebranishlarni yuzaga keltirish mumkin. Shamol yoki suvga tashlangan buyum (tosh, tennis to'pi) bilan qo'zg'atilgan suvning o'zi ham to'ldin manbai bo'lishi mumkin. Vibratsiyalovchi kamerton yoki nog'oraning "terisi" havoda tovush to'ldinlarini yuzaga keltiradi; quyida biz tebranuvchi elektr zaryadlari yorug'lik to'ldinlarini yuzaga keltirishini ko'ramiz. Umuman, har qanday tebranuvchi buyum to'ldinlarni yuzaga keltiradi.

Shunday qilib, har qanday to'ldinining manbai tebranish bo'lib, u manbadan to'ldin ko'rinishida tarqaladi. Agar manba garmonik tebranib, sinusoidal harakatlansa, u holda to'ldin ham absolyut elastik muhitda, ham fazoda, ham vaqtda sinusoida shakliga ega bo'ladi. (1) Fazoda: agar to'ldin harakatini vaqtning biror momentida oniy fotosurati olinsa, u holda to'ldin sinus funksiyasi yoki kosinus funksiyasi shaklida bo'ladi. (2) Vaqtda: agar muhitning harakatini biror bir joyda uzoq vaqt davomida qaralsa (masalan, kemalar bog'lab qo'yiladigan joy (pirs)da ikkita yonma-yon joylashgan qoziqlar o'rtasidagi suv sirtini kuzata turib), u holda suvning shu uncha katta bo'lmagan qismi yuqoriga va pastga harakatlanib, vaqtning sinusoidal funksiyasi bilan tavsiflanadigan garmonik tebranishini ko'rishimiz mumkin.



43-rasm.

43-rasmda davriy sinusoidal to'ldinni xarakterlash uchun foydalaniladigan asosiy parametrlar ko'rsatilgan. To'ldin harakatining yuqori nuqtalari o'rkachi, quyisi esa –

cho'kishi deb ataladi. Amplituda – bu nolinch sathga (yoki muvozanat vaziyatiga) nisbatan o'rkachning maksimal balandligi yoki cho'kishining chuqurligi; tebranishning o'rkachdan cho'kishigacha bo'lgan to'liq masofasi $2A$ (ikkilangan amplituda)ga teng. Ikkita qo'shni o'rkachlar o'rtasidagi masofa to'ldin uzunligi λ

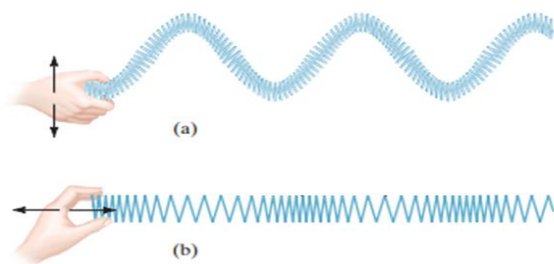
(grekcha yozma λ ambda) deyiladi. Toʻlqin uzunligi ham toʻlqinning *istalgan* ikkita ketma-ket bir xil balandlikdagi nuqtasi orasidagi masofaga teng. Chastota f - bu birlik vaqt ichida berilgan nuqtadan oʻtadigan oʻrkachlar soni yoki toʻliq tebranishlar soni. Davr T , tabiiyki, $1/f$ ga teng.

Toʻlqin tezligi v deb toʻlqinning oʻrkachi koʻchadigan tezlikka aytiladi. (toʻlqin tezligini muhit zarralarining tezligi bilan almashtirib yubormaslik lozim. Masalan, 41-rasmda arqon boʻylab tarqaluvchi toʻlqinning tezligi arqon boʻylab yoʻnalgan, shu bilan bir vaqtda zarralarning tezligi esa unga perpendikulyar yoʻnalgan.) T vaqt ichida toʻlqinning oʻrkachi toʻlqin uzunligi λ ga teng masofani bosib oʻtishi sababli, toʻlqin uzunligi quyidagicha aniqlanadi: $v = \lambda/T$. Bundan $f = 1/T$ ekanligi sababli,

$$v = \lambda f \quad (153)$$

Aytaylik, masalan, toʻlqin uzunligi 5 m ga, chastotasi esa 3 Gs ga teng. Bunda berilgan nuqta orqali bir-biridan 5 m ga ortda qoladigan uchta toʻlqin oʻrkachi oʻtadi; birinchi oʻrkach (yoki boshqa ixtiyoriy nuqta) 1 sekundda 15 metrga koʻchadi. Demak, toʻlqinning tezligi 15 m/s ga teng.

Koʻndalang va boʻylama toʻlqinlar. Biz toʻlqinlar katta masofalarga



44-rasm.

tarqalishi mumkinligini, muhitning zarralari esa faqatgina fazoning cheklangan sohasida tebranishi mumkinligini aytib oʻtgan edik.

Toʻlqin arqon boʻylab, aytaylik, chap tomonga harakatlanganda

arqonning qismlari yuqoriga va pastga, yaʼni toʻlqinning harakatiga perpendikulyar (yaʼni koʻndalang) yoʻnalishda tebranadi. Bunday toʻlqinlar **koʻndalang toʻlqinlar** deb ataladi. Toʻlqinning boshqa turi, boʻylama toʻlqin ham mavjud. Boʻylama toʻlqinda muhitning zarralari toʻlqin tarqalishi yoʻnalishida tebranadi. Boʻylama toʻlqinni choʻzilgan prujinani 44-rasmda koʻrsatilgandek siqib yoki choʻzib oson

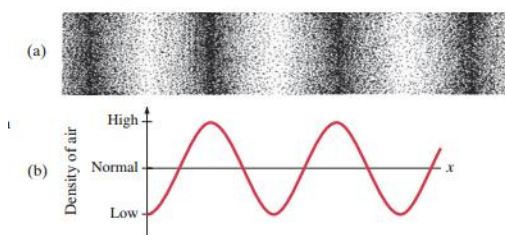
kuzatish mumkin. Prujina bo`ylab sisiqlish va cho`zilish sohalari ko`chadi. Siqilish sohalari – bu prujinaning cho`lg`amlari bir-biriga yaqinlashadigan, cho`zilish sohalari esa – ular bir-biridan uzoqlashadigan sohadir.

Xuddi ko`ndalang to`lqinlardagi kabi, muhitning bo`ylama to`lqin tarqalayotgan har bir qismi juda kichik qamrovli tebranishlarni yuzaga keltiradi. Lekin shu bilan birga to`lqinning o`zi juda uzoq masofalarga tarqalishi mumkin. Bo`ylama to`lqin ham to`lqin uzunligi, chastota va tezlik kabi tushunchalar qo`llaniladi. To`lqin uzunligi – bu ikkita qo`shni siqilish (cho`zilish) sohasi orasidagi masofa, chastota esa – bu berilgan nuqta orqali vaqt birligi ichida o`tadigan siqilishlar soni. To`lqin tezligi – bu siqilish (cho`zilish) sohasining harakat tezligi; u to`lqin uzunligining chastotaga ko`paytmasiga teng, $v = \lambda f$.

Bo`ylama to`lqinni havo molekulalari (yoki prujina cho`lg`amlari soni) zichligining koordinataga bog`liqlik grafigi ko`rinishida tasvirlash mumkin. Bunday grafik tasvirlash muhitda yuz berayotgan hodisani yaqqol namoyish qilishi sababli, biz undan tez-tez foydalanamiz. 45-b-rasmdagi bog`lanish ko`ndalang to`lqinga juda o`xshashligiga e`tibor qarating.

To`lqinning tezligi u tarqalayotgan muhitning xossalariga bog`liq. Tarang tortilgan arqonda yoki torda ko`ndalang to`lqinning tarqalish tezligi, masalan, arqonning tezligiga, F_T , hamda arqonning birlik uzunligiga to`g`ri keladigan massasiga μ (Grekcha kichkina myu harfi) bog`liq bo`ladi. Agar arqonning m - massasi, l - uzunligi bo`lsa, u holda  $\mu = m/l$  bo`ladi. Kichik amplitudali to`lqinlar uchun to`lqin tezligi:

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}} \quad [\text{arqonda ko`ndalang to`lqinlar}] \quad (154)$$



45-rasm.

Bu formula sifat jihatidan Nyuton mexanikasining ma`nosini anglatadi. Ya`ni biz taranglik kuchi kasrning suratida, birlik uzunlikdagi massa esa maxrajida ekanligini

aniqladik. Nima uchun? Chunki taranglik katta bo'lganda biz tezlik arqonning har bir segmentida ortib borishini kuzatamiz. Shuningdek, birlik uzunlikdagi massa qancha katta bo'lsa, arqonning inertligi shuncha katta bo'ladi va to'lqin shuncha sekin tarqalishini ko'rishimiz mumkin.

Bo'ylama to'lqinning tezligi ham arqonda tarqalayotgan ko'ndalang to'lqin tezligiga o'xshash, ya'ni

$$g = \sqrt{\frac{\text{elastiklik kuchi}}{\text{inersiya}}}.$$

To'lqin uzun qattiq sterjenda pastga tomon tarqalganda zarralarning tezligi

$$g = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \text{ [uzun arqonda tarqalayotgan bo'ylama to'lqin] } \quad (155)$$

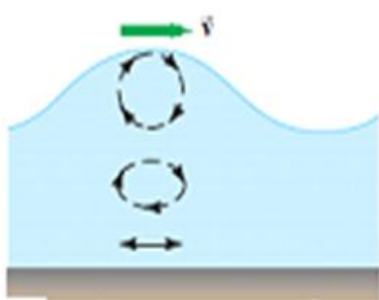
bu erda E - materialning elastiklik moduli, va ρ - uning zichligi.

Suyuqlik yoki gazda tarqalayotgan bo'ylama to'lqin uchun

$$g = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (156)$$

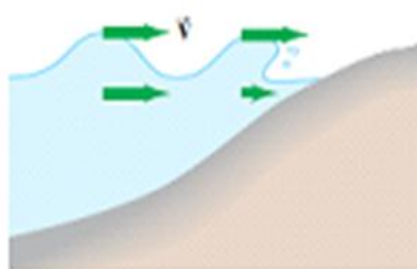
bu erda B - ajratib olingan qismning hajmi va ρ - uning zichligi.

Er qimirlashlari qo'zg'atuvchi rolini bajaradi va bunda Er qatlamlarida ham



8.10-rasm. Uncha katta bo'lmagan suv to'lqini, ko'ndalang va bo'ylama to'lqinning birgalikda tarqalishiga misol bo'ladi.

46-rasm



8.11-rasm. Suv to'lqinining shiddat bilan harakatlanishi. Yashil strelkalar suv molekulalarinig o'sha joydagi tezligini ko'rsatadi.

47-rasm.

S-toʻlqinlar deb ataluvchi koʻndalang toʻlqinlar, ham P- toʻlqinlar deb ataluvchi boʻylama toʻlqinlar tarqaladi. Qattiq jismda ham koʻndalang, ham boʻylama toʻlqinlar mavjud boʻlishi mumkin, chunki atomlar oʻz muvozanat vaziyatiga nisbatan ixtiyoriy yoʻnalishda tebranishlari mumkin. Biroq ssyuqlik yoki gazlarda faqatgina boʻylama toʻlqinlar tarqaladi, chunki bunday muhitlarning oquvchanligi tufayli zarralarga koʻndalang yoʻnalishda qaytaruvchi kuch taʼsir qilmaydi. Bu xossa geofiziklarga Yerning suyuq yadrosi mavjudligi haqida xulosa chiqarishga yordam berdi, chunki Yer qaʼrida diametral yoʻnalishda faqat boʻylama toʻlqinlar tarqalishi, koʻndalang toʻlqinlar hech qachon qayd etilmasligi aniqlangan. Buni faqatgina Yerda suyuq (eritilgan) yadro mavjudligi bilan tushuntirish mumkin. Yana *sirt toʻlqinlari* deb ataluvchi uchinchi tur toʻlqinlar mavjud, ular ikki muhit chegarasida tarqaladi. Suvdagi toʻlqinlar – ikki muxit, yaʼni suv bilan havo chegarasida tarqaluvchi sirt toʻlqinlariga misol boʻla oladi. Agar toʻlqin uzunligi suv havzasining chuqurligidan kichik boʻlsa, u holda suvning har bir zarrasi uning sirtida ellips boʻylab tarqaladi (46-rasm), yaʼni koʻndalang va boʻylama yoʻnalishdagi tebranishlar kombinatsiyasidan iborat boʻladi. Sirt tagida (biroq unga yaqinroq joyda) zarralarning harakati ham boʻylama va koʻndalang toʻlqinlardan (elliptik harakat) iborat boʻladi, tubida esa koʻpincha boʻylama toʻlqin kuzatiladi. Er qimirlashida er qobigʻida sirt toʻlqinlari ham yuzaga keladi, asosan aynan ularning taʼsirida er qimirlashidagi vayronagarchiliklar sodir etiladi.

Toʻgʻri chiziqli boʻylab tarqaladigan toʻlqinlar (masalan, tarang tortilgan arqon boʻylab tarqalatgan koʻndalang toʻlqinlar yoki suyuqlik (gaz) bilan toʻldirilgan qattiq sterjen yoki truba boʻylab tarqaladigan boʻylama toʻlqinlar) *chiziqli yoki bir oʻlchamli toʻlqinlar* deb ataladi. Suv sirtidagi kabi sirt toʻlqinlari (47-rasm) ikki oʻlchamli toʻlqinlar hisoblanadi. Vanihojat, manbadan barcha yoʻnalishlarda tarqaladigan toʻlqinlar (masalan, ovoz kuchaytirgichdan chiqadigan tovush, yoki er qimirlashida yuzaga keladigan Yer qatlamlaridagi toʻlqinlar) uch oʻlchamli toʻlqinlar hisoblanadi.

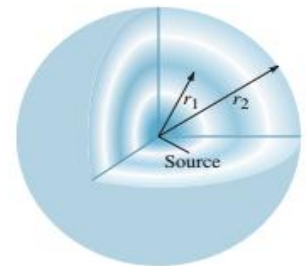
Toʻlqinlar orqali tashiladigan energiya Toʻlqinlar bir joydan boshqa joyga energiya tashi ydilar. Toʻlqinlar muhitda tarqalaganda energiya bir zarradan boshqa zarraga tebranishlar energiyasi koʻrinishida uzatiladi. f chastotali sinusoidal toʻlqinda zarralar garmonik tebranadilar, chunki har bir zarra $E = \frac{1}{2}kA^2$ energiyaga ega boʻladi, bu erda A –koʻndalang yoki boʻylama toʻlqindagi tebranishlar amplitudasi.

$$I = \frac{\text{energiya / vaqt}}{\text{yuza}} = \frac{\text{quvvat}}{\text{yuza}}$$

Intensivlikning xalqaro birliklar tizimidagi birligi vatt taqsim kvadrat metr (W/m^2). Energiya toʻlqin amplitudasining kvadratiga proporsional ekanligi sababli intensivlik:

$$I \propto A^2 \quad (157)$$

Agar toʻlqin manbadan hamma tomonga bir xilda tarqalsa, u holda bu uch oʻlchamli toʻlqin hisoblanandi. Masalan, ochiq havoda toʻlqinning tarqalishi, seysmik toʻlqinlar va yorugʻlik toʻlqini. Agar muhit izotrop (hamma yoʻnalishlarda bir xil) boʻlsa, toʻlqin sferik toʻlqin boʻladi (48-rasm). Toʻlqin tarqalganda



48-rasm.

energiya tashiydi va tobora koʻproq yuzani egallay boshlaydi, chunki r radiusli sfera sirtining yuzasi $4\pi r^2$ ga teng. Shunday qilib sferik toʻlqin intensivligi quyidagiga teng:

$$I = \frac{\text{quvvat}}{\text{yuza}} = \frac{P}{4\pi r^2} \quad [\text{sferik toʻlqin}] \quad (158)$$

Agar manbadan chiqadigan P quvvat oʻzgarmas boʻlsa, u holda intensivlik manbagacha masofaning kvadratiga teskari proporsional tarzda kamayadi:

$$I \propto \frac{1}{r^2} \quad [\text{sferik toʻlqin}] \quad (159)$$

Buni ko`pincha teskari kvadratlar qonuni yoki “bir taqsim  $r^2$  qonuni” deyiladi. Agar 48-rasmda ko`rsatilgandek, manbadan r_1 va r_2 masofada joylashgan ikkita nuqtani qaraydigan bo`lsak, u holda  $I_1 = P / 4\pi r_1^2$  va  $I_2 = P / 4\pi r_2^2$  bo`ladi, demak

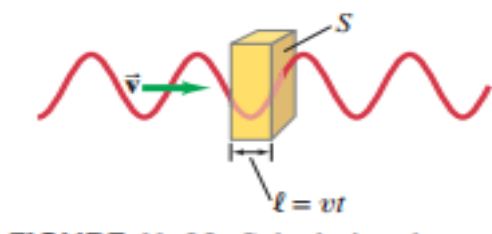
$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{r_1^2}{r_2^2} \quad [\text{sferik to`lqin}] \quad (160)$$

Masalan, masofa ikki marta ortganda ($r_2 / r_1 = 2$), intensivlik avvalgi qiymatdan $\frac{1}{4}$

marta kamayadi: $I_2 / I_1 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}$.

Masofa ortishi bilan to`lqin amplitudasi ham kamayadi, chunki intensivlik amplitudaning kvadratiga to`g`ri proporsional, amplituda  $A$   $1/r$  kabi kamayishi kerak,  $I \propto A^2$  ekanligi sababli  $1/r^2$  ga proporsional bo`ladi 160-tenglamadagi kabi.

Bir o`lchamli to`lqinda bir oz boshqacharoq (masalan, tarang tortilgan arqonda tarqaladigan ko`ndalang to`lqin yoki bir jinsli metall sterjenda tarqaladigan bo`ylama to`lqin). Bu erda A yuza o`zgarmaydi, va shuning uchun  $D_m$  amplituda ham o`zgarmaydi; shunday qilib masofa ortishi bilan to`lqin amplitudasi ham, intensivligi ham kamaymaydi.



49-rasm.

Biroq, amalda ishqalanish, hamda tebranish energiyasining bir qismi issiqlik energiyasiga aylanishi sababli har doim so`nish mavjud bo`ladi. Bir o`lchamli to`lqinda amplituda va intensivlik manbadan uzoqlashgan sari kamayib boradi.

Mos ravishda uch o'lchamli to'lqin uchun ham amplitudaning kamayishi yuqorida topilganidan ko'proq bo'ladi.

Chastotasi f bo'lgan sinusoidal to'lqinni olish uchun zarralar garmonik tebranadi va to'lqin tarqaladi, shuning uchun ham har bir zarra $E = \frac{1}{2}kA^2$ energiyaga ega bo'ladi, bu erda A uning tarqalish amplitudasi. tenglamadan foydalanib, biz k ni chastota atamalarida yozishimiz mumkin: $k = 4\pi^2mf^2$, bu erda m - muhit zarralarining (yoki kichik hajmning) massasi. U holda

$$E = \frac{1}{2}kA^2 = 2\pi^2mf^2A^2.$$

Massa $m = \rho V$ ga teng, bu erda ρ - muhitning zichligi va V - 8-13-rasmda ko'rsatilgadek, muhitning kichik qatlamining hajmi. Hajm $V = Sl$ ga teng, bu erda S - to'lqin o'tadigan sirtning ko'ndalang kesim yuzasi. (Biz havo uchun S ning o'rniga A ni qo'yamiz, chunki amplitudani A bilan belgilaymiz). To'lqin t vaqt ichida o'tadigan masofani l bilan belgilashimiz mumkin, u holda $l = \vartheta t$, bu erda ϑ - to'lqin tarqalish tezligi. U holda $m = \rho V = \rho Sl = \rho S \vartheta t$ va

$$E = 2\pi^2\rho S \vartheta t f^2 A^2 \quad (161)$$

Bu tenglamadan biz yana muhim natijani ko'rishimiz mumkin, to'lqin tashiydigan energiya amplitudaning kvadratiga to'g'ri proporsional ekan. To'lqin tashiydigan o'rtacha quvvat $\bar{P} = E/t$, demak

$$\bar{P} = \frac{E}{t} = 2\pi^2\rho S \vartheta t f^2 A^2 \quad (162)$$

Vanihoyat, to'lqin intensivligi I deb energiya oqimiga perpendikulyar bo'lgan birlik yuzadan o'tadigan o'rtacha quvvatga aytiladi:

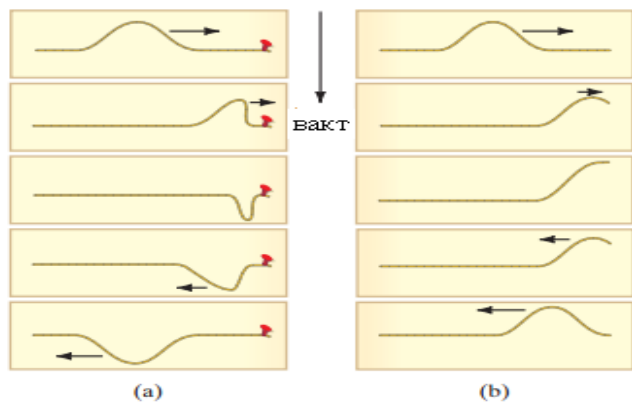
$$I = \frac{\bar{P}}{S} = 2\pi^2\rho \vartheta t f^2 A^2 \quad (163)$$

Bu munosabat to'lqin intensivligi ixtiyoriy nuqtadagi to'lqin amplitudasi A ning kvadratiga hamda chastota f kvadratiga to'g'ri proporsionalligini ko'rsatadi.

To'lqin to'siqqa tushganda yoki o'zi tarqalayotgan muhit chegarasiga etganda qaytadi (hech bo'lmaganda qisman). Dengizda qoyadan yoki suzish

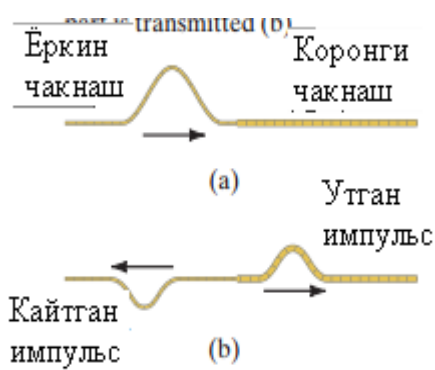
basseyning bortidan toʻlqinlarning qaytishini kuzatgan boʻlsangiz kerak. Bunda aks-sadoni – uzoqdagi toʻsiqdan qaytgan tovushni eshitgan boʻlishingiz mumkin.

50-rasmda arqon boʻylab yuguruvchi toʻlqin impulsining qaytishi



50-rasm.

koʻrsatilgan. Bu tajribani oʻzingiz bajarib koʻring, agar arqonning oxiri mustahkamlangan boʻlsa qaytgan impuls agʻdarilishiga, (50a-rasm), va uning uchi



51-rasm.

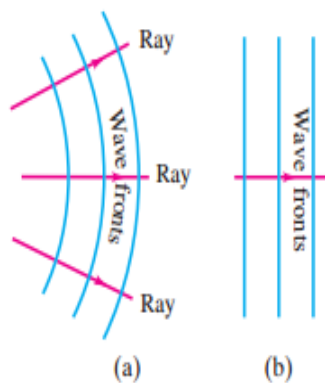
mustahkamlanmagan boʻlsa (50b-rasm) – agʻdarilmasligiga ishonch hosil qilasiz. Agar arqonning uchi bior-bir asosga mustahkamlangan boʻlsa (50a-rasm), oxirigacha etib borgan impuls asosga yuqoriga yoʻnalgan kuch bilan taʼsir qiladi. Nyutonning uchinchi qonuniga asosan asos arqonga kattaligi jihatidan teng va yoʻnalishi jihatidan qarama-qarshi kuch bilan

taʼsir qiladi. Mana shu pastga yoʻnalgan kuch agʻdarilgan qaytgan impulsni “yuzaga keltiradi”.

51-rasmda koʻrsatilgandek arqon orqali tarqaladigan, ogʻir va engil chaqnashdan iborat impulsni qarab chiqamiz. Toʻlqin impulsi ikki muhit chegarasiga etib borganida impulsning bir qismi rasmda koʻrsatilgandek qaytadi, bir qismi esa ikkinchi muhitga oʻtadi. Arqonning ikkinchi chaqnashidagi energiyaning kam qismi uzatiladi. (ikkinchi chaqnash devorga yoki qattiq tayanchga yetib borganda 51a-rasmda koʻrsatilgandek, energiyaning katta qismi qaytadi, juda kam qismi

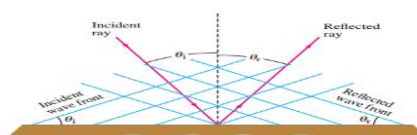
uzatiladi. Sinusoidal toʻlqin uchun toʻlqin chastotasi ikki muhit chegarasida oʻzgarmaydi, chunki chegarada xuddi shunday chastota gʻalayonlanadi. SHunday qilib, agar uzatiladigan toʻlqin kichik tezlikka ega boʻlsa, uning toʻlqin uzunligi ham kichik boʻladi ($\lambda = g / f$).

Suv toʻlqinlari kabi ikki yoki uch oʻlchamli toʻlqin uchun (biz bunda toʻlqin frontini nazarda tutamiz), toʻlqin boʻylab joylashgan har bir nuqta toʻlqin oʻrkachini hosil qiladi (buni biz odatda shunchaki sohil boʻyidagi “toʻlqin” deb ataymiz). 52-rasmda koʻrsatilgan toʻlqin frontiga perpendikulyar, toʻlqin yoʻnalishi boʻylab yoʻnalgan chiziq **nur** deb ataladi. Toʻlqin fronti manbadan uzoqlashgach egriligini butunlay yoʻqotadi (52b) va xuddi okean toʻlqinlari kabi deyarli toʻgʻri chiziqli boʻladi. U holda ular **yassi toʻlqinlar** deb ataladi.



52-rasm. Nurlar toʻlqin tarqalish yoʻnalishini koʻrsatadi, ular har doim toʻlqin frontiga perpendikulyar yoʻnalgan. (a) manba yaqinida doiraviy va sferik toʻlqinlar. (b) manbadan uzoqlashgach toʻlqin fronti toʻgʻri yoki yassi boʻladi va yassi toʻlqinlar deb ataladi.

Ikki yoki uch oʻlchamli yassi toʻlqin qaytishida 8-17-rasmda koʻrsatilgandek, toʻlqinlar qanday burchak ostida tushsa, shunday burchak ostida qaytadilar. Bu **qaytish qonuni** deyiladi: tushish burchagi qaytish burchagiga teng.



53-rasm.

Tushuvchi nur bilan tushish nuqtasiga o'tkazilgan perpendikulyar (yoki sirt bilan to'liq fronti) orasidagi burchak tushish burchagi deyiladi va u qaytish burchagiga teng bo'ladi. Θ_r qaytuvchi nurga mos keladi.

Nazorat savollari

1. Mayatnik deb nimaga aytiladi va uni qanday turlarini bilasiz?
2. Fizik, matematik va prujinali mayatniklarni tebranishini differensial tenglamalarini yozib bering va izohlang.
3. Fizik, matematik va prujinali mayatniklarni tebranish davrlari qanday formula bilan aniqlanadi?
4. Xususiy tebranish chastotasi deganda nimani tushunasiz va uni izohlang?
5. Fizik mayatnikni keltirilgan uzunligi nima?
6. Tebranma harakatda og'irlik kuchining P_t tashkil etuvchisini ishorasini «-» bo'lishi nimani anglatadi?
7. So'nuvchi va so'nmas tebranishlar deb qanday tebranishlarga aytiladi va ularning differensial tenglamalarini yozib izohlang?
8. So'nish koeffisienti va logarifmik dekrementni izohlang.
9. Mexanik to'liq deb nimaga aytiladi va ularning turlari?
10. Yassi va sferik to'liqlar
11. To'liqning qaytishi va sinishi

MOLEKULYAR FIZIKA VA TERMODINAMIKA

Molekulyar-kinetik nazariya va termodinamikaning asoslari. Gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi

Molekulyar fizikada juda ko'p sonli zarralar ta'sirida vujudga keladigan hodisalarni tekshirishga to'g'ri keladi. Sistemani tashkil etuvchi ko'p sonli zarralarning ularni dinamik nuqtai nazardan xarakterlovchi fizik kattaliklar (tezlik, impul's, erkin yugurish masofasi va boshqalar) qiymatlari bo'yicha taqsimot qonunlarini aniqlab, bu qonunlar asosida hisoblangan o'rtacha fizik kattaliklar yordamida sistema xususiyatlarini o'rganish usuliga statistik usul deyiladi. Statistik usul ehtimollik nazariyasidan foydalanishga asoslangan.

Fizik hodisalarni o'rganadigan dinamik va statik usullardan tashqari termodinamik usul ham mavjuddir. Termodinamik usul deb, fizik jarayonda ishtirok etadigan sistemaning ichki tuzilishi va sistemani tashkil etuvchi qismlarning holatlariga e'tibor bermasdan, sistemada sodir bo'ladigan energiya aylanishlarini hamda ular orasidagi munosabatlarni aniqlash bilan sistemadagi fizik hodisalarni o'rganish usuliga aytiladi.

Biz atom massasi yoki molekulyar massa deb ataluvchi aloxida atom va molekulalarning nisbiy massalari haqida gapirib o'tamiz. (ayrim hollarda atom og'irligi va molekula og'irligi terminlari ishlatiladi.) Bu massa uglerod atomining 120000 dan bir qismi atom massa birligi (a.m.b.) sifatida qabul qilingan. Bu esa kilogramlarda $1 \text{ a.m.b.} = 1.6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

Temperaturani qiymat jihatdan o'lchash uchun, qandaydir o'lchov shkalasini aniqlash kerak. Bugungi kunda eng ko'p tarqalgan shkala bu Selsiy shkalasidir. AQSHda esa Farengeyt shkalasi keng tarqalgan. Ilmiy ishlarda absolyut va muhim shkala Kelvin shkalasi bo'lib, u haqida bu bobda muhokama qilinadi.

Temperatura shkalasini aniqlash usuli bu, ihtiyoriy ikki temperaturaga qiymat berishdir. Bu ikki Selsiy va Farengeyt shkalalari uchun normal atmosfera

bosimidagi muzlash va qaynash nuqtasining muallaq qiymati qabul qilingan. Selsiy shkalasida bu qiymatlar muzlash nuqtasi 0° S (“Selsiy shkalasi bo`yicha nol gradus”) va qaynash nuqtasi  $100^{\circ}$  S deb tanlangan. Farengeyt shkalasida esa, muzlash nuqtasi  $32^{\circ}$  F va qaynash nuqtasi  $212^{\circ}$  F ga teng. Amalda termometr, bu ikki haroratni kerakli muhitda juda diqqat bilan suyuqlik satxini yoki ko`rsatkichini tekshirib tayyorlangan va kalibrovkalanagan. Selsiy shkalasi uchun bu ikki harorat oralig`i 100 ta teng intervalga  $0^{\circ}$  dan  $100^{\circ}$  gacha bo`lingan (“yuz gradusli Selsiy” atamasi yuzta qadam ma`nosini bildiradi). Farengeyt shkalasidagi  $32^{\circ}$  F dan  $212^{\circ}$  F gacha bo`lgan qiymat oralig`i esa 180 ta teng intervalga bo`lingan. Suvni muzlash va qaynash haroratidan katta bo`lgan nuqtalarida shkalada ishlatilgan intervalda shkalani kengaytirish mumkin. Lekin shunga qaramay, termometrlar o`z imkoniyatlaridan kelib chiqqan holda ishlatiladi, masalan, spirtli termometr spirtning parlanish haroratidan katta haroratlarda foydalanib bo`lmaydi. Juda yuqori va past haroratlarda maxsus termometrlar foydalaniladi, bu haqida keyinroq eslatamiz.

Selsiy temperaturasidagi har bir shkala Farengeyt shkalasidagi ma`lum shkalaga mos keladi. U shkaladan bu shkalaga o`tishda, 0° S 32° F ga tengligini, Selsiy shkalasidagi 100° li diapazon Farengeyt shkalasida 180° ekanligini unutmaslik lozim. Shunday qilib, bir gradus Farengeyt (1° F), $100/180=5/9$ Selsiy gradusi (1° S)ga teng. Ya`ni,  $1F^{\circ}=\frac{5}{9}C^{\circ}$ . (aniq bir harorat haqida Selsiy gardusi bo`yicha “ 20° S”deb aytilganiga ahamiyat bering. Lekin harorat qandaydur intervalga o`zgarganda faqat gradus Selsiy “ $2^{\circ}$ S” deb aytiladi). Haroratni ikki temperatura shkalasiga o`tkazish uchun quyidagi amallarni bajaramiz:

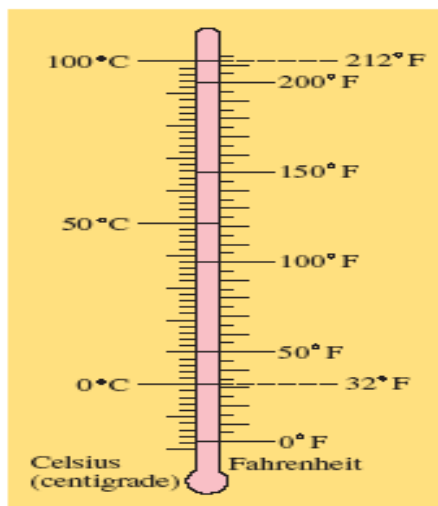
$$T(C^{\circ}) = \frac{5}{9}[T(F^{\circ}) - 32]$$

Yoki

$$T(F^{\circ}) = \frac{5}{9}T(C^{\circ}) + 32$$

Bu amallarni eslab qolish o`rniga osongina, 0° S 32° F ga tengligini va 5° S 9° F ga tengligini eslab qolish qulayroq.

Muzlash nuqtasi suyuqlik harorati o'zgarishi bilan, xech qanday boshqa bir suyuqliksiz qattiq va suyuq holatga o'tuvchi suyuqlik bilan aniqlanadi. Eksperimental ravishda bu faqatgina berilgan bosimda, aniq bir haroratda sodir bo'ladi. Qaynash nuqtasi ham shu tariqa aniqlanadi, faqat bu nuqtalar bosim o'zgarishi bilan o'zgaradi. Shuning uchun bosim albatta ko'rsatilishi lozim (odatda bu 1 atmosfera bosimida bo'ladi).



1- rasm.

Eksperimentlar shuni ko'rsatadiki, agar, **issiqlik muvozanatida bo'lgan ikki sistemani uchinchi sistema bilan birlashtirsak, u holda ular o'zaro termik muvozanatga erishadi.**

Bu postulat termodinamikaning bosh qonuni deyiladi. Bu qonun bunday antiqa nomni olishining sababi, termodinamikaning birinchi va ikkinchi konunlaridan keyin aniqlangani uchun olimlar bu qonuni ulardan oldingi o'ringa qo'yishni to'g'ri deb bilishgan va shu nomni berishgan. Harorat bu, sistemaning boshqa bir sistemalar bilan o'zaro issiqlik muvozanatida bo'lishini aniqlovchi sistema xususiyati hisoblanadi. Ikki sistema issiqlik muvozanatida bo'lganda, ularda o'zaro issiqlik energiyasi almashinuvi ro'y bermaydi. Bu kundalik turmushimizdagi harorat tushunchalar bilan mos keladi: issiq va sovuq jismni bir joyga joylashtirsak, ular ohir oqibatda ularning harorati bir xil bo'ladi. Shuning uchun bosh qonun temperaturani aniqlashda juda foydali hisoblanadi.

Ideal gaz qonunlari. Gazning xajmi uni bosimiga hamda uning haroratiga bogʻliq. SHuning uchun gazning bosimi, xajmi, harorati va modda miqdorini bar biriga oʻzaro bogʻliqligini aniqlovchi tenglamani **holat tenglamasi** deyiladi. (holat deganda- sistemaning fizik holati tushuniladi). Agar sistemaning holati oʻzgarsa, bosim va haroratni maʼlum bir qiymatga kelguncha kutamiz. Shu tariqa, vaqt boʻyicha oʻzgaruvchi kattaliklar (harorat va bosim) sistemaning holatini muvozanatda boʻlishini kuzatamiz. Aytib oʻtish kerakki, zichligi katta boʻlmagan gazlar uchun oʻrinli (bosim ham uncha katta boʻlmagan, atmosfera yoki undan kichik boʻlganda) va qaynoq boʻlmagandagina oʻrinli. Berilgan gaz miqdori uchun harorat oʻzgarmas boʻlganda, gaz xajmi absolyut bosimga teskari proporsional boʻlishini eksperimental usulda aniqlangan. Yaʼni, $T \propto \frac{1}{P}$, (T-oʻzgarmas)

Bu erda, P- absolyut bosim. Masalan, agar gaz bosimi 2 marta ortsa, xajm yarim marta kamayadi. Buni birinchi boʻlib ingliz Robert Boyl (1627-1691) oʻzining tajribalarida asoslanib, kashf qildi va Boyl qonuni sifatida hammaga maʼlum. P ning V ga bogʻlanish grafigini 1- rasmda koʻrsatilgan. Boyl qonuni quyidagicha yozilishi ham mumkin: $PV = \text{constant}$ ($T = \text{constant}$)

Aniq bir gaz miqdori uchun oʻzgarmas haroratda, bosim, xajm yoki modda miqdori oʻzgarsa ham, PV koʻpaytmasi oʻzgarmas boʻlib qolaveradi. Shuningdek, harorat gazning xajmiga ham taʼsir koʻrsatadi, lekin Boylning ishlaridan keyin 100 yildan ortiq vaqt orasida V va T oʻzaro bogʻlanishi aniqlanmagan edi. Fransuz Jak Sharl (1746-1823) bosim oʻzgarmas boʻlganda, 13-15a rasmda koʻrsatilganidek, harorat ortishi bilan xajm chiziqli ortishini kashf etdi. Shunga qaramay, hamma gazlar past haroratlarda suyuq holatga keladi, natijada, grafik suyuqlashish nuqtasidan pastda kengaymaydi. Shuningdek, grafikda toʻgʻri chiziq dan iborat va juda kichik haroratda esa oʻqni taxminan -273°C da kesib oʻtgan punktir chiziq bilan koʻrsatilgan.

Bunday toʻgʻri chiziqli -273°C boshlangʻich xajmli teskari grafikni har qanday gaz uchun chizish mumkin. Bu gaz soviganda u b oshlangʻich xajmga ega deb

tushuniladi va juda ham past haroratda -273°C esa manfiy xajmga ega bo'lib u xech qanday ma'noga ega emas. Aytish kerakki, -273°C bu engi past harorat bo'lishi mumkin; keyinchalik qilingan tajribalar bu haqiqat ekanligini ko'rsatdi. Bu harorat absolyut nol harorat deyiladi. Bu qiymat -273.15°C ekanligi aniqlangan.

Absolyut nol temperatura Kelvin shkalasida asosini tashkil qiladi va ilmiy ishlarda juda keng ishlatiladi. Bu shkala bo'yicha graduslar darajadagi belgisiz yoziladi yoki oddiygina gradus kelvin (K) deb belgilanadi. Bu shkaladagi intervallar Selsiy shkalasidagi interval kabidir, lekin (0 K) nol bu shkalada absolyut nol deb tanlanadi. SHunday qilib, suvning muzlash nuqtasi (0°C) 273°K , va suvning qaynash harorati 373.15 K tashkil qiladi. Selsiy shkalasidagi har qanday ko'rsatkich Kelvin shkalasiga o'tkazilishi mumkin, unga 273.15 ni qo'shsak bo'ldi:

$$T(K) = t(C) + 273.15.$$

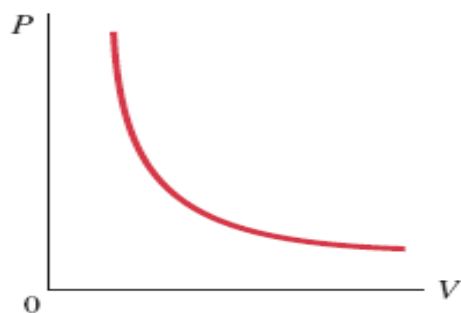
Bosim o'zgarmas bo'lganda, muayyan gaz miqdoriga to'g'ri keluvchi xajm absolyut haroratga to'g'ri proporsional. Bu Sharl qonuni sifatida hammaga ma'lum va u quyidagicha yoziladi:

$$V \propto T. \quad (P \text{ o'zgarmas})$$

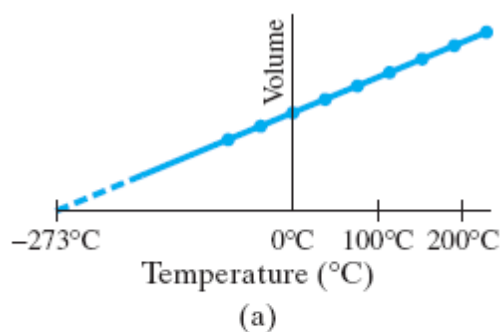
Uchinchi gaz qonuni, Gey-Lyussak qonunidir, Djozef Gey-Lyussak (1778-1850) tasdiqlaganidek, o'zgarmas bosimda, muayyan gaz miqdori absolyut haroratga to'g'ri proporsionaldir:

$$P \propto T. \quad (V \text{ o'zgarmas})$$

Boyl, Sharl va Gey-Lyussak qonunlari bugungi kunda ishlatiladigan terminlar(aniqroq, chuqur, keng ko'lamli qonun)dek o'rinli emas. Ular faqatgina, zichligi va bosimi katta bo'lmaganda va suyuqlashgan (kondensatsiya) holatga yaqin bo'lmagandagina aniq o'rinli bo'ladi. Qonun terminini ishlatilishi esa an'anaga aylangan.



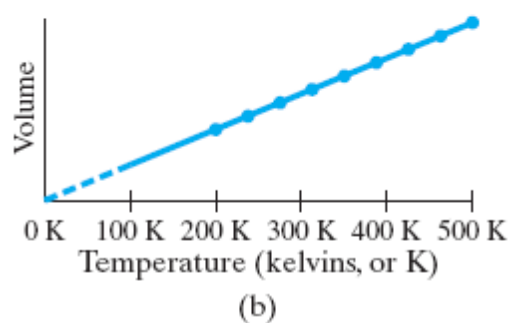
2-rasm



3- rasm.

a) Selsiy
temperaturasi

b) Kelvin
temperaturasi



Boyl, Sharl va Gey-Lyussak qonunlari muhim ilmiy uslublar orqali aniqlangan, unga ko'ra, o'zgaruvchilardan biri o'zgarmas saqlanib qolganlari esa o'zgarar edi. Hozirgi davrda, bu o'zgaruvchilarning hammasi absolyut bosim, xajm, harorat va modda miqdori bir tenglama bilan bog'langan:

$$PV \propto T.$$

Bu tenglama P, V va T larning biri o'zgarsa, qolganlari ham o'zgarishini ko'rsatadi. Bu tenglama Boyl, SHarl va Gey-Lyussak qonunlariga o'hshab P, V yoki T lar o'zgarmas holda qoldiriladi.

Va nihoyatda, gazni tashkil qilgan modda miqdorini hisobga olishimiz kerak. Masalan, havo shariga juda ko'p havo xaydalgan bo'lsa, shar shunchalik kengayib kattalashadi 3 rasm. Darhaqiqat, tajribalar o'zgarmas bosim va haroratda yopiq

sistemaning xajmi massaga proporsional ravishda ortishini ko'rsatadi. Buni quyidagicha yozamiz:

$$PV \propto mT.$$

Bu bog'lanishni proporsionallik koefitsientini qo'yib tenglama ko'rinishiga keltiramiz. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, bu konstanta turli gazlarga turlicha qiymatlarni qabul qiladi. Shunga qaramay, massaning o'rniga mollar sonini ishlatsak, proporsionallik koefitsienti hamma gazlar uchun bir xil ta'sir ko'rsatadi.

“Mol” – bu modda miqdorining SI dagi birligidir. Bir mol (qisqacha mol) modda miqdorida jimsni tashkil qiluvchi 6.02×10^{23} ta ob'ekt (atom, molekula yoki ionlar va boshqalar)lar bor. Bu son, **Avagadro soni** deyiladi. Bu qiymat o'lchamdan kelib chiqqan. Molning aniq kiymati 12 gramm uglerod.

1 mol modda miqdorining ekvivalenti, massaning grammlardagi qiymati molyar massaga tengdir. Masalan: CO₂ning 1 molining massasi $(12 + (2 \times 16)) = 44$ gr, chunki, uglerodning atom massasi 12 va kislorodniki 16 (kitobning oxirgi betidagi davriy jadvalga karang). Umuman olganda, sof moddaning mollar soni n , grammlardagi massasini molyar massaga nisbatiga teng, gr/mol

$$n(\text{моль}) = \frac{\text{масса (грамм)}}{\text{молекуляр масса (гр/моль)}}.$$

Masalan, CO₂ ning mollar soni 132 gr (molyar massasi 44 a.m.b.)

$$n = \frac{132 \text{ гр}}{44 \text{ гр/моль}} = 3.0 \text{ моль}.$$

Endi biz buni yuqoridagidek tenglama ko'rinishida yozishimiz mumkin:

$$PV = nRT \quad (9-1)$$

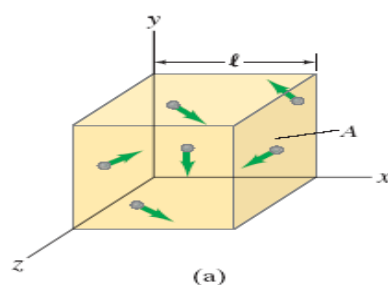
Bu erdagi n -mollar sonini bildiradi, R -proporsionallik koefitsienti hisoblanadi. R -universal gaz doimiysi deyiladi, chunki bu qiymat tajribalar orqali aniqlanib, barcha gazlar uchun bir xil. R ning qiymati ko'pgina birliklar sistemasida (birinchi bo'lib halqaro birliklar sistemasida) quyidagicha:

$$R = 8.314 \frac{\text{Ж}}{\text{моль К}}$$

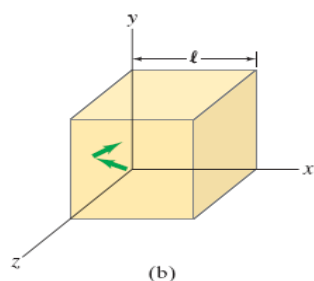
1 tenglama ideal gaz yoki ideal gaz holat tenglamasi deyiladi. Real gazlar katta bosim(zichlik)da, gaz suyuqlashish holatiga yaqin bo`lganda, 1 tenglamaga mos kelmagani uchun biz “Ideal” so`zini ishlatamiz. Shunga qaramay, bosim atmosfera bosimidan kam yoki harorat gazning suyuqlashish nuqtasiga yaqin bo`lmaganda real gazlar uchun ham 1- tenglama juda aniq va foydali hisoblanadi.

Doim yodingizda tuting, ideal gazlarda, harorat Kelvin (K) graduslariga o`tkazilishi kerak va bosim ham doim absolyut bosimda bo`lishi kerak. Biz gazdagi molekulalarga nisbatan keyingi taxminlarni kilamiz. Bu taxminlar gazdagi molekulalarda oddiyko`rinishni aksini ko`rsatadi, lekin biz hozir tasvirlaydigan gazimiz ideal gaz deyiladi.

Makroskopik o`zgaruvchilari sharoitida idish devoriga ta`sir o`tkazuvchi bosimni qiymatini hisoblaymiz. Tassavur qiling, molekulalar to`g`ri burchakli idish(tinch holatda) ichida turibdi, idish yuzasi A va balandligi  $l$  4 a-rasmda ko`rsatilgan. Bizning modelimizga ko`ra, gaz molekulalari urilishidan idish devorlariga bosim ta`sir qiladi. Biz sizning diqqatingizni A yuza devoriga, idishning chap qismiga qaratamiz, 4 b-rasmda ko`rsatilganidek, molekulalarning devorga urilishida nimalar sodir bo`lishini ko`ramiz.



4(a)-rasm. To`g`ri burchakli idishda gaz molekulalari joylashgan.



4(b)-rasm. Strelkalar molekulalarni idish devoriga urilib yana boshqa tomonga harakatlanishini ko`rsatadi.

Bu molekulalar devorga kuch bilan ta`sir o`tkazadi va N`yutonning uchinchi qonuniga ko`ra, devor ham molekulaga xuddi shunday kuch bilan aks ta`sir

oʻtkazadi. Bu kuchning kattaligi Nyutonning ikkinchi qonuniga koʻra, molekulaning impulsini vaqt boʻyicha oʻzgarishiga teng, $F = \Delta(mv)/\Delta t$. Agar urilish elastik boʻlsa, faqat molekulaning impulsini x komponentini oʻzgaradi va bu oʻzgarish $-mv_x$ (u manfiy x yoʻnalishda harakatlanadi) $+mv_x$. Shunday qilib, molekula impulsini oʻzgarishini $\Delta(mv)$ bitta urilish uchun, qoldiq impuls $\Delta(mv) = mv_x - (-mv_x) = 2mv_x$

ga teng. Bu molekula idish devorlarida juda koʻp sonli bir biridan vaqt Δt boʻyicha farqlanuvchi urilishlar sodir boʻladi va molekulalar idish boʻylab qayta qayta (x komponent boʻyicha) $2l$ oraliqda sayoxat qiladilar. Shunda $2l = v_x \Delta t$, yoki

$$\Delta t = \frac{2l}{v_x}$$

Urilishlar orasidagi vaqt juda kichik boʻlib, bir sekund orasidagi urilishlar soni juda koʻp. Shunday qilib, koʻpgina urilishlarning oʻrtachalashtirib, ularning oʻrtacha kuchi vaqt boʻyicha impulsning oʻzgarishi urilishlar orasidagi vaqtga nisbatiga teng (Nyutonning ikkinchi qonuni): bitta molekula uchun

$$F = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t} = \frac{2mv_x}{2l/v_x} = \frac{mv_x^2}{l}$$

Idishda oldinga va otrga oʻtish vaqtida, molekula idish devorlariga urilishida uning impulsini x komponenti oʻzgarmaydi va shuning uchun bizning natija ham oʻzgarmaydi. (u shuningdek boshqa molekulalar bilan ham urilishi mumkin, shunga qaramay ularning impulsi boshqa molekulalarga urilib kamayishi yoki ortishi mumkin, lekin baribir hamma kattaliklarning summasi xuddi oʻsha effektini beraveradi. Shunday qilib, natija oʻzgarmaydi.)

Molekulaning kuchi juda koʻp molekulalar bilan urilgani uchun doimiy boʻlmaydi, lekin kuch oʻrtacha oʻzgarmasdir. Idishdagi molekulalarning kuchni hisoblash uchun ularning har birining kuchini qoʻshamiz. Agar N ta molekulalar bir xil m massaga ega boʻlsa, devorga taʼsir qiluvchi umumiy kuch:

$$F = \frac{m}{l} = (v_{x1}^2 + v_{x2}^2 + \dots + v_{xN}^2)$$

Bu erda v_{x1}^2 birinchi molekulaning tezligi tushuniladi (molekulalarga ixtiyoriy ravishda raqamlanadi) va idish ichidagi molekulalar umumiy soni N . O`rtacha kvdratik tezlikning x tashkil qiluvchisining qiymati

$$\bar{v}_x^2 = \frac{v_{x1}^2 + v_{x2}^2 + \dots + v_{xN}^2}{N} \quad (2)$$

Bu erdagi (-) o`rtacha qiymat ekanligini bildiradi. Shunday qilib, kuchni quyidagicha yozamiz: $F = \frac{m}{l} N \bar{v}_x^2$

Biz bilamizki, har qanday vektorning kvadrati, uni tashkil qiluvchilarining kvadratlari yig`indisiga teng (Pifagor teoremasi). Shunday qilib, har qanday  $v$  tezlik uchun  $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$ . O`rtachani olib, quyidagini xosil qilamiz:

$$\bar{v}^2 = \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2$$

Bizning gazda molekulalarning tezligi ixtiyoriy deb olinsa, ixtiyoriy yo`nalishda harakatlansa, $\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2$

Yuqoridagi formulalardan foydalanib, quyidagini lamiz: $\bar{v}^2 = 3\bar{v}_x^2$
natijaviy kuch F (keyingi betning pastki qismida):

$$F = \frac{m}{l} N \frac{\bar{v}^2}{3}$$

Idish devoriga beriladigan bosim

$$P = \frac{F}{A} = \frac{1}{3} \frac{Nm\bar{v}^2}{Al}$$

Yoki

$$P = \frac{1}{3} \frac{Nm\bar{v}^2}{V} \quad (3)$$

Bu erda $V = Al$ idish xajmi. Bu biz olgan natija, idishga beriladigan bosim molekulyar xossalar orqali ifodalangan.

3 tenglamani ikkinchi tomonini V ga ko`paytirib, yanada qulayroq ko`rinishda qayta yozishimiz mumkin:

$$PV = \frac{2}{3} N \left(\frac{1}{2} m \bar{v}^2 \right) \quad (4)$$

Gaz molekulalarining $\overline{KE}$ oʻrtacha kinetik energiyasi $\frac{1}{2}m\bar{v}^2$ teng. Agar 4 tenglamani 3 tenglama bilan tenglashtirsak, ideal gaz qonunini $PV = kNT$,

$$\frac{2}{3}\left(\frac{1}{2}m\bar{v}^2\right) = kT$$

Yoki

$$\overline{KE} = \frac{1}{2}m\bar{v}^2 = \frac{3}{2}kT \quad (5)$$

Bu tenglama bizga, **Ideal gazdagi tartibsiz harakatlanuvchi molekulalarning oʻrtacha kinetik energiyasi absolyut haroratga toʻgʻri proporsional** ekanini bildiradi. Harorat qanchalik yuqori boʻlsa, kinetik nazariyaga koʻra, molekulalar shunchalik tezroq harakatlanadilar. Bu bogʻliqlik kinetik nazariyaning triumflaridan biridir.

Termodinamika makroskopik jism yoki miroskopik jismlar toʻplamidan iborat boʻlgan sistema xususiyatlarini va unda sodir boʻladigan turli xil jarayonlarni, sistemaning molekulalardan tashkil topganligiga eʼtibor bermagan holda oʻrganadi.

Jismlar majmuasidan tashkil topgan va tashqi taʼsirda boʻlishi mumkin boʻlgan sistemaga termodinamik sistema deyiladi. Agar sistema tashqi muhit bilan energiya almashinuvida boʻlmasa, bunday sistemaga yopiq sistema deyiladi.

Sistema holatini xarakterlovchi kattaliklarga termodinamik parametrlar deb ataladi (P , V , T , ρ va hokazo).

Vaqt oʻtishi bilan termodinamik parametrlar oʻzgarmasdan qolgandagi sistema holatiga termodinamik muvozanat deyiladi.

Muvozanat holatlarning uzluksiz ketma-ketligidan iborat boʻlgan jarayonga muvozanatli jarayon deb ataladi, sekin oʻtadigan jarayonlar muvozanatli jarayon boʻladi.

Masalan, porshen bilan bekitib turilgan idishdagi gazning sekin siqilishida muvozanat arzimagan darajada buziladi. Nihoyatda sekin siqilsa gazning holati ixtiyoriy paytda muvozanatda boʻladi.

1. Sistemaning bir (P_1, V_1, T_1) holatdan ikkinchi (P_2, V_2, T_2) holatga o'tishi termodinamik jarayon (jarayon) deb ataladi. Jarayonlar ikki turga bo'linadi: qaytar va qaytmas.

Jarayon avvaliga bir yo'nalishda, so'ngra unga teskari yo'nalishda sodir bo'lib, bunda sistema o'zining boshlang'ich holatiga qaytib kelganida tashqi atrof muhitda hech qanday o'zgarish yuzaga kelmasa, bunday jarayonga qaytuvchan jarayon deb ataladi. Aks holda o'tish jarayoni qaytmas jarayon deyiladi.

Qaytuvchan jarayonga, vakuumda joylashtirilgan, ishqalanishsiz tebranayotgan mayatnikni haraktlanish jarayonini, vakuumdagi elastik sharchani biror balandlikdan absolyut elastik gorizontaal sirtga urilishidagi harakatlanish jarayonlarini misol qilishimiz mumkin. Ammo, bugungi kunda absolyut vakuum hosil qilish mumkin emasligidan, real sharoitda, mayatnik va sharchalarni harakatlanish jarayoni qaytar jarayon bo'lmaydi. Demak, ideal sharoitda ya'ni ishqalanishsiz va noelastik urilishsiz sodir bo'ladigan sof mexanik jarayonlar qaytuvchan bo'ldai. Real sharoitda esa ishqalanishsiz, hamda absolyut elastik tarzda ro'y beradigan sof mexanik jarayonlar sodir bo'lmaydi. Demak, real sharoitda kuzatiladigan issiqlik harakati bilan bog'liq bo'lgan har qanday jarayon qaytmas jarayondir.

Umuman tabiatda qaytar jarayonlar yo'q. Real jarayonlarni qaytmas jarayon bo'lishligiga issiqlik almashinish va gazning bo'shliqqa kengayish jarayonlari yorqin misol bo'ladi. Issiq jismdan sovuq jismga issiqlik o'tadi lekin teskarisi bo'lmaydi, xuddi shuningdek gaz bo'shliqqa kengaydi, lekin o'z-o'zidan siqilmaydi. Tabiatdagi qaytmas jarayonlarning eng mudhishi organizmlarning qarishi va o'lishidir. Sunday qilib, qaytar jarayon - ideallashtirilgan tushunchadir. Ammo, ma'lum darajada ideallashtirilgan sharoitlarda real jarayonlarni yuqori aniqlik darajasida qaytar jarayonlar deb qarash mumkindir. Muvozanatli jarayonlar qaytuvchan bo'ladi.

3. Termodinamikaning umumiy tushunchalaridan biri termodinamikaning to'la va ichki energiyasidir:

$$W = W_k + W_p + \bar{U} . \quad (6)$$

W_k - sistemaning kinetik energiyasi; W_p – tashqi kuch maydoni taʼsirida hosil boʻladigan potensial energiya; $\bar{U}$ - termodinamik sistemaning alohida qismlarini xususiy energiyalarning yigʻindisi boʻlib, sistemaning harakatiga va tashqi kuch maydonining taʼsiriga bogʻliq emas.

Nazorat uchun savollar

1. Statik va termodinamik usullarni izohlang.
2. Qanday nazariyaga molekulyar-kinetik nazariya deyiladi va uning asosiy qoidalari qanday?
3. Molekulalarning massalari va oʻlchamlarini qanday ekanligini izohlang?
4. Molekulaning massasi qanday topiladi?
5. Molyar massa deb nimaga aytiladi?
6. Ideal gaz holatini harakterlovchi kattaliklarni izohlab bering.
7. Selʼsiy va Kelʼvin shkalalarini tushuntiring.
8. Ideal gaz qonunlarini tushuntiring.
9. Molekulyar-kinetik nazariyaning asosiy tenglamasini keltirib ciqaring.
10. Absolyut haroratning fizik maʼnosi qanday?
11. Qaytmas va qaytuvchi jarayon deb nimaga aytaladi?

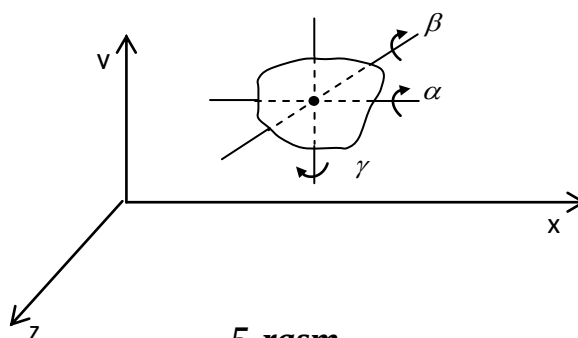
Termodinamik sistemalar asosi. Ichki energiya. Gazlarning issiqlik sigʻimi. Termodinamikaning 1-qonuni

Berilgan ideal gazning ichki energiyasi deganda, shu gazni tashkil etuvchi barcha molekulalarning betartib tarzdagi ilgarilanma va aylanma harakat kinetik energiyalari bilan molekulalardagi atomlarning betartib tarzdagi tebranma harakat kinetik va potensial energiyalarning yigʻindisi tushuniladi.

Bir atomli molekulaning harakati faqat ilgarilanma harakatdan iborat boʻladi. Lekin ikki va undan ortiq atomlardan tashkil topgan molekulalar ilgari-
lanma harakatdan tashkari aylanma harakatda ham ishtirok etishlari mumkin,

shuningdek ular tarkibidagi atomlar esa yana tebranma harakatda ham ishtirok etishlari mumkin. Shuning uchun molekulaning to`la energiyasi ilgarilanma, aylanma va tebranma harakat energiyalarining yig`indisidan iborat.

To`la energiyani xisoblash uchun erkinlik darajasi tushunchasi bilan tanishib chiqaylik. Jismning fazodagi vaziyatini to`la ravishda ifodalash uchun zarur bo`lgan erkli koordinatalar soniga shu jismning erkinlik darajasi deyiladi.



5-rasm

Moddiy nuqtaning erkinlik darajasi uchga teng ekan. Har qanday atom yoki bir atomli molekula moddiy nuqta deb qaralishi mumkin. Agar molekula bir - biri bilan elastik tarzda bog`langan  $N$  ta atomdan tashkil topgan bo`lsa, molekulaning berilgan vaqtda fazodagi vaziyatini to`la aniqlash uchun  $3N$  ta erkin koordinata zarur bo`ladi. Ya`ni, bunday molekulaning erkinlik darajasi  $3N$  ga teng. Lekin shu molekuladagi istalgan ikki atom orasidagi masofa aniq qiymatga ega bo`lib, u vaqt o`tishi bilan o`zgarmasa, molekulaning erkinlik darajasi $3N$ dan bitta kam bo`ladi. Bunday masofa bir nechta bo`lsa, $3N$ shunday masofalar soniga kam bo`ladi.

Ikki atomli molekula erkinlik darajasi. Ikkala atom orasidagi masofa vaqt o`tishi bilan o`zgarmasa, bunday molekulaning erkinlik darajasi $3N - 1 = 3 \cdot 2 - 1 = 5$ ga va aksincha, atomlar bir-biri bilan elastik ravishda boglangan bo`lsa, yani masofa vaqt o`tishi bilan o`zgarib tursa, 6 ga teng bo`lishi kerak.

Molekula inersiya markazining fazodagi vaziyati X, Y, Z koordinatalari bilan aniqlanadi.

Atomlar orasidagi masofa o'zgarmas bo'lsa, molekulaning fazodagi vaziyatini aniqlash uchun zarur bo'lgan koordinatalar x, y, z va α, β, γ lardan iborat bo'ladi va bunday molekulaning erkinlik darajasi 5 ga teng.

Shunday qilib bir atomli molekulaning erkinlik darajasi 3 ga teng, ikki atomli molekula erkinlik darajasi 5 ga yoki 6 ga teng va xokazo. Demak ilgari- ilanma harakat erkinlik darajasi hamma vaqt 3 ga teng, aylanma va tebranma hara- kat erkinlik darajalari kuzatilayotgan molekulaning harakteriga qarab turli qiymatlarga ega bo'lishi mumkin. Molekulaning erkinlik darajasi i ni ilgari- ilanma, aylanma va tebranma harakatlar erkinlik darajalarining yig'indisidan iborat deb qa- rash mumkin:

$$i = i_{ul} + i_{a\ddot{u}l} + i_{me\breve{o}} \quad (7)$$

Ilgarilanma harakat erkinlik darajasi 3 ga teng ekanligini etiborga olib, il- garilanma harakatning har bir erkinlik darajasiga $\frac{1}{2}kT$ energiya to'g'ri keladi de- gan xulosaga ega bo'lamiz. Umuman, ilgari- ilanma, aylanma va tebranma hara- katning birortasi ikkinchisidan ustun ravishda ajralib turmaydi.

Statistik fizikaning muxim qonunlaridan biri - energiyaning erkinlik darajasi bo'yicha bir xilda taqsimlanish qonuni ilgari- ilanma, aylanma va tebranma hara- katning har bir erkinlik darajasiga o'rtacha $\frac{1}{2}kT$ kinetik energiya to'g'ri kelishini ko'rsatadi.

Demak, erkinlik darajasi i ga teng bo'lgan molekulaning o'rtacha kinetik energiyasi

$$\varepsilon = \frac{i}{2}kT \quad (8)$$

ifoda orqali aniqlanadi. Lekin i ni aniqlashda quyidagilarga etibor berilishi kerak. Molekula ilgari- ilanma yoki aylanma harakatda qatnashayotgan bo'lsa, u faqat ki- netik energiyaga ega buladi. Molekuladagi atomlar tebranma harakatda ham qatnashayotgan bo'lsa, tebranma harakat ham kinetik energiyaga, ham potensial

energiyaga ega bo`ladi va bu kinetik energiyaning o`rtacha qiymati potensial energiyaning o`rtacha qiymati bilan bir xil buladi. Shuning uchun tebranma harakatning har bir erkinlik darajasiga  $2 \frac{1}{2} kT$  energiya to`g`ri keladi.

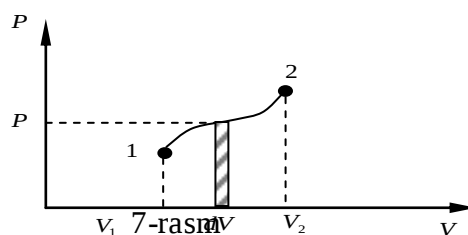
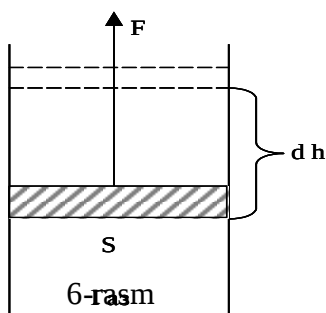
Misol uchun bir mol ideal gazning ichki energiyasi quyidagiga teng:

$$U_M = N_A \langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} k T N_A = \frac{i}{2} R T \quad (9)$$

Ya`ni, ideal gazning ichki energiyasi shu gazni tashkil etuvchi molekulalarning erkinlik darajasiga va gazning haroratiga bog`liq.

Issiqlik o`tkazuvchanlik jarayonida bir sistemadan ikkinchi sistemaga uzatilgan energiyani issiqlik miqdori deb ataladi. Issiqlik miqdori va energiya bir xil birliklarda o`lchanadi. Mexanik harakat energiyasi issiqlik harakati energiyasiga aylanishi va aksincha bo`lishi mumkin. Masalan, ma`lum balandlikdan tashlab yuborilgan jism Er sirtiga tushib unga absolyut noelastik tarzda urilsin. Urilish jarayonida jismning kinetik energiyasi to`la ravishda ichki energiyaga aylanadi.

Natijada jism va Yer sirtining urilishda ishtirok etayotgan qismining haroratlari ortadi. Ya`ni, mexanik energiya issiqlik energiyasiga aylanadi. Issiqlik energiyasining mexanik energiyaga aylanishini esa quyidagi misolda qurish mumkin. Juda osonlik bilan sirpana oladigan porshenli silindrlilik idish ichidagi gazga issiqlik miqdori berilsa, uning harorati ko`tarila boshlaydi va (9) munosabatga asosan, gazni tashkil etuvchi har bir molekulaning ilgarilanma harakati natijasida erishgan kinetik energiyasi orta boshlaydi. Bu esa o`z navbatida gazning idish devoriga ko`rsatayotgan bosimini ortishiga olib keladi. Natijada porshen yuqoriga ko`tarilib, mexanik ish bajariladi (6-rasm).



Bajarilayotgan ish porshenning potentsial energiyasiga aylana boradi. Porshenni yuzi S , gazning idish devoriga ko'rsatayotgan bosimi P bo'lsa, porshenga ta'sir etayotgan ko'taruvchi kuch $F = PS$ buladi. Gazning porshenni dh balandlikka ko'tarishdagi bajargan elementar ishi.

$$dA = Fdh = pSdh = pdV \quad (10)$$

bunda dV - porshenni dh balandlikka kutarilishi natijasida gaz hajmining o'zgarishi, gaz hajmining kengayayotgan xoli uchun dV musbat ishorada buladi. Gazning harorati qandaydir usul bilan sovitilsa yoki muvozanatda turgan porshen ustiga biror yuk qo'yilsa, porshen pastga tusha boshlaydi, gaz hajmi kichraya boradi. Bunday xolda bajarilgan ish manfiy ishorali buladi. Demak, gazning tashqi jismlar ustida bajargan ishi musbat va tashqi kuchlarning gaz ustida bajargan ishi esa manfiy ishorali ekan.

Elementar bajarilgan ish son jihatdan 7-rasmda shtrixlangan yuzaga teng. Sistemaning 1 holatdan 2 xolatga o'tishidagi bajarilgan to'la ish 1-2 chizig'i ostidagi yuzaga teng, ya'ni

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (11)$$

Termodinamika issiqlik va ish kabi jarayonlarni ifodalaydigan nom. 6-sonda biz mexanik harakat orqali bir jismdan boshqa jismga aylanadigan energiya evaziga ish bajarilganini ko'rgandik. O'tgan bobda biz bir jismdan ikkinchi jismga pastroq haroratda issiqlik energiyasini ko'rganmiz. Shuning uchun ham issiqlik ishga o'xshaydi. Ularni farqlash uchun issiqlik temperatura farqi bilan aylanuvchi energiya kabi aniqlanadi. Vaholangki ish turli haroratdan farqli ravishda energiyaning ko'chishidir.

Termodinamika haqida suhbatlashganda biz tez-tez ma'lum sistemalarni yodga olamiz. Sistema biz ko'rib chiqishni xoxlagan narsalar to'plami yoki istalgan predmet. Koinotdagi deyarli barcha narsa o'zining tabiatiga yoki muhitiga ega.

Mazkur bobda biz termodinamikaning II-qonunini tahlil qilamiz. Termodinamikaning 1-qonuni sistema ichki energiyasidagi o'zgarishdan

koʻchadigan issiqlik va ish hamda energiya saqlanish qonunining umumiy tavsifi hisoblanadi. Termodinamikaning 2-qonunida foydali ish bajarishdagi limitlarni hamda aniq bir miqdorga ega boʻlmagan entropy ning atamalarini tez-tez uchratamiz. Ushbu 2 ta qonunlardan tashqari biz shuningdek amaliy qurilmalar yaʼni issiqlik mashinalari, muzlatgichlar, issiqlik nasoslari va havo kondetsionerlariga aloqador bir qancha qurilmalar haqida suhbatlashamiz.

Termodinamikaning birinchi qonuni. Yuqorida biz sistemadagi barcha molekulalar energiyasi yigʻindisi kabi sistemaning ichki energiyasini aniqlaganmiz. Soʻngra sistemning ichki energiyasi ushbu sistemada issiqlik energiyasidan tashqariga oqsa yoki muhitdagi biror narsada ushbu sistema orqali ish bajarilganda ichki energiya kamayadi. Shunday qilib u energiya saqlanishini hamda yopiq sistemada ichki energiyadagi oʻzgarish dU kabi muhim qonunni ifodalab beradi va u issiqlik berish orqali bajarilgan ishning ayirmasiga teng boʻladi.

$$dU = Q - W \quad (12)$$

bunda Q -sistemaga berilgan issiqlik miqdori W -sistemada bajarilgan ish.

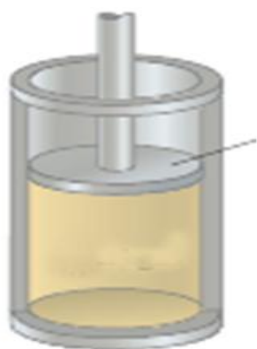
Biz Q va W ning ishoralarida eʼtiborli boʻlishimiz kerak. Chunki (12) tenglikdagi W va U oʻsadi. Shunga oʻxshash Q sistemaga berilgan issiqlik sistemada qolsa, Q manfiy boʻladi. [Ehtiyot boʻling istalgan yerda siz baʼzida sistemada bajarilgan ish kabi hisoblanadigan W ish uchun qarshi saqlanishni uchratishimiz mumkin. [Xuddi (12) tenglikda yozilgan. $dU=Q+W$ kabi]

Termodinamikaning 1-qonuni fizikaning buyuk qonunlaridan biri boʻlib, uning isboti hech qanday qarshiliklarsiz koʻriladigan tajribalarga bogʻliq. Biroq Q va W sistema tashqi yoki ichki koʻchirilgan energiya va ichki energiya oʻzgarishini ifodalaydi. Shuning uchun termodinamikaning 1-qonuni energiya saqlanish qonunining umumiy tavsifi demakdir. Energiya saqlanish qonunini 1800-yillarga qadar ifodalab boʻlmagan. Chunki u energiya koʻchishi kabi issiqlik tavsifiga bogʻliq boʻlgan.

Berilgan sistemada ish yoki issiqlikning aniq qiymatlari yo`q. Asosan ish va issiqlik bir holatdan boshqa holatga o`tdigan sistemani o`zgartira oladigan termodinamik jarayonlarni o`z ichiga oladi. Ular o`zining xarakteristik holatiga ega emas. Sistemaning holatini ifodalaydigan miqdorlar: ichki energiya  $U$ , bosim  $P$ , harorat  $T$ , va massa  $m$  yoki to`lqinlar soni n holat o`zgaruvchilari deyiladi.  $Q$  va  $W$  holat o`zgaruvchilari emas.

Keling termodinamikaning 1-qonunidagi bir qancha jarayonlarini ko`rib chiqaylik. Izotermik jarayon ($dT = 0$)

Dastlab biz juda ham oddiy tizimni tanlaymiz: 10-3-rasmda tasvirlangan harakatlanuvchi porshen bilan siqilayotgan ideal gazning massasini qarab chiqamiz.



8-rasm.

Dastlab biz ideallashtirgan jarayon ya`ni (qo`shimcha issiqlik va bajarilayotgan ish) o`zgarmas haroratda olib borilayotgan tajribadagi berilayotgan issiqlik yoki bajarilgan ishni ko`rib chiqamiz. Ushbu jarayon izotermik jarayon deb ataladi.

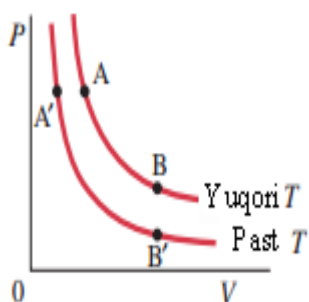
(Nemis tilida “bir xil harorat” degan ma`noni anglatadi.) Agar sistema ideal gaz bo`lsa,

$$PV=nRT \quad (13)$$

bo`ladi. Shuningdek gazning belgilangan qiymati o`zgarmas haroratda saqlangan $PV=\text{const}$. Shunday qilib bosim P va hajm V ning PV diagrammadagi grafigi izotermik jarayon uchun 10-5- rasmdagi AB ga o`xshab qiya bo`ladi. Qiyalikdagi har bir nuqta, misol uchun A nuqta uning bosim P va hajm V ni berilgan momentdagi sistemaning miqdorini ifodalaydi. Pastroq haroratda boshqa izotermik jarayon 9- rasmdagi A' B' ga o`xshashegrilik orqali ifodalanadi. (Bunda  $PV=nRT=\text{const}$  qachonki  $T$  pastroq bo`lganda 10-rasmda tasvirlangan egriliklar izotermik jarayonni ifodalaydi).

Biz issiqlik manbai bilan kontakdagi gazni aniqlaymiz (tananing massasi shunchalik katta bo'ladiki, bunda uning harorati issiqlik bizning sistemamiz bilan almashilganda sezilarli darajada o'zgarmaydi. Biz shuningdek siqilish jarayoni (hajm kamayishi) yoki kengayish (hajm oshishi) juda sekin bajarilganini ko'rishimiz mumkin. Shuning uchun mazkur jarayon bir xil o'zgarmas temperatuda muvozanat miqdorlarining turlari ko'rib chiqiladi.

Agarda gaz 9- rasmda belgilangan A nuqta orqali ifodalangan miqdorda bo'lsa va Q issiqlik miqdori sistemaga berilganda bosim va hajm o'zgaradi hamda sistemaning miqdori diagrammadagi boshqa berilgan B nuqta orqali ifodalanadi. Agarda harorat o'zgarmas qolsa gaz kengayadi va muhitdagi W ishni bajaradi. (u 9- rasmdagi porshenga kuch beriladi va u ma'lum masofaga siljiydi). Harorat va massa o'zgarmas saqlansa, ichki energiya o'zgarmaydi:

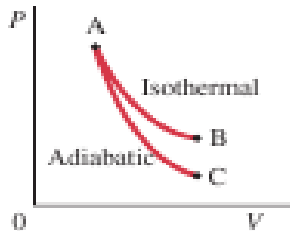


9-rasm.

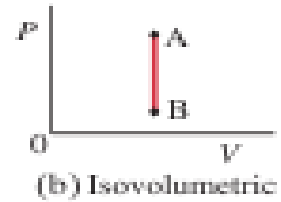
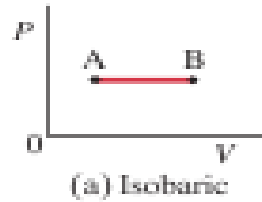
Shundan termodinamikaning birinchi qonuni orqali $dU=Q-W=0$ hosil bo'ladi. Shuning uchun $W=Q$ ya'ni izotermik jarayonda gaz orqali bajarilgan ish issiqlik miqdoriga teng bo'ladi.

Adiabatik jarayon ($Q=0$). Adiabatik jarayon sistema ichidan yoki tashqarisidan hech qanday issiqlik oqmaydigan jarayon hisoblanadi. Ichki yonuv mashinasida gazlarning jadallik bilan kengayishi deyarli adiabatik jarayonlarning na'munalaridan biridir. Ideal gazning adiabetic kengayishi 10- rasmdagi AC egrilik orqali ifodalanadi. Biroq $Q=0$. Biz 10-6 tenglikdan $dU=-W$ ni ko'ramiz. Qachonki gaz kengayganda u ish bajaradi va W musbat bo'ladi, shuning uchun ham ichki energiya oshadi, shunda harorat tushadi (chunki $dU=3/2nRdT$). 10-rasmda ko'rilgan B nuqtaga qaraganda C nuqtada $PV(=nRT)$ kamroq bo'ladi. (Izotermik jarayon uchun AB egrilik bilan ya'ni $dU=0$ va $dT=0$ bo'lgandagi holatni taqqoslang. qaytish jarayonida adiabatik siqilishning (C dan A ga borayotgan) haro-

rat ko'tariladi va ichki energiya oshadi va gazda ish bajariladi. Dizel mashinasida yonilg'I havo aralashmasi 15 yoki undan ortiq omillar orqali adiabatik siqiladi. Bunda harorat keskin oshadi ya'ni mashina o't oldirishsiz avtomatik yonadi.



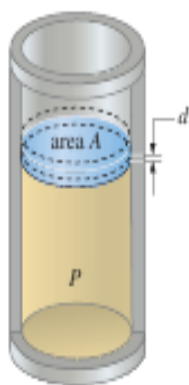
10- rasm.



11-rasm.

Izobarik va izoxorik jarayonlar. Izotermik va adiabatik jarayonlar sodir bo'lishining ikkita imkoni bor. Ushbu ikki termodinamik jarayonlar 10-6- rasmdagi PV diagrammada tasvirlangan : (a) izobarik ya'ni bosim o'zgarmas saqlanadigan jarayon. Shuning uchun PV diagrammada gorizontol to'g'ri chiziq orqali ifodalangan (11-a rasm); (b) Izoxorik jarayon: hajm o'zgarmas bo'lgandagi jarayon (11-b rasm). Ushbu va boshqa jarayonlar termodinamikaning birinchi qonunini ifodalaydi.

Hajm o'zgarganda bajariladigan ish. Bu jarayonda bajarilgan ishni hisoblash uchun kerak bo'lgan qiymat. Agar siz ushbu jarayon mobaynida bosim o'zgarmas (izobarik) saqlansa, bajarilgan ish oson hisoblanadi. Misol uchun agarda gaz 12- rasmdagi kabi porshenga qarshi juda sekin kengaysa porshenni siljitish uchun gaz orqali bajarilgan ish, F kuch va masofa D ga ko'paytmasiga teng bo'ladi. Biroq kuch gaz bosimi P va porshenning A maydoniga ko'paytmasi ham bo'ladi. $F=PA$. Bundan:



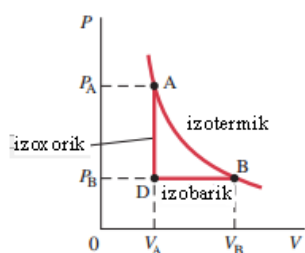
12-rasm.

$$W = F \cdot d = PAd$$

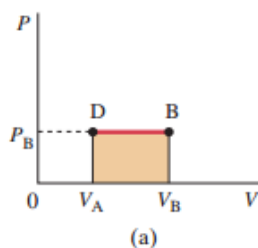
bunda $Ad = \Delta V$, gazning hajmidagi o'zgarish. Shuning uchun:

$$W = P\Delta V \quad (13)$$

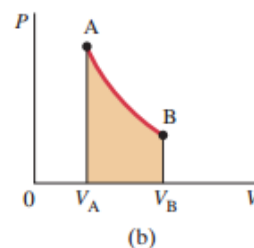
(13) tenglik shuningdek agarda gaz o'zgarmas bosimda siqilganda dV manfiy bo'lishini; (V kamayadi). W ham manfiy qaysiki gazda bajarilgan ishni ifodalaydi. (13) tenglik agarda bosim jarayon davomida o'zgarmas bo'lganda suyuqliklar va qattiq jismlar uchun ham o'rinli bo'ladi. Izoxorik jarayonda (14-b rasm) hajm o'zgarmaydi. Shuning uchun hech qanday ish bajarilmaydi. $W=0$. 12- rasm AB izotermiani ifodalaydi. Biz ADB yo'llar orqali ifodalangan yana boshqa jarayonlarni ham ko'rganmiz. A dan D ga borishda gaz ish bajarmaydi. Chunki hajm o'zgarmaydi. Biroq D dan B ga borishda gaz $P_B (V_B - V_A)$ ga teng ish bajaradi va butun ish ADB jarayonda bajariladi. U holda 13 dagi tenglik ishni aniqlash uchun foydalanilmaydi. (13) tenglikda P uchun o'rtacha qiymatdan foydalanish orqali noto'g'ri qiymatga ega bo'linadi. Aniqroq bo'lishi uchun bajarilgan ish PV egrilik ostidagi maydonga teng bo'ladi. Qachonki bosim o'zgarmas bo'lganda ma'lum bo'ladi, ya'ni 10- rasmdagi bo'yalgan soha $P_B (V_B - V_A)$ bo'ladi va bu bajarilgan ish bo'ladi. Shunga o'xshash izotermik jarayonda bajarilgan ish 14-b rasmda ko'rsatilgan bo'yalgan sohaga teng bo'ladi. Bunda bajarilgan ishni hisoblash grafigidagi maydonni hisblash orqali yoki qiymatlardan foydalanish orqali aniqlanadi.



13-rasm.



14-rasm.



Inson metabolizmi va birinchi qonun Insonlar va boshqa hayvonlar ish bajaradi. Qachonki inson yurganida, yugurganida yoki og'ir narsalarni ko'targanda ish bajariladi. Ish energiya talab etadi. Energiya shuningdek o'sish, yangi hujayralar hosil qilish va nobut bo'lgan eski hujayralar o'rnini to'ldirish uchun kerak bo'ladi. Energiya aylanish jarayonlari organizmda sodir bo'ladi va ular metabolizm sifatida talqin qilinadi.

Biz termodinamikaning birinchi qonuniga murojaat qilamiz.

$$dU=Q-W$$

Organizmga inson tanasini misol qilishimiz mumkin. Ish W tananing turli xil faoliyatlarida bajariladi.



15-rasm.

Agarda bu tananing ichki energiya-sida (va harorat) kamayishiga olib kelmasa, energiya yutuq berishi uchun ichki energiya oshirilishi kerak bo'ladi biroq tananing ichki energiyasiga tanadan oquvchi Q issiqlik orqali yutuq berilamydi. Odatda tanada muhitdagiga qaraganda yuqoriroq harorat bo'ladi. Shuning uchun ham odatda issiqlik tananing tashqi tomoni bo'ylab oqadi.

Hattoki juda ham issiq kunlarda tana o'zining zaruriy jarayonlarni yaxshilash uchun bu issiqlikdan foydalanmaydi. Biz ish qilishimiz uchun qanday energiya manbai kerak bo'ladi. Ichki energiya asosan (kimyoviy potensial energiya oziq-ovqatdan olinadi (15- rasm). Yopiq sistemada ichki energiya bajarilgan ish yoki issiqlik oqishi natijasida o'zgaradi. Ochiq havoda masalan insonda ichki energiya sistemaning ichki yoki tashqi qismi bo'ylab oqadi. Qachonki biz ovqat iste'mol qilganimizda tanamizdagi umumiy ichki energiya U ni oshiradigan energiyani yig'amiz. Bu energiya asosan ish bajarishga sarflansa, issiqlik termodinamikaning birinchi qonuniga muvofiq tanadan oqadi. Metabolik miqdor shunday miqdorki bunda ichki energiya tana ichki qismi bo'ylab aylanadi. Bu odatda vatlarda yoki kkal/h larda aniqlanadi.

Agar kuzatilayotgan gazga ideal gaz tarzida qaralayotgan bo'lsa va kengayis jarayonida harorat o'zgarmasdan qolsa, tashqaridan berilayotgan issiqlik miqdori to'laligicha porshenning potensial energiyasiga aylanib boradi. Sistemaga berilgan elementar issiqlik miqdori dQ sistema tomonidan bajarilgan elementar ish dA va shu jarayonda sistema ichki energiyasining o'zgarishi dU bo'lsa, ular orasidagi o'zaro boglanishni energiyaning saqlanish qonuniga asosan quyidagicha yozish mumkin:

$$Q = dA + dU \quad (14)$$

Sistemaning bir xolatdan ikkinchi xolatga o'tishida ichki energiyasi U_1 dan U_2 gacha o'zgargan va shu bilan bir vaqtda sistemaning tashqi uchlariga qarshi bajargan ishi A ga teng va sistemaga berilgan issiqlik miqdori Q bo'lsa, (14) formula bu jarayon uchun quyidagicha yoziladi:

$$Q = U_2 - U_1 + A \quad (15)$$

(14) va (15) formulalar termodinamika birinchi qonunining matematik ifodasidir. Termodinamika birinchi qonunini quyidagicha ta'riflash mumkin: *sistemaga berilgan issiqlik miqdori sistema ichki energiyasining o'zgarishiga va sistemaning tashqi kuchlarga qarshi ish bajarishiga sarflanadi.*

Sistemaning bir xolatdan ikkinchi holatga o'tishidagi bajarilgan ish va issiqlik miqdori faqat boshlangich hamda oxirgi xolatlariga bog'liq bo'lmasdan, sistemaning birinchi xolatdan ikkinchi xolatga qanday usul bilan o'tganligiga ham bog'liq. Boshqacha so'z bilan aytganda, sistemaning berilgan xolatini harakterlovchi aniq bajarilgan ish va issiqlik miqdori mavjud emas. Ichki energiya esa sistema xolatining funksiyasidir, ya'ni sistemaning har bir xolati aniq ichki energiya bilan harakterlanadi. Sistemaning istalgan xolatdagi ichki energiyasining qiymati sistema bu xolatga qanday usul bilan kelganligiga bog'lik emas. Demak, elementar jarayonda ichki energiyaning o'zgarish jarayoni qanday yo'l bilan sodir bo'lganligiga bog'liq emas.

Bajarilgan elementar ish va elementar issiqlik miqdori jarayon qanday yo'l bilan sodir bo'lganligiga bog'liqdir. Shuning uchun ham dU - to'la differensial bo'lib, dQ va dA - to'la differensial emas degan xulosaga kelish mumkin.

Ideal gazning issiqlik sig'imi. Berilgan jismning issiqlik sig'imi deb, shu jism haroratini bir gradus oshirish uchun jismga berilishi zarur bo'lgan issiqlik miqdoriga teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi:

$$C_{jism} = \frac{dQ}{dT} \quad (16)$$

Jismning issiqlik sig'imi, avvalo, uning massasiga bog'lik. Shuning uchun ham odatda, asosan, solishtirma issiqlik sig'imi va molyar issiqlik sig'implari ko'p ishlatiladi.

Bir jinsli moddaning birlik massasining issiqlik sig'imi solishtirma issiqlik sig'imi deb ataladi.

Bir mol jismning issiqlik sig'imi molyar issiqlik sig'imi deb ataladi. Moddaning molyar issiqlik sig'imi C bilan, shu moddaning solishtirma issiqlik sig'imi c orasida quyidagi munosabat mavjud:

$$C = c M \quad (17)$$

Jism issiqlik sig'imining kattaligi jismga qanday sharoitda issiqlik berilayotganiga bog'liq. Masalan, agar gazga dQ issiqlik miqdori berilayotganida u

kengayib borsa (tashqi kuchlarni engib ish bajaradi), gaz haroratining ortishi hajm o'zgarmaydigan jarayondagiga nisbatan kam bo'ladi.

Endi hajm uzgarmas bulgan sharoitda molyar issiqlik sig'imi C_V va bosim o'zgarmas bo'lgan sharoitda molyar issiqlik sig'imi S_r bilan tanishib chikaylik. Bu issiqlik sig'imlarini nazariy jihatdan gazning ichki energiyasi va bajarilgan ish ifodalari orqali xisoblash mumkin. Hajm o'zgarmay qoladigan sharoit uchun molyar issiqlik sig'imini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$C_V = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_V$$

Hajm o'zgarmas bo'lganligi uchun $dV = 0$:

$$(dQ)_V = dU_M$$

bundan

$$C_V = \left(\frac{dU_M}{dT}\right)_V \quad (18)$$

(18) formuladan ko'rinadiki, C_V ya'ni bir mol ideal gazning hajm o'zgarmay qoladigan sharoitdagi issiqlik sig'imi gaz ichki energiyasining ifodasidan harorat bo'yicha olingan birinchi tartibli xosilasiga teng.

Bir mol ideal gazning ichki enegiyasi $U_M = \frac{i}{2}RT$ ga teng ekanligini etiborga olgan xolda, bu ifodani harorat bo'yicha differensiallab, C_V ni aniqlash mumkin:

$$C_V = \frac{i}{2}R \quad (19)$$

(19) munosabatdan ko'rinib turibdiki, ideal gazning hajmi o'zgarmas bo'lgan sharoitda molyar issiqlik sig'imi gaz molekulalarining erkinlik darajasi orqali aniqlanib, gaz xolatini harakterlovchi parametrlarga bog'liq emas ekan.

Bosim o'zgarmas bo'lgan sharoitda gazga berayotgan issiqlik miqdori gazning ichki energiyasining ortishiga va tashki kuchlarga karshi ish bajarishga sarf buladi. Termodinamika birinchi qonunining ifodalanib, bosim o'zgarmas bo'lgan sharoitda molyar issiqlik sig'imini quyidagicha yozish mumkin.

$$C_p = C_v + R \quad (20)$$

(20) tenglikdan ko`rinib turibdiki, gaz doimiysi  $R$  son jihatdan bosim o`zgarmas bo`lgan sharoitda 1 mol ideal gazning haroratini bir gradusga ko`tarishda gazning tashqi kuchlarga qarshi bajargan ishiga teng ekan.

(20) formula bo`yicha  $C_v$  ning qiymati ni (19) munosabatga keltirib qo`yib, C_r ni yana quyidagicha ifodalash mumkin:

$$C_p = \frac{i}{2}R + R = \frac{i+2}{2}R \quad (21)$$

γ ning C_v ga nisbatini γ orqali belgilab

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i} \quad (22)$$

γ ning qiymati hamma vaqt birdan katta va gazni tashkil etuvchi molekulalarning erkinlik darajalariga bog`liqdir. Klassik nazariya asosida aniqlangan issiqlik sig`imlari C_v va C_r faqat gazni tashkil etuvchi molekulalarning erkinlik darajalariga bog`liq, ya`ni barcha bir atomli gazlar bir xil C_v va C_r ga ega. Tajribalarda olingan ma`lumotlar ko`pchilik ayniqsa, bir atomli va ikki atomli gazlarning molyar issiqlik sig`imlari ma`lum harorat intervalida nazariy xisoblash orqali aniqlangan qiymatlarga juda yaqin ekanligini ko`rsatadi. Lekin murakkab molekullari gazlar uchun tajribada olingan natijalar nazariy jihatdan xisoblangan qiymatlardan farq qiladi.

Nazorat savollari

1. Ideal gazning ichki energiyasi nimaga aytiladi.
2. Jismning erkinlik darajasi deb nimaga aytiladi.
3. Issiqlik sig`imi deb nimaga aytiladi.
4. Termodinamikaning birinchi qonuniga ta`rif bering.
5. Adiabatik jarayon deb qanday jarayonga aytiladi.

Molekulalarning o'rtacha tezligi

Gaz molekulalarining tezligi son jihatidan va yo'nalish bo'yicha ularning bir-biri bilan to'knashuvi natijasida, doimo o'zgarib turadi. Tezlikning barcha yo'nalishlari teng ehtimolli bo'lgani uchun, molekulalar har bir yo'nalish bo'yicha teng taqsimlanadi; har qanday orientirlangan $d\theta$ fazoviy burchak ichida har bir paytda o'rta hisobda bir xil dN sondagi molekulalarning harakat yo'nalishi yotadi. Tezliklarning son qiymatiga kelsak tezlikning 0 dan ∞ bo'lgan qiymatlari bir xil ehtimollik bilan uchramaydi. Chunki to'knashuvlarda molekulalarning tezligi tasodifiy ravishda o'zgaradi. Agar hamma molekulalar bitta molekula bilan to'qnashib unga energiya bersalar ham, bu molekulaning tezligi chekli qiymatga ega bo'ladi (∞ bo'lmaydi). Bu protsess ehtimolligi kichikdir, ya'ni **o'rtacha tezlikdan** katta bo'lgan tezliklar ehtimoli kichikdir.

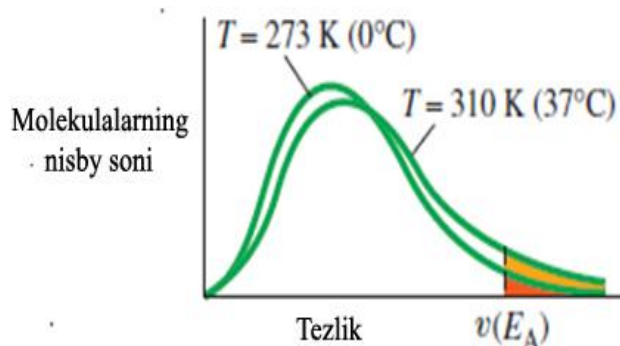
Gaz molekulalari xaotik harakat qiladi, boshqacha aytganda ba'zi molekulalarning tezligi o'rtacha tezlikdan kamroq, boshqalariniki esa ko'proq. 1859 yilda Jeyms Klerk Maksvell (1831-1879) N ta molekuladan iborat gaz tezliklarining eng ehtimolli taqsimoti formulasini keltirib chiqardi. Biz bu erda tegishli isbotini keltirmasdan, faqatgina natijani yozamiz:

$$f(g) = 4\pi N \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} g^2 \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{mg^2}{kT}\right)$$

Real gazlarda tezliklar bo'yicha taqsimot funksiyasini aniqlashga oid tajribalar birinchi marta 1920 yilda amalga oshirilgan. Ular Maksvell taqsimotini (uncha yuqori bo'lmagan bosimli gazlar uchun), shuningdek molekulalarning o'rtcha kinetik energiyasi bilan absolyut temperatura orasidagi to'g'ri proporsionallikni yuqori aniqlikda tasdiqladi.

Berilgan gaz uchun Maksvell taqsimoti faqat absolyut temperaturaga bog'liq. 16-rasmda ikki xil temperatura uchun tezliklar taqsimoti keltirilgan. Temperatura ortishi bilan $g_{o'r.kv}$ kattalik ortishi sababli yuqoriroq temperaturalarda taqsimot egri chizig'i o'ng tomonga siljiydi.

16-rasmdan ko`plab kimyoviy reaksiyalar (jonli hujayralardagi reaksiyalarning ham) tezliklarining ortishini tushuntirish mumkin. Ko`pchilik kimyoviy reaksiyalar suyuq eritmalarda yuz beradi, suyuqlik molekulalari esa Maksvell taqsimotiga yaqin tezliklar taqsimotiga ega. Agar ikkita molekulaning kinetik energiyasi etarlicha katta bo`lsa va to`qnashganda ularning biror qismi bir-biriga singib kirs, ular kimyoviy reaksiyaga kirishishi mumkin. Buning uchun zarur bo`lgan minimal energiya  $E_A$  aktivatsiya energiyasi deyiladi. 16-rasmda biror konkret reaksiya uchun molekulalarning  $E_A$  kinetik energiyaga mos keluvchi tezliklari ko`rsatilgan.



16-rasm.

1. Molekulyar-kinetik nazariyaga asosan, gazni tashkil qilgan molekulalarning tezligini yo`nalishi va kattaligi uzluksiz o`zgarib turadi. Shuning uchun vaqtning biror onida u yoki bu molekulaning ega bo`lishi mumkin bo`ladigan tezligi haqida fikr yuritishga hojat yo`qligi ma`lum. Xuddi shu kabi aniq bir tezlik bilan harakatlanuvchi molekulalar sonini ham aniqlab bo`lmaydi. Lekin, berilgan biror  $T$  haroratdagi tezliklari  $\vartheta$  dan  $\vartheta + d\vartheta$  gacha bo`lgan (ya`ni $d\vartheta$ intervaldagi) molekulalar sonini aniqlash mumkin. Bu holda tezliklar intervali diapazonining har bir kichik $d\vartheta$ ga teng intervalchasiga biror dn molekulalar soni

yoki molekulalarning $\frac{dn}{n}$ ulushi mos keladi. $\frac{dn}{n}$ nisbat faqat $d\vartheta$ ga emas balki,

tezlik ϑ ga ham bog`liqdir. $\frac{dn}{n d\vartheta}$ -nisbatga, molekulalar sonining tezliklar

bo`yicha taqsimot funksiyasi deyiladi. Bu taqsimot funksiyasini birinchi bo`lib,

1860 yilda ingliz fizigi Maksvell nazariy yoʻl bilan ehtimolliklar nazariyasi asosida aniqlagan edi. Taqsimot funksiyasi-Maksvell qonuni deb ataladigan quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\frac{dn}{d\vartheta} = n \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2\kappa T} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{m}{2\kappa T} \vartheta^2} \cdot \vartheta^2, \quad (23)$$

$$\text{yoki} \quad dn = \frac{4}{\sqrt{\pi}} n \left(\frac{m}{2\kappa T} \right)^{3/2} e^{-\frac{m}{2\kappa T} \vartheta^2} d\vartheta. \quad (24)$$

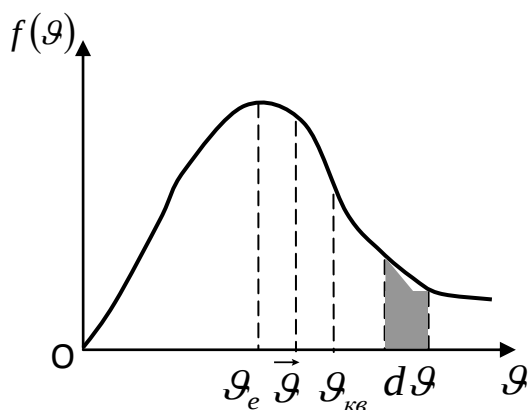
Bu yerda n – gaz molekulalarining umumiy soni, m – molekulaning massasi.

$k = \frac{R}{N_A}$ - Bol`sman doimiysi.

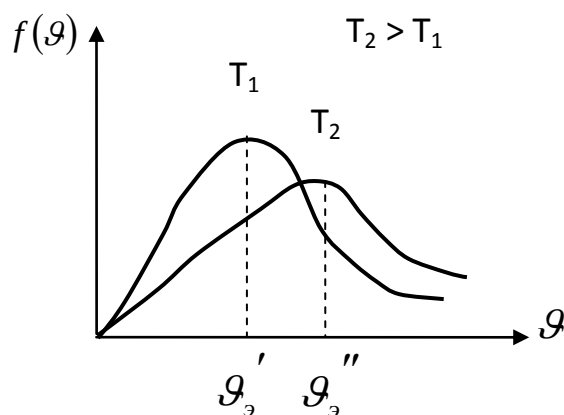
Agar, taqsimot funksiyasi $f(\vartheta) = \frac{dn}{nd\vartheta}$ ning molekulalar oniy tezligiga

bogʻliqligini grafik ravishda ifodalasak, 16-rasmda kelti-

rilgan koʻrinishdagi bogʻlanishni olamiz. Maksvell (24) qonuni bilan keltirilgan grafikni taqqoslashdan koʻrinib turibdiki, bu qonun grafik ravishda koordinatalar boshidan chiqib, $\vartheta = \vartheta_e$ da maksimal qiymatga erishuvchi va soʻng absissalar oʻqiga asimptotik yaqinlashuvchi egri chiziqdan iborat ekan. Rasmdan, kichik tezlikli va katta tezlikli molekulalar ulushi kam ekanligi, hamda koʻpchilik molekularning tezligi eng katta ehtimolli tezlikka yaqin ekanligi yaqqol koʻrinib turibdi.



17 – rasm.



18 – rasm.

Ehtimolli tezlik qiymatini topish uchun

$$f(\vartheta) = \frac{dn}{n d\vartheta} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{u}{2\kappa T} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{u\vartheta^2}{2\kappa T}} \vartheta^2 \text{ funksiyadan}$$

ϑ bo'yicha olingan birinchi tartibli hosilani nolga tenglaymiz:

$$f'(\vartheta) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2\kappa T} \right)^{\frac{3}{2}} \left[e^{-\frac{m\vartheta^2}{2\kappa T}} \cdot 2\vartheta - \vartheta^2 e^{-\frac{m\vartheta^2}{2\kappa T}} \cdot \frac{2m\vartheta}{2\kappa T} \right] = 0.$$

Katta qavs ichidagi ifodani nolga tenglab, $\vartheta^2 = \frac{2\kappa T}{m}$ yoki

$$\vartheta = \sqrt{\frac{2\kappa T}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{mN_A}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} \approx 1,41 \sqrt{\frac{RT}{\mu}} \quad (25)$$

ekanligini topamiz.

Demak, Maksvell qonunidan gaz holati ϑ_e dan tashqari yana $\bar{\vartheta}$ va ϑ_{kv} tezliklar bilan xarakterlanishi kelib chiqadi.

$$\bar{\vartheta} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \approx 1,60 \sqrt{\frac{RT}{\mu}}, \quad (26)$$

$$\vartheta_{kv} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \approx 1,73 \sqrt{\frac{RT}{\mu}}. \quad (27)$$

Bulardan $\vartheta_{kv} > \bar{\vartheta} > \vartheta_e$ ekanligi ko'rinib turibdi.

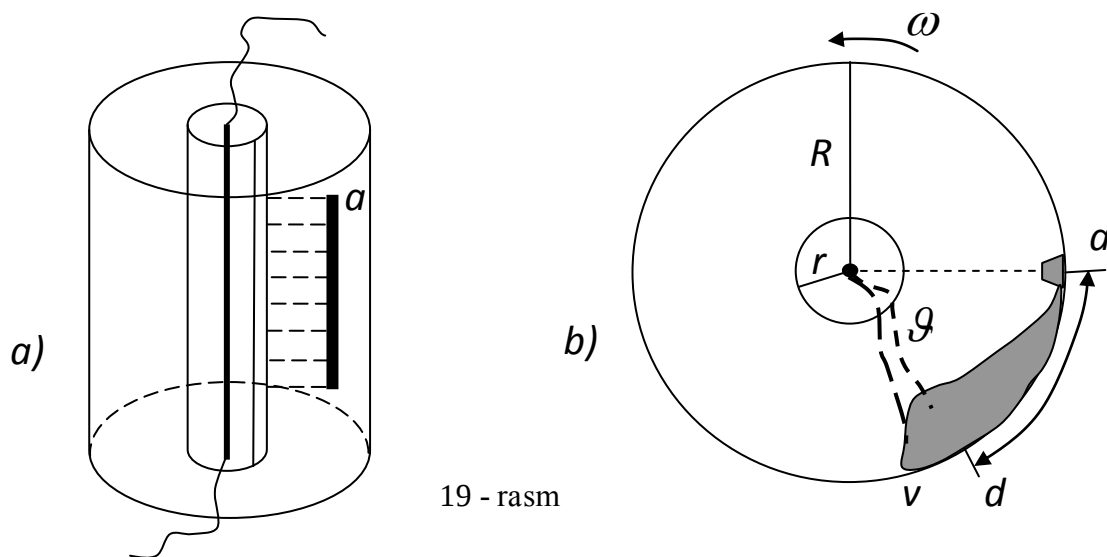
Rasmdagi shtrixlangan yuza $\Delta S = d\vartheta \cdot \frac{dn}{n d\vartheta} = \frac{dn}{n}$ ga teng, bu elementar yuza

$d\vartheta$ intervaldagi tezlikka ega bo'lgan molekularlar soniga teng. Butun taqsimot egri chizig'i bilan absissalar o'qi orasidagi yuza gaz molekularining umumiy soni n ga teng.

Agar harorat o'zgarsa ($T_2 > T_1$), barcha molekularning tezliklari nisbatan ortadi. Shuning uchun $T_2 < T_1$, bo'lsa, taqsimot egri chizig'i chapga torayib ko'tariladi va suriladi. $T_2 > T_1$ bo'lsa, o'ngga suriladi va kengayib pasayadi.

2. Maksvell qonunini tajribada 1920 yil nemis fizigi Shtern, 1929 yilda Lamert, keyinchalik 1947 yilda Istermon va Simpsonlar birgalikda tekshirib ko'rib

tasdiqlashgan. Shu tajribalardan, Shtern tajribasini chizmasi (19-rasm) da keltirilgan.



19 - rasm

Shtern qurilmasi - bir-biriga mahkamlangan asoslari germetik berkitilgan, umumiy o`qi bo`ylab kumushlangan platina ingichka sim tortilgan va ichidan havosi so`rib olingan ikki silindrdan iboratdir. Simni tok bilan  $1000^{\circ}C$  gacha qizdirilganda kumush bug`lanib ichki silindrni tor tirqishidan chiqqan kumush atomlari (molekulalar) tashqi silindrni ichki sirtiga borib urilishi natijasida torgina biror qalinlikdagi a kumush qatlamini hosil qiladi. Agar qurilma ω tezlik bilan aylantirilsa, kumush atomlari tirqishning qarshisida emas, balki (aylanish yo`nalishiga nisbatan) orqada o`tirib qolib, qalinligi bir xil bo`lmagan keng ( $ab$ ) polosa hosil qiladi. Keng polosani hosil bo`lishiga sabab shuki, turli atomlarning tezligi turlichaligidan, tezligi kattaroq atomlar a polosoning boshlanishiga yaqinroq, tezligi kichikroq atomlar polosaning oxiri (b) ga yaqinroq o`tirgan. Polosa qalinligini turlicha bo`lishiga sabab esa, atomlar harakatining turli tezliklariga to`g`ri keladigan atomlar soni turlichaligidir. Ya`ni yupqa joylarga kam sondagi atomlar, qalin joyga ko`p sondagi atomlar tushgan. Shunday qilib, polosa qirqimini har bir joyi (masalan d) ma`lum tezlikka va o`tirgan atomlarning ma`lum soniga to`g`ri keladi, polosa ko`ndalang qirqimini ko`rinishi (19-b-rasm) atomlar sonining tezliklar bo`yicha taqsimotini xarakterlaydi. Shu jihatdan Maksvell grafigi (19-rasmga qarang) va kumush polosa qirqimi ko`rinishlari orasida juda yaqin

o'xshashlik bor, bu albatta Maksvell qonunining to'g'riligini sifat jihatdan tasdiqlovchi dalildir. Bu taqsimotni miqdor jihatdan baholash uchun polosa ko'ndalang qirqimining bir necha joylari uchun ϑ tezliklarni va bu joylarning har birida o'tirib qolgan atomlar soni $dn/d\vartheta$ ni aniqlash kerak. $dn/d\vartheta$ ni polosa qal'inligidan (optik usul bilan) d joyidagi, tegishli tezlik ϑ ni esa polosa boshi (a) dan shu joy (d) gacha bo'lgan masofa S ga ko'ra aniqlanadi. U holda $S=\vartheta \cdot t=\omega R t$ va $R=\vartheta t$ dan $\frac{R}{S}=\frac{\vartheta}{\omega R}$ bundan $\vartheta=\frac{\omega R^2}{S}$ ga teng bo'ladi. ω va R lar qurilma xarakteristikalari sifatida ma'lum, S -esa bevosita o'lchash orqali aniqlanadi. O'tkazilgan tajriba ma'lumotlari Maksvell nazariy qonuni natijalari bilan mos kelishini tasdiqladi.

3. Biror h balandlikdagi atmosfera bosimi shu balandlikdan yuqoridagi havo qatlamlarining og'irligi tufayli yuzaga keladi.

h dagi bosimni P desak, $h+dh$ da $P+dp$ bo'ladi. ($dh>0$ bo'lsa $dp<0$ bo'ladi, chunki og'irlik va bosim balandlik oshgan sari kamayadi).

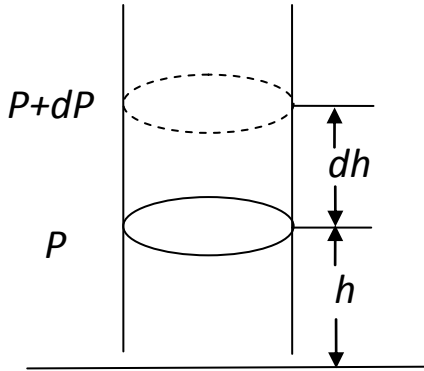
Birlik yuzaga ega bo'lgan balandligi dh bo'lgan silindr ichidagi gazning og'irligi $\rho g dh=P-(P+dp)$ ga teng bo'ladi (20-rasm).

Bundan $dP = -\rho g dh$ (28) Nor-

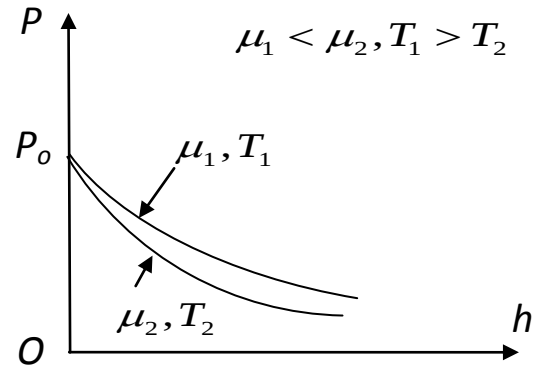
mal sharoitga yaqin sharoitlarda atmosfera tarkibidagi gazlarning xossalari ideal

gaz xossalariidan kam farq qilganligi uchun $PV = \frac{m}{\mu} RT$ dan foydalanib

$\rho = \frac{m}{V} = \frac{P\mu}{RT}$ ni topamiz. Buni (16.6) ga



20 – rasm



21 – rasm

qo`ysak  $dP = -\frac{P\mu g}{RT} dh$  hosil bo`ladi. Bundan

$$\frac{dP}{P} = -\frac{\mu g}{RT} dh. \quad (29)$$

$$T = \text{const} \quad \text{deb} \quad \ln P = -\frac{\mu g h}{RT} + \ln C. \quad (30)$$

$$(16.8) \text{ ni potensirlab, } P \text{ ni topamiz: } P = C e^{-\frac{\mu g h}{RT}}. \quad (31)$$

$$\text{Agar } h=0 \text{ bo`lsa } P_0=C. \text{ U holda } P = P_0 e^{-\frac{\mu g h}{RT}}. \quad (32)$$

Bu formula barometrik formula deb ataladi. Bunda gaz qancha og`ir ( $\mu$  qancha katta) va harorat qancha past bo`lsa, bosim shunchalik tez kamayadi degan xulosa chiqadi.

21-rasmda μ lari har xil ($T_1=T_2$) va T lari har xil ($\mu_1=\mu_2$) bo`lgan hollar uchun  $P$  bilan  $h$  orasidagi bog`lanish berilgan:

4. Barometrik formuladagi P ni nkT ga almashtirib, hajm birligidagi molekullar sonining h qarab o`zgarish qonunini topamiz:

$$n = n_0 e^{-\frac{\mu g h}{RT}}. \quad (33)$$

Agar, $\mu = mN_A$ va $k = \frac{R}{N_A}$ ekanligini e'tiborga olsak:

$$n = n_o e^{-\frac{mgh}{kT}}, \quad (34)$$

m – bitta molekulaning massasi.

$T=0$ da $h=0$ bo'lib qoladi. Bunda barcha molekulalar Yer sirtiga tushib qolgan bo'lardi. Yuqori haroratlarda n balandlikka qarab sekinroq kamayadi, natijada balandlik bo'yicha molekulalar bir tekis taqsimlanar edi. Buning sababi oddiy. Molekulalarning balandlik bo'yicha har bir konkret taqsimoti ikkita tendensiyaning ta'siri natijasida qaror topadi. 1) Molekulalar mg kuch ta'sirida Yerga tushishga intiladi. 2) kT bilan xarakterlanuvchi issiqlik harakati molekulalarni barcha balandliklar bo'yicha tekis sohib yuborishga intiladi. m qancha katta, T qancha kichik bo'lsa birinchi tendensiya kuchliroq ta'sir ko'rsatadi va molekulalar Yer sirtiga yaqin joylashadi. Oxir oqibat $T=0$ da molekulalar Yer sirtida joylashadi. T yuqori bo'lganda issiqlik harakati ustunlik qiladi va molekulalarning zichligi balandlikka qarab sekin kamayadi.

Har xil balandlikda molekula har xil potensial energiya zapasiga ega bo'ladi:

$$\varepsilon_r = mgh. \quad (35)$$

$$\text{U holda (11.12) ni} \quad n = n_o e^{-\frac{\varepsilon_p}{kT}}, \quad (36)$$

deb yozsak bo'ladi. ε_p kam joylarda molekulalar zichroq va aksincha bo'lib joylashadi.

Molekulaning potensial energiyasi qiymatlari ε_{p1} va ε_{p2} bo'lgan nuqtalardagi n_1 va n_2 larning nisbati quyidagiga teng.

$$\frac{n_1}{n_2} = e^{-\frac{\varepsilon_{p1} - \varepsilon_{p2}}{kT}}. \quad (37)$$

(36) taqsimotga Bol'sman taqsimoti deb ataladi va bu har qanday kuchlarning har qanday potensial maydonlari uchun ham to'g'ridir.

Maksvell qonunini, ko`p sondagi  $n$  molekulalar uchun energetik ko`rinishdagi ifodasi

$$dn_g = n4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mg^2}{2kT}} g^2 dg$$

bilan Bol`smen taqsimotining (36) ifodasini bitta Maksvell-Bol`smen qonuni qilib birlashtirish mumkin:

$$dn_{\varepsilon_p, g} = n_o 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{\varepsilon_p + \frac{mg^2}{2}}{kT}} g^2 dg \approx e^{-\frac{E}{kT}} g^2 dg. \quad (38)$$

ε_p va $\frac{mg^2}{2}$ kabi E ham diskret qiymatlar qabul qila oladi.

Agar E to`liq energiya  $E_1, E_2, \dots, E_i$  diskret qiymatlarni qabul qila olsa, Bol`smen taqsimotining ko`rinishi quyidagicha bo`ladi:

$$N_i = Ae^{-\frac{E_i}{kT}}. \quad (39)$$

N_i - energiyasi E_i bo`lgan holatdagi zarrachalarning soni. A - quyidagi shartni qanoatlantiradigan proporsionallik koeffisienti:

$$\sum N_i = A \sum e^{-\frac{E_i}{kT}} = N. \quad (40)$$

N - tekshirilayotgan sistemadagi zarralarning umumiy soni.

(40) dan topilgan A ni qiymatini (39) ga qo`yib, energiyaning qiymatlari diskret bo`lgan holga tegishli Bol`smen taqsimotining uzil-kesil ifodasini topamiz:

$$N_i = \frac{Ne^{-\frac{E_i}{kT}}}{\sum e^{-\frac{E_i}{kT}}}. \quad (41)$$

Nazorat uchun savollar

1. Molekulalarning tezliklar bo`yicha taqsimot funksiyasi deb nimaga aytiladi?
2. Maksvell qonunini tushuntiring.
3. Maksvell qonunida nima aniqlanadi? Uning ifodalarini yozing.

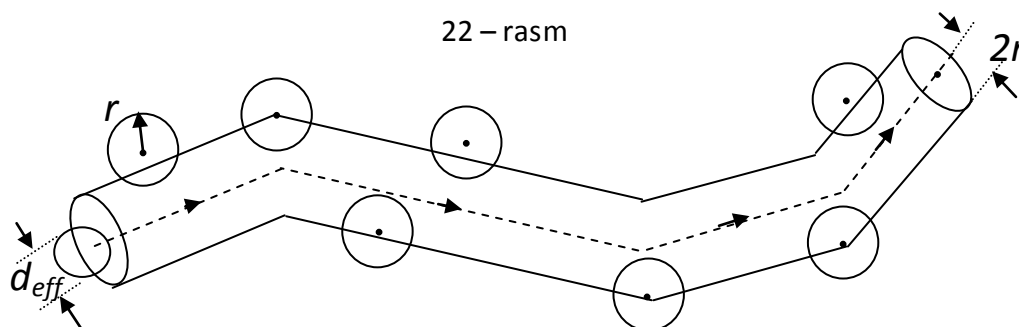
4. Eng katta ehtimollik deganda nimani tushunasiz?
5. Harorat o'zgarganda taqsimot chizig'ini o'zgarishini izohlang.
6. Shtern tajribasining mohiyatini izohlab bering.

Real gazlar. Vandervakms tenglamasi. Real gazning ichki energiyasi

Issiqlik harakati xaotik bo'lgani uchun gaz molekularining traektoriyasi siniq chiziqlardan iborat bo'ladi, bu siniq chiziqlar molekularning bir-biri bilan to'qnashishi tufayli bo'ladi. Molekulaning ikkita ketma-ket to'qnashishlari orasida o'tgan yo'li molekulaning erkin yugurish yo'li uzunligi λ deyiladi. λ -hamma vaqt o'zgarib turadi. Shuning uchun, o'rtacha erkin yugurish yo'li uzunligi $\bar{\lambda}$ tushunchasi kiritilgan. $\bar{\lambda}$ ni aniqlash uchun molekulaning bir sekundda o'tgan butun yo'lini molekulaning bir sekunddagi o'rtacha to'qnashishlar soni $\bar{Z}$ ga bo'lish kerak, molekulaning bir sekundda o'tgan yo'li son jihatdan uning o'rtacha ϑ tezligiga teng, ya'ni

$$\bar{\lambda} = \frac{\vartheta}{\bar{Z}}. \quad (42)$$

$\bar{Z}$ ni topish uchun molekullarni r radiusli sharcha deb ularning o'lchamlarini nazarga olamiz (22-rasm). Molekulalardan bittasini (rasmdagi chapdagi eng chekka molekulani) fikran kuzatamiz, qolganlarini vaqtincha harakatsiz deb hisoblaymiz.



Biz kuzatayotgan molekula markazlari $2r$ radiusli siniq silindr ichidagi molekulalar bilangina to'qnashadi. Demak, bir sekunddagi o'rtacha to'qnashishlar soni $\bar{Z}$ siniq silindrning V hajmidagi molekulalar soni n ga teng:

$$\bar{Z}=n \text{ yoki } \bar{Z}=n_o V .$$

$V=S \cdot \bar{g} = \pi (2r)^2 \cdot \bar{g} = 4\pi r^2 \cdot \bar{g}$ desak (yo'l qo'yilgan xatoni nazarga olmasa ham bo'ladi).

$$\bar{Z}=4\pi r^2 n_o \bar{g} . \quad (43)$$

$2r=d_{eff}$ - effektiv diametr deyiladi.

$$\text{Maksvell } \bar{Z} \text{ ni aniq hisoblab } \bar{Z} = 4 \cdot \sqrt{2} \cdot \pi r^2 n_o \bar{g} \quad (44)$$

ekanligini topgan.

$\bar{Z}$ ning (44) qiymatini (42) ga qo'yib:

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi r^2 n_o \bar{g}} . \quad (45)$$

Bu formulaga asosan $\bar{\lambda}$ haroratga bog'liq emas. Tajriba esa harorat ortishi bilan $\bar{\lambda}$ ning bir oz ortishini ko'rsatadi. Buning sababi shuki, harorat ortishi bilan $\bar{g}$ ortadi, natijada molekulalar itarishish kuchlarini yengib, bir-biriga yaqinlashadi, sharsimon modelni radiusi, siniq silindr hajmi va to'qnashishlar soni kamayadi. Shuning uchun $\bar{\lambda}$ ortadi.

O'rtacha erkin yugurish yo'lining haroratga bog'lanishi Sezerlend formulasi bilan ifodalanadi:

$$\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_o \cdot \frac{T}{C+T} , \quad (46)$$

bu yerda $\bar{\lambda}_o$ - (45) formulaga ko'ra xisoblangan o'rtacha erkin yugurish uzunligining qiymati, C – tajriba yo'li bilan aniqlanadigan doimiy kattalik. Bundan tashqari agar $P = n_o kT$ ekanligini e'tiborga olsak:

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi r^2 n_o} = \frac{kT}{4\sqrt{2} \cdot \pi r^2 P} . \quad (47)$$

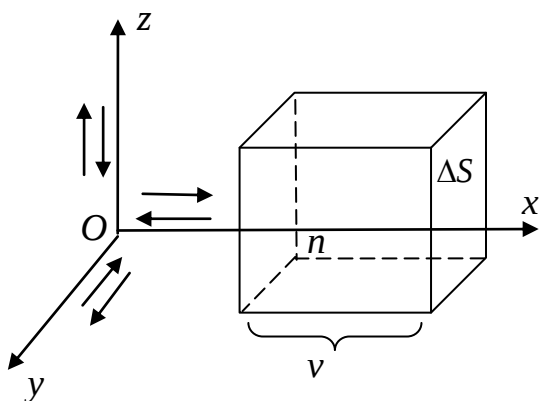
Gaz bosimi kamayganda $\bar{\lambda}$ oshadi. Masalan, kislorod bosimi 130 Pa da $\bar{\lambda} \approx 1 \cdot 10^{-4}$ m; bosim $1,3 \cdot 10^{-4}$ Pa da esa $\bar{\lambda} \approx 10$ m bo'ladi.

1. Sistemaning holatini belgilovchi kattaliklarning qiymati o'zgarmasa, sistema termodinamik muvozanatda bo'ladi. Biror sabab tufayli sistema muvozanat holatda bo'lmasa yoki muvozanat holatdan chiqarilgan, lekin o'z holicha qoldirilgan bo'lsa, mazkur sistemada shunday jarayonlar amalga oshadiki, natijada sistema muvozanat holatga qaytadi. Sistemaning termodinamik muvozanat holatiga o'z-o'zidan o'tish jarayonini *relaksatsiya* deb, o'tishga sarflanadigan vaqtni esa *relaksatsiya vaqti* deb ataladi. Termodinamik muvozanatni qaror topishida ko'chish hodisalari muhim rol o'ynaydi. Gazlarni termodinamik muvozanat qaror topish jarayonida gaz molekulalarining xaotik harakati ma'lum yo'nalishda kuchayadi, ya'ni xaotik harakatdagi gaz molekulalari to'plami tartibli harakatda ishtirok eta boshlaydi. Bunday hollarda xaotik harakat qilayotgan molekulalar tufayli gazlarda massa, impul's yoki energiyaning ma'lum yo'nalishda ko'chishi ro'y beradi. Gazlarning *ko'chishi* deb, termodinamik muvozanatda bo'lmagan holatdagi gazning termodinamik muvozanatda bo'lgan holatga o'tish jarayoniga aytiladi. Bu paytda ro'y beradigan hodisalarga gazlardagi ko'chish hodisalari deyiladi. Bunday hodisalarga gazlardagi diffuziya, ichki ishqalanish va issiqlik o'tkazuvchanlik hodisalari kiradi. Bu hodisalarning sababi, gaz molekulalarining o'z fizik xarakteristikalarini: massa (diffuziya) yoki energiyasi yoki harakat miqdorlarini ko'chirish xususiyatidir.

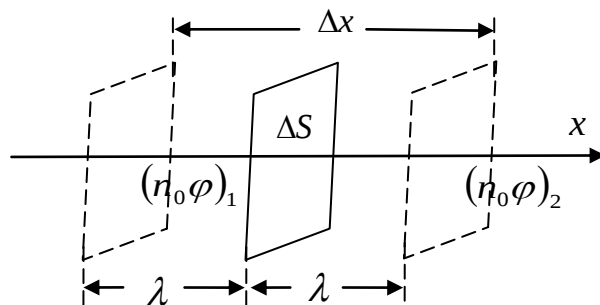
Molekulyar-kinetik nazariya tasavvurlariga asoslanib barcha ko'chish hodisalariga tegishli umumiy bo'lgan ko'chish tenglamasini chiqarish mumkin. Bu maqsadda dastavval vaqtning Δt oralig'i ichida tekshirilayotgan gazda joylashgan fikran olingan ΔS yuza orqali o'tgan molekulalar sonini aniqlaylik (23- rasm). OX o'qini ΔS yuzaga perpendikulyar joylashtiramiz. Bu o'q bo'ylab barcha molekulalarning $\frac{1}{3}$ qismi harakatlanadi: $\frac{1}{6}$ qismi chapdan o'ngga, $\frac{1}{6}$ qismi o'ngdan chapga harakatlanadi. Bunda vaqt birligi ichida ΔS yuza orqali chapdan o'ngga asosi

ΔS , balandligi molekulalarning o`rtacha harakat tezligi  $\vec{g}$  ga teng bo`lgan to`g`ri burchakli parallelepiped hajmidagi

barcha molekulalarning $\frac{1}{6}$ qismi, ya`ni  $\frac{1}{6} n_0 \Delta S \vec{g}$  dona molekula o`tdi (n_0 – molekulalar konsentratsiyasi). U holda Δt da ΔS orqali bir yo`nalishda  $n = \frac{1}{6} n_0 \Delta S \vec{g}$  dona molekula o`tdi.



23– rasm



24 – rasm

Bu sondagi molekulalar ΔS yuza orqali o`zlarining fizik xarakteristikalari (massa, impul`s, ...) qiymatlarini ham olib o`tdi. Umumiy ko`chish mexanizmini tekshirayotganimiz uchun, qaysi fizik xarakteristikalarini ko`chirib o`tayotganligini hozircha konkretlash-tirmaymiz va bu xarakteristikani φ harfi bilan belgilab qo`ya qolamiz. Bunda  $\Delta t$  da  $\Delta S$  yuz bo`ylab bir yo`nalishda olib o`tilgan fizik xarakteristika miqdori quyidagiga teng bo`ladi:

$$n\varphi = \frac{1}{6} (n_0 \varphi) \Delta S \vec{g} \Delta t. \quad (48)$$

Teskari yo`nalishda ham shuncha miqdor olib o`tilganligi ravshan. Endi biz ko`rayotgan gaz o`zining hossalari jixatdan bir jinsli emas deb faraz qilaylik. U holda gaz hajmining turli joylarida n_0 , φ va $n_0 \varphi$ ham turlicha bo`ladi.  $n_0 \varphi$  miqdor  $OX$  o`qini musbat yo`nalishida  $\Delta S$  yuzdan chap tomonda  $(n_0 \varphi)_1$  ga va undan o`ng tomonda $(n_0 \varphi)_2$ ga teng bo`lgan holda kamayib bormoqda desak:

$$\Delta(n\varphi) = (n\varphi)_1 - (n\varphi)_2 = \frac{I}{6} [(n_o\varphi)_1 - (n_o\varphi)_2] \cdot \bar{g} \Delta S \Delta t. \quad (49)$$

Endi $n_o\varphi$ qiymatni ΔS yuzdan qanday masofada olishimizni quyidagi fizik mulohazalarga asoslanib aniqlaymiz. φ ning qiymatlarini almashinishi va n_o konsentraciyaning o'zgarishi faqat molekulalarning o'zaro to'qnishuvida bo'ladi, demak, molekulalar o'rtacha erkin yugurish uzunligiga teng $\bar{\lambda}$ masofadagina bo'ladi. $n_o\varphi$ ning qiymatini ana shu masofalarda olamiz (24 – rasm).

(49) ni o'ng tomonini $2\bar{\lambda}$ ga ko'paytirib va bo'lib quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\Delta(n\varphi) = \frac{I}{3} \frac{(n_o\varphi)_1 - (n_o\varphi)_2}{2\bar{\lambda}} = \bar{\lambda} \bar{g} \Delta S \Delta t \quad (50)$$

Rasmdan ko'rinib turibdiki:

$$\frac{(n_o\varphi)_1 - (n_o\varphi)_2}{2\bar{\lambda}} = \frac{\Delta(n_o\varphi)}{\Delta x}. \quad (51)$$

$\frac{\Delta(n_o\varphi)}{\Delta x}$ - gradient, ya'ni $n_o\varphi$ kattalikning gradienti. U holda (50) formula mana

bunday ko'rinishga keladi:

$$\Delta(n\varphi) = -\frac{I}{3} \bar{\lambda} \cdot \bar{g} \frac{\Delta(n_o\varphi)}{\Delta x} \cdot \Delta S \Delta t. \quad (52)$$

φ fizik kattalikning ko'chish gradientiga teskari yo'nalganligi uchun minus ishorasi qo'yilgan. (52) ifodaga ko'chishning tenglamasi deb ataladi. Bu yerda φ fizik kattalik, ko'chirilayotgan kattalikka qarab, massa, zichlik, energiya, impul's va hokazo bo'lishi mumkin. Bu tenglama asosida konkret ko'chish hodisalari: difuziya, issiqlik o'tkazuvchanlik va ichki ishqalanish hodisalarini ko'rib chiqamiz.

2. Turli xil modda molekulalarining o'zaro aralashib ketish hodisasiga *d i f f u z i y a* hodisasi deyiladi. Biror hajmdagi gazning zichligi bir jinsli emas va gazning ρ zichligi OX o'qi yo'nalishida kamayadi deylik. Ko'chish tenglamasidagidek mulohazalar va $\rho = \frac{m}{V} = n_o m$ ni e'tiborga olib, $n\varphi = \rho = n_o m$ va

$\Delta(n\varphi) = \Delta(nm) = \Delta M$ belgilashlardan foydalanib, diffuziya hodisasi uchun quyidagicha yozamiz:

$$\Delta M = -\frac{1}{3} \bar{\lambda} \cdot \bar{g} \cdot \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \cdot \Delta S \cdot \Delta t, \text{ yoki} \quad (53)$$

$$\frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{g} = D \text{ deb belgilab quyidagicha yozishimiz mumkin:} \quad (54)$$

$$\Delta M = -D \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \Delta S \cdot \Delta t. \quad (55)$$

(55) ifodaga diffuziya tenglamasi yoki Fik qonuni deyiladi.

D – diffuziya koeffitsienti. O'lchov birligi SI: m^2/s , SGS: sm^2/s .

$\bar{\lambda} \sim \frac{1}{\rho}$ va $\bar{g} \sim \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ bo'lganligidan D gazning turi (μ) va gazning holati (P va T)

ga bog'liqdir. Turli gazlar uchun (54) o'rinlidir.

3. Biror hajmdagi gazda T , OX – o'qi yo'nalishida kamayayotgan bo'lsin. U holda ΔS dan λ masofalarda $T_1 > T_2$ bo'ladi. Gaz molekulasiining kinetik energiyasi

$$W = \frac{i}{2} kT, \quad (56)$$

bo'lgani uchun $W_1 > W_2$ bo'ladi. $\varphi = W$ va butun hajmda molekulalarning n_0 konsentrasiyasi bir xil deb hisoblab

$$\Delta(n_0\varphi) = \Delta(n_0W) = \Delta\left(n_0 \frac{i}{2} kT\right) = n_0 \frac{i}{2} k\Delta T, \quad (57)$$

hamda $\Delta(n\varphi) = \Delta(nW) = \Delta Q$ deb, ko'chish tenglamasini yozamiz:

$$\Delta Q = -\frac{1}{3} \bar{\lambda} \cdot \bar{g} \cdot n_0 \frac{i}{2} k \frac{\Delta T}{\Delta x} \cdot \Delta S \cdot \Delta t.$$

Bu tenglamaning o'ng va chap tomonini molekula massasi m ga bo'lib, va

$k = \frac{R}{N_A}$ ekanligini nazarga olib, quyidagicha yozish mumkin:

$$\Delta Q = -\frac{1}{3} \bar{\lambda} \cdot \bar{g} \cdot \frac{n_0 m}{N_A m} \frac{i}{2} R \frac{\Delta T}{\Delta x} \cdot \Delta S \cdot \Delta t,$$

$n_o m = \rho$, $N_A m = \mu$ va $\frac{i}{2} R = C_v$ bo`lgani uchun

$$\Delta Q = -\frac{1}{3} \bar{\lambda} \cdot \bar{g} \cdot \rho \frac{C_v}{\mu} \frac{\Delta T}{\Delta x} \cdot \Delta S \cdot \Delta t \quad (58)$$

Biroq $\frac{C_v}{\mu} = c_v$ ga teng, bu yerda C_v – o`zgaras hajmdagi mol issiqlik sig`imi, c_v – gazning o`zgaras hajmdagi solishtirma issiqlik sig`imi.

$$\Delta Q = -\frac{1}{3} \bar{\lambda} \cdot \bar{g} \cdot \rho \cdot c_v \frac{\Delta T}{\Delta x} \cdot \Delta S \cdot \Delta t = \chi \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta S \Delta t. \quad (59)$$

Bu tenglamani Fur`ye tenglamasi deb ataladi.

4. Gazning laminar oqimida uning oqim tezligi OX yo`nalishida kamayayotgan bo`lsin deb faraz qilaylik va ko`chish tenglamasini qo`llab bunday holda ko`chiriluvchi fizik xarakteristika molekulaning impul`si ekanligini qayd qilaylik:

$$\varphi = K = m g. \quad (60)$$

U holda n_o ni bir xil deb (butun hajm bo`yicha)

$$\Delta(n_o \varphi) = \Delta(n_o K) = \Delta(n_o m g) = n_o m \Delta g. \quad (61)$$

$$\text{Bundan tashqari } \Delta(n \varphi) = \Delta(n K) = \Delta K. \quad (62)$$

$\Delta K = F \cdot \Delta t$ bo`lganligidan (17.15) ni quyidagicha yozamiz:

$$\Delta(n \varphi) = \Delta K = F \Delta t. \quad (63)$$

(17.14) va (17.16) dan ko`chish tenglamasini ko`rinishi quyidagicha yoziladi:

$$F \Delta t = -\frac{1}{3} \bar{\lambda} \cdot \bar{g} \cdot n_o \frac{\Delta g}{\Delta x} \cdot \Delta S \cdot \Delta t \text{ yoki}$$

$$F = -\frac{1}{3} \bar{\lambda} \cdot \bar{g} \cdot \rho \frac{\Delta g}{\Delta x} \cdot \Delta S, \quad (64)$$

$$\frac{1}{3} \bar{\lambda} \cdot \bar{v} \cdot \rho = \eta, \quad (65)$$

$$F = -\eta \frac{\Delta v}{\Delta x} \cdot S. \quad (66)$$

(66) ifoda ichki ishqalanish tenglamasi yoki N`yuton qonuni deyiladi. η - ichki ishqalanish (yopishqoqlik) koeffitsenti deyiladi.

O`lchov birligi SI: kg/m s , SGS: g/sm s .

η ham bosimga bog`liq emas, xuddi  $\chi$  ga o`xshab, D , χ va η lar orasida quyidagicha munosabatlar bor:

$$\frac{\eta}{D} = \rho \quad \text{va} \quad \frac{\chi}{\eta} = C_v \quad \text{yoki} \quad \frac{\chi}{\rho D} = C_v$$

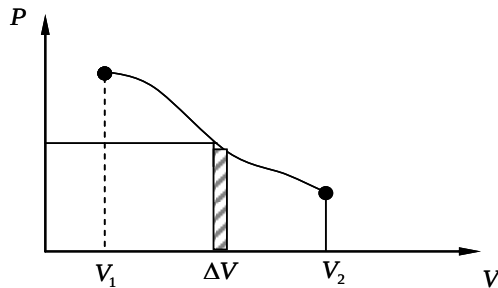
Bu munosabatlar ham tajriba ma`lumotlariga mos keladi, bu gazning biz o`rgangan molekulyar-kinetik nazariyasini to`g`ri ekanligini yana bir bor tasdig`i bo`ladi.

Termodinamik ish. Elementar ish (xajm o`zgarganda)  $P\Delta V$  ga teng. Hajm  $V_1$  dan  $V_2$  ga o`zgarganda xamma ish $P\Delta V$ lar yig`indisiga teng (25-rasm).

$$A = \sum_i P_i \Delta V_i \rightarrow \int_{V_1}^{V_2} P dV \quad (12.3)\text{- deysh mumkin} \quad P = \frac{RT}{V} \quad (67)\text{- bir mol}$$

uchun.

B_1



25-rasm

$$\text{Izotermik ish uchun} \quad A = \int_{V_1}^{V_2} \frac{RT}{V} dV = RT(\ln V_2 - \ln V_1), \text{ yoki } A = RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (68)$$

$$\text{Izobarik ish uchun} \quad A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P \int_{V_1}^{V_2} dV = P(V_2 - V_1). \quad (69)$$

Yana adiabatik ish bor. Bunda sistema bilan tashqari orasida issiqlik energiyasini uzatish bo`lmaydi. Bunda  $Q=0$  bo`lgani uchun $dA = -dU$. Demak, ish ichki energiya xisobiga bajariladi. Adiabatik siqilishda ichki energiya oshadi va $dU > 0$ bo`ladi, lekin  $dA < 0$  bo`ladi, chunki ishni tashqi kuchlar bajaradi. De-

vorlarni issiqlik o'tmaydigan silindr bir kilomol gazdagi adiabatik protsessni ko'rib chiqamiz. Bu gazning ichki energiyasi:

$$U = C_v T \quad (70)$$

C_v - mol issiqlik sig'imi va $dU = C_v dT$, $dA = -dU$ bo'lgani uchun $PdV = -C_v dT$, lekin $P = \frac{RT}{V}$ bo'lgani uchun

$$\frac{RT}{V} dV = -C_v dT \rightarrow \frac{R}{C_v} \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = - \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T}$$

$$\frac{R}{C_v} (\ln V_2 - \ln V_1) = \ln T_1 - \ln T_2, \text{ yoki } \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\frac{R}{C_v}} = \ln \frac{T_1}{T_2}; \quad \frac{R}{C_v} = \frac{C_p - C_v}{C_v} = \gamma - 1 \text{ bo'lgani}$$

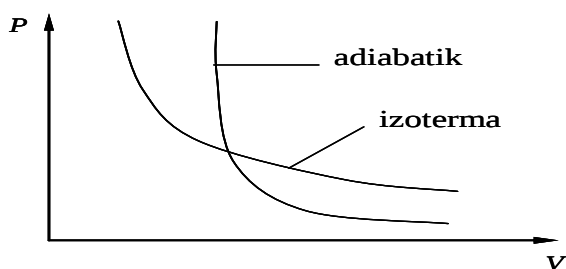
$$\text{uchun } \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_1}{T_2}, \text{ yoki } T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \text{ yoki}$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{const} \quad (71) - \text{Puasson qonuni.}$$

Demak, gaz adiabatik kengaysa u soviydi, toraysa - isiydi. Adiabatik protsessda sistema devorlari absolyut issiqlik o'tkazmaydi. Izotermik protsessda devorlar absolyut ravishda o'tkazish kerak. Lekin tabiatda absolyut teploizolyatorlar va teploprvodniklar bo'lmaydi. SHuning uchun adiabatik protsess qilish uchun protsessni tez bajarish kerak, issiqlik almashinuvi bo'lmasligi uchun. Masalan, dizelda yoqilg'i adiabatik siqiladi, qizib yonib ketadi.

Puasson qonuniga qaytamiz. Unda T ning o'rniga $T = \frac{PV}{R}$ ni qo'ysak

$PV^\gamma = \text{const}$ xosil bo'ladi. Adiabatik kengayishda bosim nafaqat xajmning oshishi hisobiga kamayadi, u temperaturaning kamayishi xisobiga ham kamayadi. Adiabatik protsessda $dA = -C_v dT$ va bajarilgan ish $A = C_v (T_1 - T_2)$ (2).

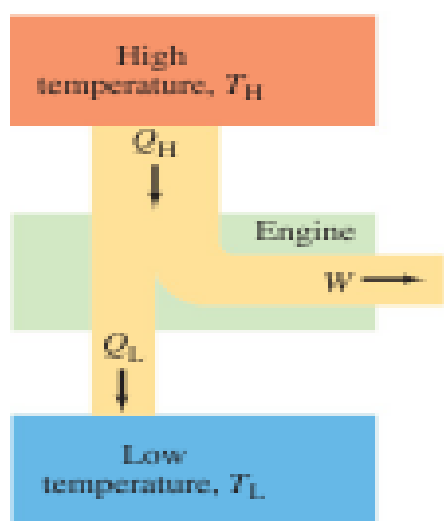


26-rasm

Issiqlik mashinalari

Ish bajarish orqali issiqlik energiyasini vujudga keltirish oson. masalan oddiy qo'llaringizni bir –biriga ishqalash yoki bo'lmasa har qandari ishqalanish jarayonlari orqali hosil qilish mumkin. Biroq issiqlik energiyasidan ish bajarish qiyinroq va buni bajaruvchi amaliy qurilma taxminan 1700-yilda kashf qilingan. Bug' mashinasining rivojlanishi bo'lgan.

Har qanday issiqlik mashinasi orasidagi asosiy maqsad issiqlik yuqori temperaturadan past temperaturaga o'tishiga imkoniyat yaratadigan issiqlik energiyasidan olinadigan mexanik energiyadir. Ushbu jarayonda issiqlik miqdori 12-5 sxematik diagrammadagi kabi mexanik ishga aylantiriladi. Foydali issiqlik mashinalari takrorlanuvchi siklda ishlaydi ya'ni ushbu sistema takroran o'zining boshlang'ich nuqtasiga qaytaveradi va shu yo'sinda davom etadi. Har bir siklga sistema ichki energiyasidagi o'zgarish nolga teng bo'ladi ($dU=0$). Chunki u boshlang'ich qiymatiga qaytadi. Shuningdek yuqori temperaturadagi T_Y ma'lum Q_E issiqlik miqdori W ishga aylantiriladi va past temperaturadagi T_P , Q_P issiqlik qisman chiqariladi. (27- rasm).

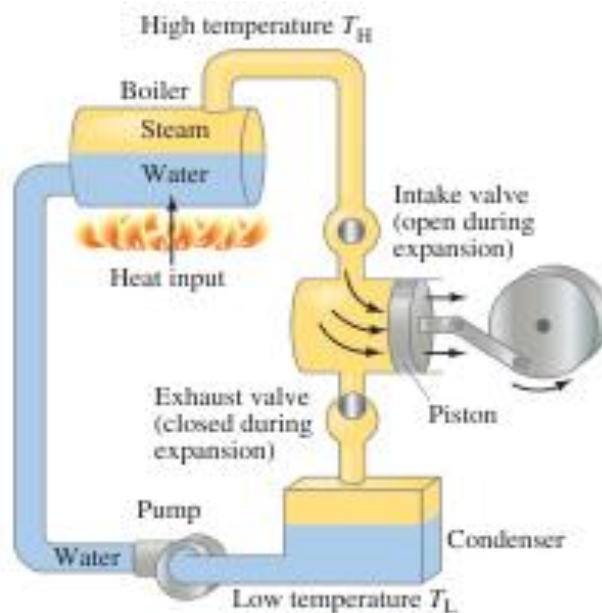


27-rasm.

Energiyaning saqlanishi $Q_Y=W+Q_P$ bo'ladi. Yuqori va past temperaturalar T_Y T_P mashinaning boshqarilayotgan yoki ishlatilayotgan haroratlari deb ataladi. Izoh uchun hozirda biz issiqlik mashinalari uchun yangi ishora yig'indisidan foydalaniyapmiz. Biz oladigan Q_Y, Q_P va W har doim musbat bo'ladi. Aylanuvchi har bir energiya yo'nalishi 27-rasmga o'xshash diagrammadagi sxemada tasvirlangan.

Bug' mashinasi va ichki yonuv dvigateli. Bug' mashinasining ishlashi 28- rasmda tasvirlangan. Bug' mashinalarining ikkita asosiy turi mavjud bo'lib ularning har

biri yadroviy energiya yoki ko`mir, yog` yoki gazning yonishi evaziga isitiladiga bug`da ishlaydi.



28-rasm.

Har qanday issiqlik mashinasining samaradorligi e unda bajarilgan ish W bilan yuqori temperaturadagi Q_Y issiqlik miqdori ga nisbati bilan aniqlanadi.

$$e = W/Q_Y \quad (73)$$

Bu mulohazali izoh. Chunki W unumdorlik (mashina oladigan), vaholanki Q_Y yoqilgan yonilg`I hisobiga olingan issiqlik. Energiya saqlanish qonunidan  $Q_Y$  issiqlik miqdori bajarilgan ish hamda past temperaturada oqadigan  $Q_P$  issiqlik miqdori yig`indisiga teng:

$$Q_Y = W + Q_P$$

Bundan $W = Q_Y - Q_P$ va mashinaning samaradorligi:

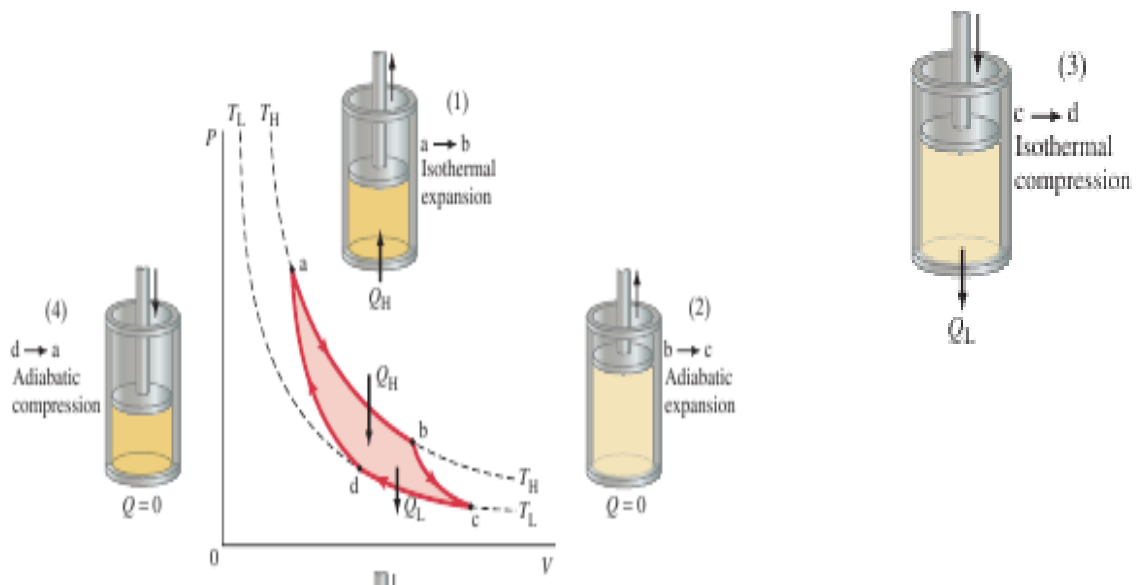
$$e = W/Q_Y = (Q_Y - Q_P)/Q_Y \quad (74)$$

Shunda e samaradorlik 1(yoki 100%) bo`ladi, agar  $Q_P$  nol bo`lsa yoki bo`lmasa muhitga hech qanday issiqlik chiqarilmagan bo`lsa (biz ko`pincha buni hech qachon ko`rmaymiz).

Samaradorlikni qanday o`lishini ko`rish uchun Fransuz olimi Sadi Karno (1796-1832) hozirda Karno mashinasi deb ataladigan ideal mashinaning xarakteris-

tikasini tekshirgan. Karno mashinasi haqiqatga asoslanibgina qolmay, u shuningdek nazariy g'oya sifatida termodinamikaing ikkinchi qonunini tushuntirish va rivojlanishida muhim rol o'ynaydi.

Karno sikli. Issiqlik mashinalari bir siklda ishlaydi va nazariy karno mashinasi uchun ushbu sikl ideal gaz uchun PV diagrammadagi A nuqtadan boshlanadi. (1) Ushbu gaz dastlab izotermik ravishda Q_H issiqlik bilan T_H haroratda “ab” grafik bo'ylab kengayadi (2). Keyin ushbu gaz b dan c ga tomon adiabatik ravishda kengayadi. Bunda issiqlik o'zgarmaydi. Biroq harorat T_L ga tushadi. (3) Ushbu gaz so'ngra o'zgaras T_L temperaturada cd yo'l bo'ylab siqiladi va Q_L issiqlik tashqaridan oqadi. (4) Oxir oqibat gaz o'zining dastlabki holatiga qaytishi uchun da yo'nalishda adiabetic siqiladi. Ideallashtirilgan Karno mashinasi bir siklda bajariladigan 4 ta jarayonni o'z ichiga oladi. Ularning ikkitasi adiabetic ($Q=0$) va yana ikkitasi izotermik ($dT=0$). Ushbu ideallashtirilgan sikl 29-rasmda tasvirlangan. Ushbu jarayonlarning har biri qaytar jarayonlar hisoblanadi. Ushbu jarayonlarning har biri (Porsenga qarama –qarshi ravisgda gazlarning kengayishi davomida) sekin bajariladi ya'ni mazkur jarayon muvozanat holatlarining turlari hisblanadi va butun jarayon issiqlik almashinishi yoki bajarilgan ishni hisoblashdan o'zgarishsiz teskari ravishda bajarilgan.



29-rasm

Boshqa tomondan real jarayon odatdagidan tezroq sodir bo`ladi hamda gazlarda turbulence bo`ladi va ishqalanish kuzatiladi. Ushbu omillar tufayli haqiqiy jarayon teskari jarayonda aniq bajariladi. Shuningdek turbulence turlicha bo`ladi va ishqalanish uchun ketgan issiqlik rezerve bo`ladi. Shuningdek haqiqiy jarayonlar o`zgarmas bo`ladi. Q_y va Q_p issiqliklar ko`chiriladigan Karno mashinasining izotermik jarayonlari  $T_y$  va  $T_p$  o`zgarmas haroratlarda bajarilishni talab etadi. Ushbu tizim Q_y va Q_p issiqlik miqdorlari ko`chirilganda haroratlari sezilarli o`zgarmaydigan katta ideallashtirilgan issiqlik manbalari bilan kontakda bo`lishi kerak bo`ladi. Karno asosan ideal qaytar mashina uchun Q_y va Q_p issiqlik miqdorlari ishlatilayotgan T_y va T_p (kelvinlarda) haroratlarga proporsional bo`ladi:

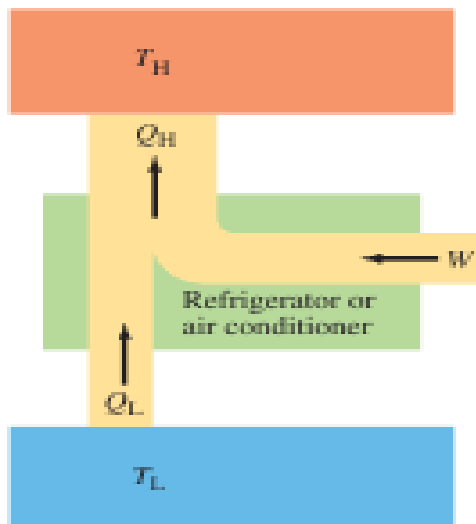
$$Q_y/Q_p = T_y/T_p$$

Shuningdek samaradorlik quydagicha bo`ladi:

$$e = (T_y - T_p) / T_y \quad [\text{Karno (ideal) samaradorlik}] \quad (75)$$

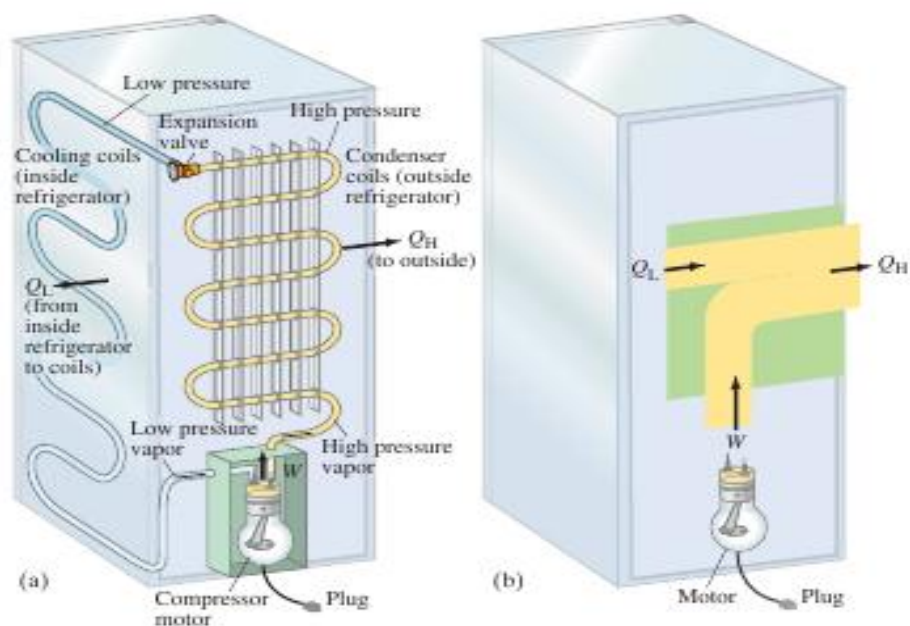
(75) dagi tenglik har qanday issiqlik mashinasi uchun samaradorlikning yuqori cheklovini ifodalaydi. Yuqoriroq samaradorlik termodinamikaning 2-qonunini inkor etadi. Haqiqiy mashinalar har doim ishqalanish va shunga o`xshash narsalar tufayli unga qaraganda kamroq samaradorlikka ega bo`ladi. Haqiqiy mashinalarda samaradorlik 60-80% bo`ladi.

12-8-rasmda keitirilgan muzlatgichlar, havo kondetsionerlari va issiqlik nasoslarining ishlash prinsipi issiqlik mashinalarinikidan farq qiladi. Har bir sovuq muhitdan issiq muhitga issiqlik ko`cherish uchun ishlaydi. 30-rasmda tasvirlangan diagrammalashtirilgan W ishni bajarish orqali issiqlik past haroratdagi T_p joydan olinadi, (masalan muzlatgichning ichki qismi) va ular issiqlikning yuqoriroqqiyimati yuqori T_H temperaturada chiqariladi.



30-rasm.

Q_p issiqlik miqdori muzlatgich ichidagi sovuq spirallardan chiqariladi va Q_y issiqlik muzlatgichning orqa tomonidagi tashqi halqalar orqali chiqariladi.(30-rasm) Siz tez-tez muzlatgich pastidan kelayotgan issiq havoni sezishiz mumkin. W ish odatda 30 - rasmda tasvirlangan suyuqlik chiqaradigan elektr motor orqali bajariladi. (Biz Q_y va Q_p ni boshqaramiz va u W kabi hamma vaqt bir xil)



31-rasm.

Elektr kompressor motori yuqori bosimdagi gazni muzlatgichning tashqi devorida joylashgan sovutuvchi qurilma orqali o'tkazib, issiqlikni tashqariga chiqarib, suyuqlikka aylanadi. Suyuqlik yuqori bosimli joydan o'tib, suyuqlikni boshqaruvchi

qurilma orqali muzlatgich ichki devorlaridagi past bosimli trubalarda quyiladi. Bu past bosimda muzlatgich ichidagi issiqlik suyuqlikga o'tadi va suyuqlik kompressorga qaytadi. Bu sikl takroran davom etadi

Elektr kompressor Q_y issiqlik chiqarilagan va ushbu gaz suyuq bo'lishi uchun soviydigan muzlatgich tashqi devorining orqa tomonida issiqlik almashtirgich (kondensator) orqali yuqori bosimda gazni kuchaytiradi. Suyuqlik yuqori bosim hududidan chiqadigan muzlatgichning ichki devorlaridagi past bosimli quvurlarga o'tadi. Suyuqlik pastroq bosimda bug'lanadi va shunday qilib muzlatgich ichidagi (Q_p) so'riladi. Suyuqlik sikl qayta boshlanadigan kompressorga qaytadi. (b) 31- rasmga o'xshash sxematik diagramma. Umuman mukammal muzlatgich past haroratdagi hududda yuqori haroratdagi hududga issiqlik olish uchun hech qanday ish bajarish talab etilmaydi. U rasman birdan bir ta'siri T_y temperaturadagi tizimda yuqoriroq T_y temperaturadagi ikkinchi tizimga issiqlikni ko'chiruvchi qurilma yo'qligini tasdiqlaydi. Past haroratdagi predmet (yoki sistema) dan past haroratdagi predmetga oqadigan issiqlik olish uchun bir nechta ish bajarilishi kerak. Shunday qilib mukammal muzlatgich yo'q.

Muzlatgichning foydali ish koeffisienti issiqlikni chiqarish uchun bajariladigan W ish orqali past temperaturadagi hududdan (muzlatgich ichki qismidan) chiqarilgan Q_p issiqlikka proporsional bo'ladi:

$$F_{IK} = Q_p / W \quad (\text{muzlatgich va havo kondetsioneri}) \quad (76)$$

Biz Q_p dan foydalanamiz. Chunki u amaliy jihatdan moddalarni ichkaridan uzatilgan issiqlik.

Buni tushunish kerak. Chunki belgilangan ish uchun muzlatgich ichkarisidan chiqadigan Q_p issiqlik qancha ko'proq bo'lsa muzlatgich shuncha ko'p yaxshiroq (samaraliroq) ishlaydi. Energiya saqlanish qonunini termodinamikaning birinchi qonuni uchun $Q_p + W = Q_y$ yoki $W = Q_y - Q_p$ ni yozish mumkin. (31- rasmga qarang). So'ngra (76) bilan tenglashtirmiz.

$$F_{IK} = Q_p / W = Q_p / (Q_y - Q_p) \text{ muzlatgich va havo kondetsioneri.}$$

Ideal muzlatgich uchun (mukammal bo'lmagan) ideal gaz uchun biz bajara oladigan ish quidagicha bo'ladi.

$$FIK(\text{ideal}) = T_p / (T_y - T_p) \quad \text{muzlatgich va havo kondetsioneri} \quad (77).$$

Ideal (Karno) mashinasiga o'xshash (76 tenglik). Havo kondensiyoneri muzlatgich kabi juda ko'p ishlaydi. Garchi asl qo'llanish detallari turlicha: Havo kondetsioneri past temperaturadagi bino yoki xona ichkarisidan Q_p issiqlikni oladi va yuqoriroq temperaturadagi muhitga tashqi Q_y issiqlik yuboradi. (76) dagi tengliklar havo kondetsioneri uchun FIKni ifodalaydi. Issiqlik aslini olganda yuqori haroradan past haroratga tomon oqadi. Muzlatgichlar va havo kondetsioneri issiqdan sovuqqa oqadigan issiqlik hosil qilish uchun teskari jarayonlarni bajarish uchun ishlaydi. Biz ehtimol aytishimiz mumkin ular nasos bilan issiqdan sovuqqa oquvchi issiqlikning tabiiy tendensiyasiga qarshi sovuq hududlardan issiqroq hududlarga issiqlikni haydaydi. Chunki suv tabiiy tendensiya pastga oqishiga qarshi yuqori nasos orqali yuboriladi. Issiqlik nasosi atamasi odatda past temperaturadan tashqaridan Q_p issiqlik olish va uyning ichkarisiga iliqroq Q_y issiqlik yetkazib beruvchi W ish bajaradigan elektr matordan foydalanish orqali qishda uyni isitadigan qurilmaga nisbatan ishlatiladi.

Muzlatgichda ichki va tashqi issiqlik almashtirgich (Muzlatgichning spirallari) va elektr kompressor motori bor. Muzlatgich va havo kondetsionerining ishlash prinsipi bir xil, biroq issiqlik motorining maqsadi sovuqdan (chiquvchi Q_p) ko'ra issiqlik (aylanuvchi Q_y) bo'ladi. Shunday qilib issiqlik nasosining FIK havo kondetsioneriga qaraganda turlicha hisoblanadi. Chunki u hozirda muhim bo'lgan uyning ichkarisiga Q_y issiqlik yetkazib beradi.

$$FIK = Q_y / W \quad \text{issiqlik nasosi} \quad (78)$$

FIK birga qaraganda kattaroq bo'ldi. Bugungi kunda issiqlik mashinalarining FIK 2.5-3 bo'ladi. Ko'plab issiqlik nasoslari havo aylantirgich va yozda havo kondetsionerlari sifatida ishlatiladi.

Endryus tajribasi shuni ko'rsatadiki, har qanday gaz suyuqlikka faqat shu gazga xos bulgan ma'lum temperatura T_k dan past temperaturada aylantirishi

mumkin. Agar gaz temperaturasi T_k dan yuqori bo'lsa, uni xech qanday bosim ostida ham suyuqlikka aylantirib bo'lmaydi. Bu T_k temperaturani kritik temperatura deb ataladi. Rasmda K nuqta kritik nuqta deb ataladi, bu nuqtada tegishli xolat, hajm kritik hajm va bosim kritik bosim deb ataladi.

Misol:

Modda	Kritik temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Kritik bosim (atm)
Suv	+374	218
Uglekislota (CO_2)	+31	73
Kislorod	- 119	50
Azot	- 147	34
Vodorod	- 240	13
Geliy	- 268	2,3

Real gazlarning ichki energiyasi. Joule-Tomson effekti. Texnikada gazlarni suyultirish uchun musbat Joule - Tomson effektiga asoslangan Linde mashinasi ishlatiladi. Joule - Tomson effektining 2 xili bor:

1. Boshlang'ich past temperaturada hamma gazlar kengayganda soviydilar (musbat Joule - Tomson effekti).
2. Boshlang'ich yuqori temperaturada hamma gazlar kengayganda isiydilar (manfiy Joule - Tomson effekti).

Bu effektini real gaz ichki energiyasi nuqtai nazaridan taxlil qilamiz. Real gazlar ichki energiyasi molekulalarning kinetik va potensial energiyalari yig'indisidan iborat: Agar gaz tashqi ish bajarmasdan kengaysa va tashqi muxit bilan issiqlik almashmasa, uning ichki energiyasi o'zgarmay qolish kerak.



(79)

1. Boshlang'ich kichik temperaturada molekulalar o'rtasidagi o'rtacha masofa r tortishish kuchlari maksimal bo'ladigan masofa r_m dan kichik bo'ladi. SHuning uchun gaz kengayganda ular o'rtasidagi masofa oshadi, demak tortishish kuchlari

r oshadi va potensial energiyasi ham oshadi. (79) formulaga binoan W_{Π} oshsa W_k kamayish kerak, demak T kamayadi (yoki gaz soviydi).

2. Agar boshlang'ich temperaturasi yuqori bo'lsa $r > r_m$ bo'ladi, gaz kengaysa r yanada oshadi, tortishish kuchi kamayadi, demak potensial energiya kamayadi, kinetik energiya W_{Π} oshadi, bu esa T oshganini bildir (gaz isiydi).

Nazorat savollari

1. Qanday sharoitlarda qaytaruvchan jarayonlarni kuzatish mumkin.
2. Issiqlik mashinasining ishlashini tushuntiring.
3. Sovitkich mashinasining ishlash prinsipini izoxlang.
4. Aylanma jarayon deb qanday jarayonga aytiladi.
5. Termodinamikaning ikkinchi qonuni qanday ma'noga ega.
6. Karno sikli nima va u qanday jarayonlardan tashkil topgan.
7. Issiqlik mashinasining F.I.K. ga ta'rif bering.
8. Qanday sharoitlarda real gaz o'zining xususiyati bo'yicha ideal gazga yaqinlashib boradi?
9. Joule-Tomson effektini tushuntiring?
10. Van-der-Vaals formulasini yozing va tushuntiring?

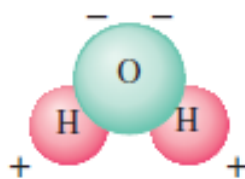
ELEKTROSTATIKA

Elektr zaryadi. Zaryadning saqlanish qonuni. Kulon qonuni.

O'tgan asrdagina elektr zaryadi mavjud bo'lishining sababi atomlarning o'zlarida yashiringanligi ma'lum bo'ldi. Keyingi bo'limlarda biz atom tuzilishi va u haqdagi tasavvurlarning rivojlanishi haqida batafsilroq to'xtalamiz, bu erda elektr zaryadining tabiatini tushunishga yordam beradigan asosiy g'oyalar haqida qisqacha to'xtalamiz.

Zamonaviy tasavvurlarga ko'ra atom (bir oz soddalashtirilgan) bir yoki bir necha manfiy zaryadlangan elektronlar bilan o'ralgan og'ir musbat zaryadlangan yadrodan iborat. Atomda normal holatda musbat va manfiy zaryadlar miqdor jihatidan teng va atom elektr jihatidan neytral. Biroq atom bir yoki bir necha atom yo'qotishi yoki qo'shib olishi mumkin. U holda uning zaryadi musbat yoki manfiy bo'ladi va bunday atom ion deb ataladi. Qattiq jismda yadrolar tugunlarda tebranib, elektronlarning bir qismi esa erkin harakatlanishi mumkin. Ishqalanish natijasida elektrlanishni turli moddalarda yadrolar elektronlarni turlicha kuch bilan tutib turishi orqali tushuntirish mumkin. Plastmassa chizg'ichni qog'oz salfetka bilan artilganda manfiy zaryadlanadi, bu qog'oz salfetkada elektronlar plastmassadagiga nisbatan zaifroq tutib turilishini va ularning bir qismi salfetkadan chizg'ichga o'tishini bildiradi. Salfetkaning musbat zaryadi miqdoran chizg'ich olgan manfiy zaryadga teng.

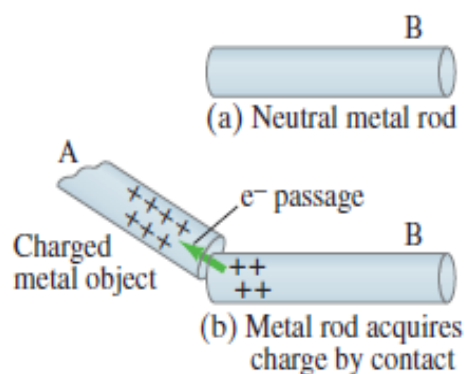
Odatda ishqalanish orqali elektrlangan buyumlar biroz vaqt zaryadni tutib turadi va pirovard natijada elektr neytral holatga qaytadi. Zaryad qaerga yo'qoladi? U havo tarkibidagi suv molekulalariga "oqib o'tadi". Gap shundaki, suv molekulalari *qutblangan*: butun holida neytral bo'lishiga qaramay ularda zaryad bir xil taqsimlanmagan (1 rasm). Shuning uchun elektrlangan chizg'ichdagi ortiqcha elektronlar suv molekulasining musbat zaryadlangan sohasiga tortilishi sababli havoga "oqib o'tadi". Boshqa tomondan buyumning musbat zaryadi havo tarkibidagi suv molekulalari tomonidan zaif tutib turiladigan elektronlar bilan neytrallashadi. Havo quruq bo'lganda statik elektr ta'siri ayniqsa sezilarli: havo tarkibida suv molekulalari kamroq va zaryad u qadar tez oqib o'tmaydi. Yomg'irli nam ob-havoda buyum o'z zaryadini uzoq vaqt tutib tura olmaydi.



1-rasm.

Induksiyalangan zaryad. Elektroskop. Musbat zaryadlangan metall buyumni boshqa (neytral) metall buyumga yaqinlashtiramiz. Bir-biriga tekkizilganda neytral buyumning erkin elektronlari musbatga tortiladi va ularning bir qismi unga o'tadi. Endi ikkinchi buyumda manfiy zaryadlangan bir necha elektronlar etishmasligi sababli u musbat zaryadga ega bo'ladi. Bu jarayon elektr o'tkazuvchanlik hisobiga elektrlanish deb ataladi.

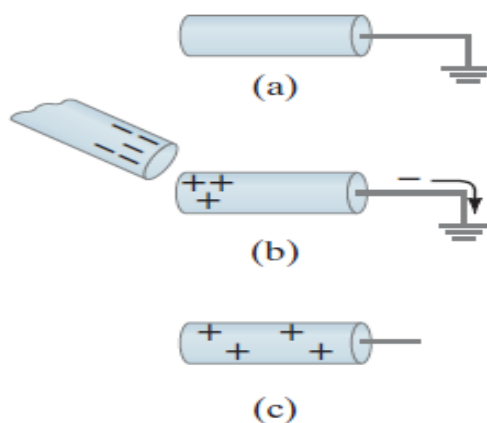
Endi musbat zaryadlangan buyumni neytral metall sterjenga tegmaydigan qilib yaqinlashtiramiz. Elektronlar metall sterjenni tashlab chiqib ketmasa ham, ular zaryadlangan buyum yo'nalishida ko'chadi; sterjenning qarama-qarshi uchida musbat zaryad yuzaga keladi (2-rasm). Bu holda metall sterjenning uchlarida zaryad induksiyanadi (yoki to'planadi) deyiladi. Hech qanday yangi zaryadlar paydo bo'lmasligi tushunarli: shunchaki *zaryadlar bo'lindi*, sterjen umuman neytralligicha qoldi. Biroq agar bir sterjenni o'rtasidan ko'ndalangiga kesganimizda edi, u holda biri manfiy zaryadlangan, ikkinchisi - musbat zaryadlangan ikkita buyumga ega bo'lar edik.



2-rasm.

Shuningdek, metall buyumni o'tkazgich orqali erga (masalan, erga ko'milgan suv quvuri bilan) ulash bilan zaryad berish mumkin (3-a-rasm.  belgisi erga ulanishni bildiradi). Buyum erga ulargan deyiladi. O'lchamlari juda katta bo'lganligi sababli er elektronlarni beradi va oladi; u zaryad rezervuari kabi amal qiladi. Agar metall sterdenga manfiy zaryadlangan buyumni juda yaqinlashtirsak, u

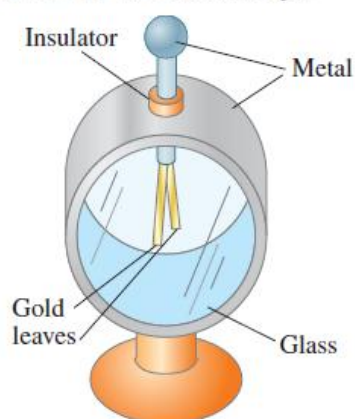
holda metallning erkin elektronlari itarishishadi va ko'pi o'tkazgich bo'ylab erga o'tib ketadi (3-b-rasm). Metall musbat zaryadlanib qoladi. Endi agar sim uzib qo'yilsa, metallda to'plangan musbat zaryad qoladi. Biroq agar bu ishni manfiy zaryadlangan buyum metalladan uzoqlashtirilgandan keyin qilinsa, u holda barcha elektronlar orqaga qaytib ulguradi va metall elektr jihatidan neytral bo'ladi.



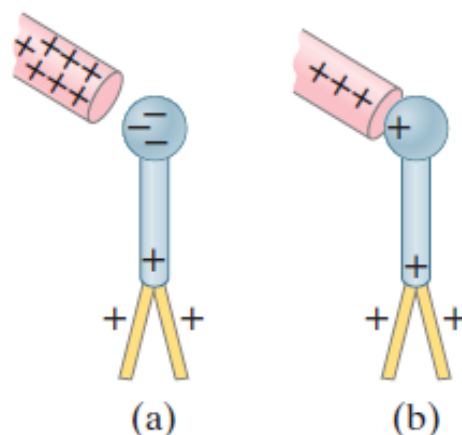
3-rasm.

Elektr zaryadini aniqlash uchun *elektroskop*dan (yoki sodda *elektrometr*dan) foydalaniladi. 4- rasmdan ko'rinib turibdiki, u korpusdan iborat bo'lib, uning ichida oltindan qilingan ikkita harakatlanuvchi yaproqcha joylashtirilgan. (Ba'zida faqat bitta yaproqcha harakatlanuvchi qilib tayyorlanadi). Yaproqyaalar korpusdan izolyasiyalangan metall sterjenga mustahkamlanib, tashqarida metall sharcha bilan tugallanadi. Agar zaryadlangan buyumni sharchaga juda yaqinlashtirilsa, sterjenda zaryadlar bo'linadi (5-a-rasm), yaproqchalar bir xil zaryadlanadi va rasmda ko'rsatilganidey bir-biridan itarishadi. Elektr o'tkazuvchanlik hisobiga sterjenni yaxlit zaryadlash mumkin (5-b-rasm). Har holda zaryad qancha katta bo'lsa, yaproqchalar shuncha ko'p ochiladi.

FIGURE 16-10 Electroscope.



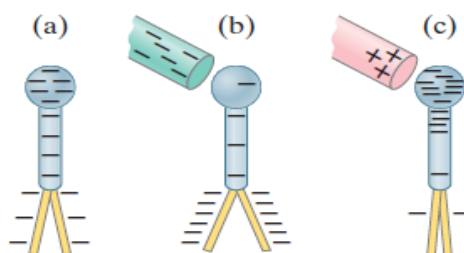
4-rasm.



5-rasm.

Biroq, zaryadni bunday usul bilan aniqlash mumkin emasligini ta'kidlab o'tamiz: manfiy zaryad yaproqchalarni shuncha miqdordagi musbat zaryad bilan bir xil masofaga ochadi. Shunga qaramasdan elektroskopdan zaryadning ishorasini aniqlashda foydalanish mumkin – buning uchun sterjenga avvaldan ma'lum bo'lgan, masalan, manfiy zaryad berish kerak (6-a-rasm). Endi agar elektroskop sharchasiga manfiy zaryadlangan buyumni yaqinlashtirilsa (6-b-rasm) u holda qo'shimcha elektronlar yaproqchaga ko'chadi va ular yanada kattaroq ochiladi. Aksincha, agar sharchaga musbat zaryad berilsa, u holda elektronlar yaproqchalardan ko'chadi va ular yaqinlashadi (6-c-rasm), chunki ularning manfiy zaryadi kamayadi.

Elektroskop elektrotexnika endi rivojlana boshlanganda keng qo'llanilgan. Juda sezgir zamonaviy elektrometrlarda ham o'sha prinsipdagi elektron sxemalardan foydalaniladi.



6-rasm.

Elektrostatikada ikki tur elektr zaryadlar — **musbat va manfiy zaryadlar** ko`riladi. Bir xil ishorali elektr zaryad bilan zaryadlangan jismlar bir-birlaridan itariladilar, turli ishorali elektr zaryad bilan zaryadlangan jismlar bir-birlariga tortiladilar.

Jismlarning elektrlangan yoki elektrlanmaganligini aniqlovchi asbobga **elektroskop** deyiladi.

Elektron eng kichik zaryadga ega bo`lgan zarracha bo`lib, elektron zaryadining qiymatini birinchi bo`lib amerikalik olim D.Milliken aniqlagan. Elektronning zaryadi manfiy bo`lib, uning qiymati $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$, massasi esa $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ga teng.

Elektronlar qaerdan hosil bo`ladi? Bu savolga javob berish uchun atomning tuzilishini ko`rib chiqaylik. Atomning markazida **proton** va **neytron**lardan iborat **yadro**, atrofida elektronlar harakatlanadi. Butun atom zaryadsiz, chunki yadroning musbat zaryadi hamma elektronlarning manfiy zaryadlari yig`indisiga teng va u elektr jihatdan neytral. Agar neytral jism biror boshqa jismdan elektronlar olsa, manfiy zaryadga ega bo`ladi. Elektronlari yetishmaydigan jism musbat zaryadlangan bo`ladi. Shunday qilib, jism elektronlarini yo`qotgan va ortiqcha elektron olgan taqdirdagina elektrlanadi. Elektr zaryadi yo`qolishi va yana paydo bo`lib turishi mumkin. Lekin doimo ikki qarama-qarshi ishorali ikki elementar zaryad bir vaqtda paydo bo`ladi va yo`qoladi. Yopiq sistemada barcha zarrachalar zaryadlarining algebraik yig`indisi o`zgarmay qolaveradi:

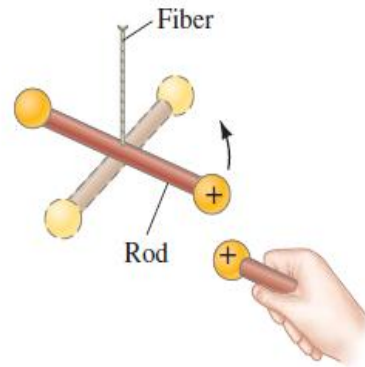
$$\sum_{I=1}^n q_I = \text{const} . \quad (1)$$

Elektr zaryadining saqlanish qonuni (1) yopiq sistema uchun, ya`ni tashqaridan zarralar kirmaydigan va tashqariga bunday zarrachalar chiqarmaydigan sistema uchun o`rinli.

Kulon qonuni Shunday qilib, elektr zaryadlari o`zaro kuch bilan ta`sirlashar ekan. U zaryad kattaligiga va boshqa omillarga qanday bog`liq? Bu masalani 1780-

yillarda fransuz fizigi Sharl Kulon (1736-1896) o`rgangan. U burama tarozidan (7-rasm) foydalangan, bu tarozi Kavendish gravitatsiya doimiysini aniqlashda foydalangan qurilmaga juda o`xshaydi.

Qurilma Kavendish gravitatsiya doimiysini aniqlashda foydalangan qurilmaga juda o`xshaydi. Ipga osilgan sterjen uchidagi sharchaga zaryad berilganda sterjen bir oz og`adi, ip buraladi va ipning buralish burchagi zaryadlar orasida ta`sir qiluvchi kuchga proporsional (buralma tarozi).



7-rasm.

Kulon bu qurilma yordamida kuchning zaryad miqdoriga va ular orasidagi masofaga bog`liqligini aniqlangan.

O`sha vaqtlarda zaryad miqdorini aniq o`lchovchi asboblari bo`lmasa ham, Kulon zaryadi ma`lum bo`lgan kichik sharchalar tayyorlay olgan. U agar zaryadlangan o`tkazgich sharchani xuddi shunday zaryadlanmagan sharchaga tekkizilsa, u holda birinchi sharchadagi zaryad simmetriya sababli ikkita sharcha o`rtasida teng taqsimlanadi, deb hisoblagan. Bu unga dastlabki zaryadning  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  va h.k. tashkil etuvchilariga teng zaryadni olish imkonini berdi. Zaryadni induksiyalash bilan bog`liq ba`zi qiyinchiliklarga qaramasdan Kulon bitta zaryadlangan jism ikkinchi zaryadlangan jismga ularning har birining zaryadiga to`g`ri proporsional kuch bilan ta`sirlashishini isbot qilishga muvaffaq bo`ldi. Boshqacha aytganda bu jismlardan ixtiyoriy bittasining zaryadini ikki marta oshirilsa, kuch ham ikki marta ortadi, agar ikkila jismning zaryadini ikki marta orttirilsa, u holda kuch to`rt marta ortadi. Bu jismlar orasidagi masofa o`zgarmaganda o`rinli bo`ladi. Kulon jismlar orasidagi masofani o`zgartirib ular orasida ta`sir qiluvchi kuch masofaning kvadratiga teskari proporsional ekanligini aniqladi. SHunday qilib, Kulon bir kichik zaryadli jism (ideal holatda nuqtaviy zaryad, ya`ni fazoviy o`lchamlarga ega bo`lmagushan moddiy nuqtaga o`xshash)

boshqa zaryadlangan jismga ularning Q_1 va Q_2 zaryadlarining ko'paytmasiga to'g'ri proporsional va ular orasidagi masofaning kvadratiga teskari proporsional kuch bilan ta'sir qiladi:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (2)$$

bu erda k – proporsionallik koeffitsienti. Bu munosabat Kulon qonuni nomi bilan yuritiladi; uning haqqoniyligi Kulonning dastlabki eksperimentlariga nisbatan ancha aniq, puxta eksperimentlar bilan tasdiqlandi, daraja ko'rsatkichi bugungi kunda 10^{-16} aniqlikda o'lchangan, ya'ni u $2 \pm 2 \cdot 10^{-16}$ ga teng.

Endi biz yangi kattalik – elektr zaryadi bilan ish ko'rar ekanmiz, - (2) formuladagi k doimiy kattalik birga teng bo'ladigan o'lchov birligini tanlay olamiz. Haqiqatan ham, bunday sistema yaqin kunlarga fizikada keng qo'llanilar edi. Endi, zaryadni ko'pincha xalqaro birliklar sistemasida ifodalanadi, bunda uning birligi *kulon* (Kl) hisoblanadi. Kulonning elektr toki va magnit maydoni orqali aniq ta'rifini keyinroq keltiramiz. XBS da k kattalik quyidagi qiymatga ega:

$$k = 8,988 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{Kl}^2.$$

yoki yaxlitlaydigan bo'lsak,

$$k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{Kl}^2$$

Shunday qilib, bir-biridan 1 m masofada joylashgan 1 Kl zaryadlar $(9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{Kl}^2)(1,0 \text{ Kl})(1,0 \text{ Kl}) / (1,0 \text{ m}^2) = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N}$ kuch bilan o'zaro ta'sirlashadilar.

Odatdagi buyumlarni (taroq, plastmassa chizg'ich va h.k.) ishqalash bilan elektrlashda yuzaga keladigan zaryadlar kattalik tartibi bo'yicha mikrokulon va undan kamroqni tashkil qiladi ($1 \text{ mkKl} = 10^{-6} \text{ Kl}$). Elektron zaryadi (manfiy) taxminan $1,6022 \times 10^{-19} \text{ Kl}$ ga teng. Bu ma'lum bo'lgan eng kichik qiymat, fundamental ahamiyatga ega va e^- bilan belgilanadi, ko'pincha uni *elementar zaryad* deb yuritiladi.

$$e = 1,6022 \times 10^{-19} \text{ C} \approx 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}.$$

Ikki jismning bir – biri bilan oʻzaro taʼsirlashuvi tufayli bir jismda maʼlum miqdorda manfiy zaryad vujudga kelsa, ikkinchi jismda xuddi shuncha miqdorda musbat zaryad vujudga keladi. Masalan, ikki xil jismning bir – biriga tegishi (kontakti) natijasida birinchi jism atomlarning valent elektronlari ikkinchi jismga oʻtadi. Lekin ikkala jismdagi barcha manfiy zaryadlar va barcha musbat zaryadlarning miqdorlari oʻzgarmaydi.

Demak, *zaryadlar yangidan paydo boʻlmaydi ham, yoʻqolmaydi ham. Ular jismlarda mavjud, faqat bir jismdan ikkinchi jismga yoki jismning bir qismidan ikkinchi qismiga koʻchadi*, xolos. Bu xulosa zaryadlarning saqlanish qonuni deyiladi. Bu qonunni yana bunday ham taʼriflash mumkin:

Har qanday izolyasiyalangan (tashqi jismlar bilan elektr zaryad almashinmaydigan) sistemada elektr zaryadlarning algebraik yigʻindisi oʻzgarmaydi:

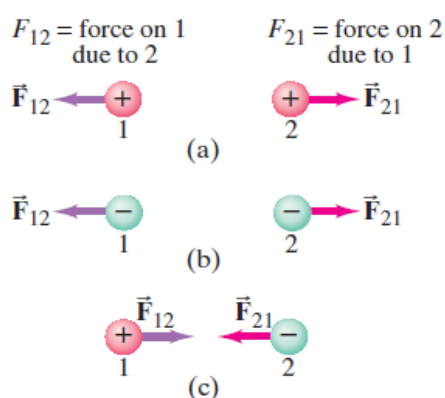
$$\sum q_i = \text{const.}$$

bunda q_i - sistema tarkibidagi ayrim jismlar elektr zaryadlarining miqdori.

Jism elektronning biror qismini qoʻshib olishi yoki yoʻqotishi mumkin emasligi sababli yigʻindi zaryad elementar zaryadga karrali boʻlishi kerak. Zaryad kvantlanadi (yaʼni faqat diskret qiymatlarni olishi mumkin: $1e, 2e, 3e$ va h.k.). Biroq elektron zaryadi e juda kichikligi sababli, biz odatda makroskopik zaryadlarning diskretligini sezmaymiz (1 mkKl zaryadga taxminan 10^{13} ta elektronga mos keladi) va zaryadni uzluksiz deb hisoblaymiz.

(2) formula bir zaryad boshqasiga taʼsir qiladigan kuchni xarakterlaydi. Bu kuch zaryadlarni birlashtiruvchi chiziq boʻylab yoʻnalgan. Agar zaryadlarning ishoralari bir xil boʻlsa, u holda zaryadlarga taʼsir qiluvchi kuchlar qarama-qarshi tomonga yoʻnalgan. Agar zaryadlarning ishoralari har xil boʻlsa, u holda zaryadlarga taʼsir qiluvchi kuchlar bir-biri tomonga yoʻnalgan (8-rasm). Kulon butun olam tortishish qonuniga murojaat qiladi: $F = Gm_1m_2 / r^2$, bu erda kuch m_1 va m_2 massaga toʻgʻri proporsional. Ikkala kuch ham masofaning kvadratiga teskari

proporsional ($F \sim 1/r^2$). Ikkalasi proporsionallik koeffitsientiga ega: massa – gravitatsiya, zaryad – elektr. Hamda har ikkalasi masofadan ta'sir qiladi (ya'ni ular to'qnashishni talab qilmaydi). Ular orasidagi katta farq shundaki, gravitatsiyada faqat tortishish kuchi, elektr o'zaro ta'sirda esa ham tortishish, ham itarishish kuchi mavjud bo'ladi. Elektr zaryadi ikki tipda: musbat va manfiy bo'ladi, gravitatsion massa esa faqat musbat bo'ladi.



8-rasm.

Vakuumdagi ikki nuqtaviy elektr zaryadning o'zaro ta'sir kuchi ta'sirlashayotgan har bir zaryad kattaliklari ko'paytmasiga to'g'ri va zaryadlar orasidagi masofaning kvadratiga teskari proporsionaldir, ya'ni

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \left(\frac{\vec{r}_{12}}{r} \right) \quad (3)$$

$$\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \left(\frac{\vec{r}_{21}}{r} \right) \quad (4)$$

bu ifodalar q_1 va q_2 – mos ravishda birinchi va ikkinchi nuqtaviy zaryadlarning miqdolari, r – zaryadlar orasidagi masofa, $\vec{r}_{12}$ – birinchi nuqtaviy zaryaddan ikkinchi nuqtaviy zaryadga o'tkazilgan radius-vektor, $\vec{r}_{21}$ esa aksincha, ikkinchi nuqtaviy zaryaddan birinchi nuqtaviy zaryadga o'tkazilgan radius-vektor. $\vec{r}_{12} = -\vec{r}_{21}$ bo'lganligi uchun $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$.

Bir xil ishorali zaryadlar itarishishadi (8-a va b rasmlar), qarama – qarshi ishorali zaryadlar esa tortishadi (8-c rasm).

(3) va (4) ifodalardagi ϵ_0 – elektr doimiy deb ataladi. U asosiy fizik oimiylarning biridir:

$$\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{K}\cdot\text{m}^2}{\text{H}\cdot\text{M}^2}, \quad \text{Yoki} \quad \varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{M}}.$$

Nazariy savollar

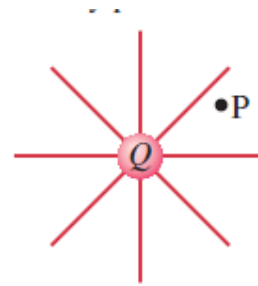
1. Elektr maydon deb nimaga aytiladi?
2. Maydon kuchlanganligi nima?
3. Elektr maydon potentsiali deganda nima tushuniladi?
4. Kulon qonunining ta`rifi?
5. Ekvipotensial sirtlar qanday chiziladi? Uning ta`rifini keltiring.
6. Elektr maydonda bajarilgan ish formulasini yozing.
7. Elektr maydon kuch chiziqlari deb qanday chiziqlarga aytiladi.
8. Hisoblash formulasini tushuntirib bering.

Elektr maydoni. Elektr maydon kuchlanganlik vektori.

Gauss teoremasi va uning tadbiqu

O`tmishda olimlar “masofadan ta`sir qilish” konsepsiyasini qabul qilishlari qiyin bo`lgan. Haqiqatan ham, agar bir-biriga tekkizilmasa, qanday qilib bir zaryad ikkinchisiga ta`sir qilishi mumkin? Hatto bu g`oyani butun olam tortishish nazariyasiga qo`llagan Nyutonga ham bunga ko`nikish oson bo`lmadi. Biroq bu qiyinchiliklarni ingliz olimi Maykl Faradey (1791 – 1867) kiritgan maydon tushunchasi yordamida engish mumkin. Faradey g`oyasiga ko`ra har bir zaryaddan *elektr maydoni* chiqadi va butun fazoga singib boradi. Bitta zaryadga boshqasi yaqinlashtirilganda, u birinchi zaryadning elektr maydoni yuzaga keltirgan kuch ta`sirini sezadi. Ikkinchi zaryad joylashgan nuqtadagi elektr maydoni bevosita bunga ta`sir qiluvchi kuchni yuzaga keltiradi. Maydon moddaning bir turi emas: to`g`riroq aytganda – bu juda foydali konsepsiya.

Bir yoki bir necha zaryad yuzaga keltiradigan maydonni uncha katta bo'lmagan musbat sinov zaryadi yordamida tadqiq qilish mumkin, bunda unga ta'sir qiluvchi kuch o'lchanadi.



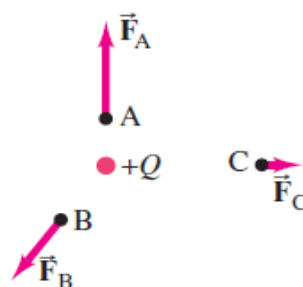
9-rasm.

Sinov zaryadi deganda biz xususiy maydoni tadqiq qilinayotgan maydonni yuzaga keltiruvchi boshqa zaryadllarning taqsimotiga jiddiy ta'sir ko'rsatmaydigan, etarlicha kichik zaryad tushuniladi. Birlik musbat Q zaryad atrofida kichik sinov zaryadi q ga ta'sir qiluvchi kuchlar 16-23-rasmda ko'rsatilgan. Zaryadlar orasidagi masofa katta bo'lganligi sababli b nuqtadagi kuch a nuqtadagidan kamroq (Kulon qonuni); c nuqtadagi kuch yana ham kamroq. Hamma hollarda kuch Q zaryaddan radial yo'nalgan. Ta'rifga ko'ra **elektr maydon kuchlanganligi** E fazoning ixtiyoriy nuqtasida kichik musbat sinov zaryadiga ta'sir qiluvchi F kuchning shu q zaryad miqdoriga nisbatiga teng:

$$E = \frac{F}{q} \quad (5)$$

Yanada aniqroq $E = \frac{F}{q}$ nisbatning q nolga intilgandagi limiti kabi aniqlanadi. (5)

dan fazoning ixtiyoriy nuqtasida elektr maydon kuchlanganligining yo'nalishi shu nuqtada musbat sinov zaryadiga ta'vir qiluvchi kuch yo'nalishi bilan mos tushishi kelib chiqadi. Elektr maydon kuchlanganligi *birlik zaryadga ta'sir qiluvchi kuchni* ifodalaydi, N/Kl da o'lchanadi.



10-rasm.

E maydonning q sinov zaryadi qiymatiga bog'liqligini istisno qilish maqsadida elektr maydon kuchlanganligi $\frac{F}{q}$ nisbat orqali aniqlanadi. Ko'pgina sodda hollar uchun berilgan nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligini (5) formula yordamida hisoblash mumkin. Masalan birlik nuqtaviy zaryad Q undan r masofada yuzaga keltirgan maydon kuchlanganligi quyidagiga teng:

$$E = \frac{F}{q} = \frac{kqQ/r^2}{q}$$

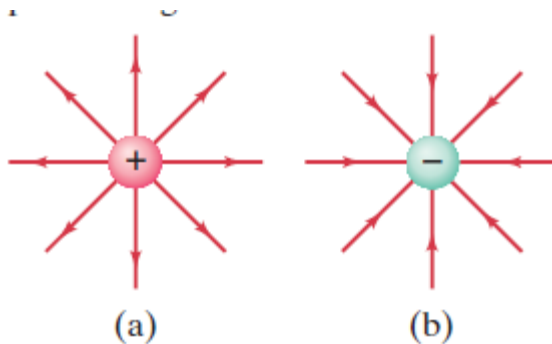
$$E = k \frac{Q}{r^2} \quad (\text{birlik nuqtaviy zaryad}) \quad (6)$$

Yoki (6) ga ε_0 ning qiymatini qo'yamiz ($k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$)

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r^2} \quad (\text{birlik nuqtaviy zaryad}) \quad (7)$$

Shuni ta'kidlaymizki, E q zaryadga bog'liq emas: elektr maydon kuchlanganligi shu maydonni yuzaga keltiradigan Q zaryad bilan aniqlanadi va sinov zaryadining qiymatiga bog'liq bo'lmaydi. (7) tenglama elektr maydonini xarakterlaydi.

Elektr kuch chiziqlari. Elektr maydoni vektor kattalik bo'lganligi sababli uni 11-rasmda ko'rsatilgandek, turli nuqtalarda strelkalar bilan tasvirlash mumkin. E_a , E_b va E_c vektorlarning yo'nalishlari rasmda ko'rsatilgan yo'nalishlar bilan mos tushgan bo'lar edi va faqat q ga bo'linish natijasida ularning uzunligi boshqacha bo'lar edi. E_a , E_b va E_c vektorlarning uzunliklarining nisbatlari o'zgarmay qoladi, chunki biz ularni bitta zaryadga bo'lamiz. Biroq bu yo'l bilan elektr maydonini tasvirlash noqulay, chunki nuqtalar soni ko'p bo'lganida butun rasm strelkalar bilan bejabtashlangan bo'ladi. Shuning uchun maydonni tasvirlashning boshqa usuli – kuch chiziqlari metodidan foydalaniladi.



11-rasm.

Elektr maydonini yaqqol ifodalash uchun fazoning har bir nuqtasida maydon kuchlanganligining yo`nalishini ko`rsatuvchi chiziqlar oilasidan foydalaniladi. **Kuch chiziqlari** deb ataluvchi bu chiziqlar berilgan maydonda musbat sinov zaryadiga ta`sir qiluvchi kuchning yo`nalishini ko`rsatadigan qilib o`tkaziladi. Musbat nuqtaviy zaryadning kuch chiziqlari 11-a-rasmda, manfiy nuqtaviy zaryadning kuch chiziqlari 11-b-rasmda ko`rsatilgan. Birinchi holda chiziqlar zaryaddan radial tarzda chiqadi, ikkinchi holda esa zaryadga radial kiradi. Kuchlar musbat sinov zaryadiga aynan shunday yo`nalishda ta`sir qiladi. Albatta, kuch chiziqlarini rasmda ko`rsatilgan tasvirlar orasiga ham chizish mumkin. Biroq biz musbat zaryaddan chiqadigan yoki manfiy zaryadda tugaydigan kuch chiziqlarining soni zaryad miqdoriga proporsional bo`lishini shartlashib olamiz. Zaryad yaqinida kuch maksimal bo`lishiga va chiziqlar zichroq joylashishiga e`tibor qaratamiz. Bu kuch chiziqlarining umumiy xossasi: kuch chiziqlari qancha zich joylashgan bo`lsa, *bu maydondagi elektr maydoni* shuncha kuchliroq. Umuman olganda, E maydonning yo`nalishiga perpendikulyar birlik yuzani kesib o`tadigan kuch chiziqlarini elektr maydon kuchlanganligiga proporsional qilib chizish mumkin. Masalan. Birlik musbat zaryad uchun (11-rasm) elektr maydon kuchlanganligi $1/r^2$ munosabat bilan kamayadi, birlik yuzani kesib o`tuvchi tekis taqsimlangan kuch chiziqlarining soni ham masofa ortishi bilan kamayib boradi: kuch chiziqlarining umumiy soni o`zgarmay qoladi, ular kesib o`tadigan sirt yuzasi  $4\pi r^2$  munosabat bilan ortadi ( $r$  radiusli sferaning sirti). Shunga mos ravishda birlik yuzaga to`g`ri keladigan kuch chiziqlarining soni $1/r^2$ ga proporsional.

12-a-rasmda ikkita qarama-qarshi ishorali zaryadlar yuzaga keltiradigan kuch chiziqlari ko`rsatilgan. Bu erda kuch chiziqlari qiyshaygan va musbat zaryaddan manfiy zaryad tomonga yzalgan. Maydon ixtiyoriy nuqtada R nuqtada strelka bilan ko`rsatilgandek kuch chizig`iga urinma bo`ylab yo`nalgan. 12-b va v-rasmlarda ikkita musbat zaryad elektr maydonining kuch chiziqlari hamda ikkita qarama-qarshi zaryadlangan parallel plastinkalar orasidagi maydonning kuch chiziqlari ko`rsatilgan. plastinalar orasidagi maydonning kuch chiziqlari parallel va bir-biridan bir xil masofada joylashganligini ta`kidlab o`tamiz. Shunday qilib, markaziy sohada elektr maydon kuchlanganligi hamma nuqtada bir xil va quyidagini yoza olamiz:

$$E = const \quad (\text{yaqin joylashgan parallel plastinkalar orasida}) \quad (8)$$

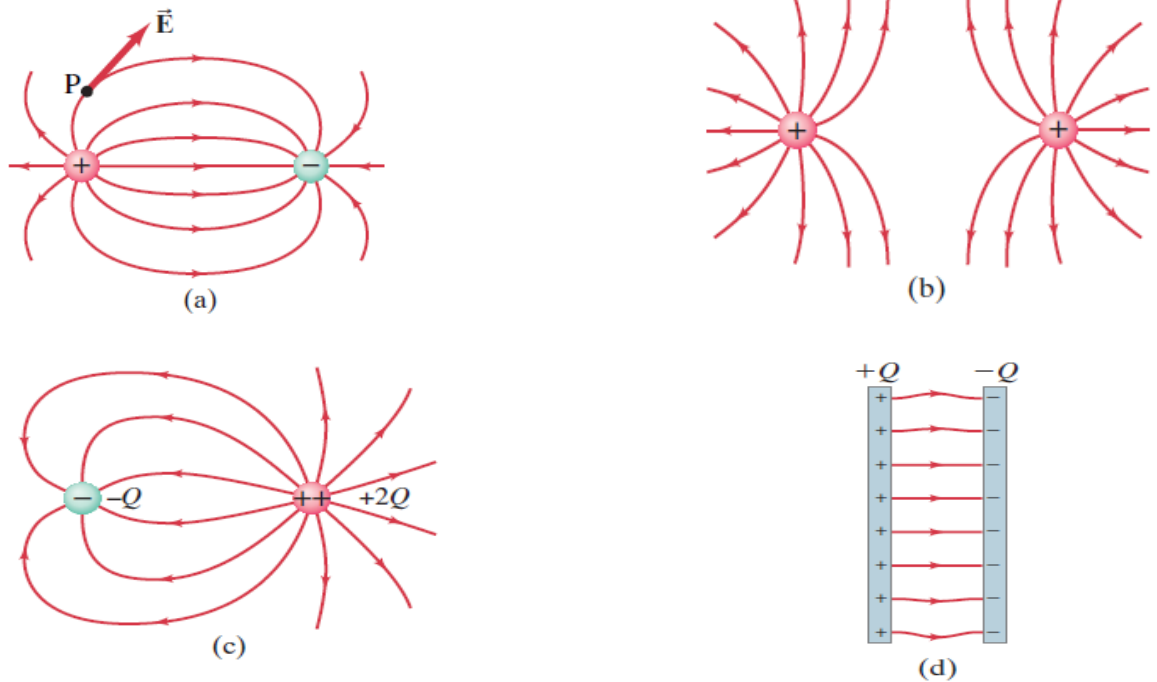
Chekkalariga yaqin joyda bunday emasligiga qaramasdan (kuch chiziqlari egiladi), ko`pincha, ayniqsa plastinkalar orasidagi masofa ularning o`lchamlaridan kichik bo`lgan hollarda buni hisobga olmasa ham bo`ladi. Shunday qilib, kuch chiziqlari quyidagi xossalarga ega:

1. Kuch chiziqlari elektr maydoni kuchlanganligining yo`nalishini ko`rsatadi: ixtiyoriy nuqtada maydon kuchlanganligi kuch chiziqlariga urnma bo`ylab yo`nalgan.

2. Kuch chiziqlari elektr maydjon kuchlanganligi E chiziqlarga perpendikulyar birlik yuzadan o`tuvchi chiziqlar soniga proporsional qilib o`tkaziladi.

3. Kuch chiziqlari faqat musbat zaryaddan boshlanadi va faqat manfiy zaryadda tugaydi; zaryaddan chiquvchi yoki unga kiruvchi chiziqlar soni zaryad kattaligiga proporsional.

Elektr maydonining kuch chizig`i – bu maydonga kiritilgan kichik sinov zaryadi harakatlanishi mumkin bo`lgan traektoriyadir. Kuch chiziqlari hech qachon kesishmaydi.



12-rasm.

Vakuumda joylashgan ixtiyoriy qo'zg'almas $q_1, q_2, \dots, q_n$ nuqtaviy zaryadlar tizimining elektrostatik maydonini qarab chiqamiz. Maydonning ixtiyoriy nuqtasida q zaryadga ta'sir etadigan natijaviy kuch q zaryadlarning har biri tomonidan q_i zaryadga qo'yilgan $\vec{F}$ kuchlarning geometrik yig'indisiga tengligi tajribada ko'rsatilgan:

(6) dan $\vec{F} = q\vec{E}$ va $\vec{F}_i = q_i\vec{E}_i$ kelib chiqnadi, bu erda $\vec{E}$ - zaryadlar tizimining maydon kuchlanganligi, $\vec{E}_i$ esa bitta q_i zaryadning maydon kuchlanganligi. Bu ifodalarni (8) ga qo'yib va q ga qisqartirib

$$\vec{E} = \sum \vec{E}_i \quad (9)$$

ifodani olamiz.

(9) tenglama **elektr maydonlari uchun superpozitsiya prinsipini** (elektr maydonlari ta'sirining mustaqillik prinsipi) ifodalaydi:

nuqtaviy zaryadlar tizimining elektr maydon kuchlanganligi alohida olingan shu zaryadlarning har birining maydon kuchlanganliklarining geometrik yig'indisiga teng.

Boshqacha qilib aytganda, natijaviy maydonni sistema zaryadlarining har birining alohida maydonlarining qo`shilishi (superpozitsiya) deb qarash mumkin. (7) ga asosan,

$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \sum \frac{q_i}{r_i^3} \vec{r}_i$, (7) bu erda $\vec{r}_i$ - q_i zaryaddan maydonning ko`rilayotgan nuqtasiga o`tkazilgan radius-vektor. Shu sababli vakuumdagi elektrostatik maydon uchun (9) tenglamani

$$\vec{E}_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^3} \vec{r}_i \quad (10)$$

ko`rinishda qayta yozish mumkin.

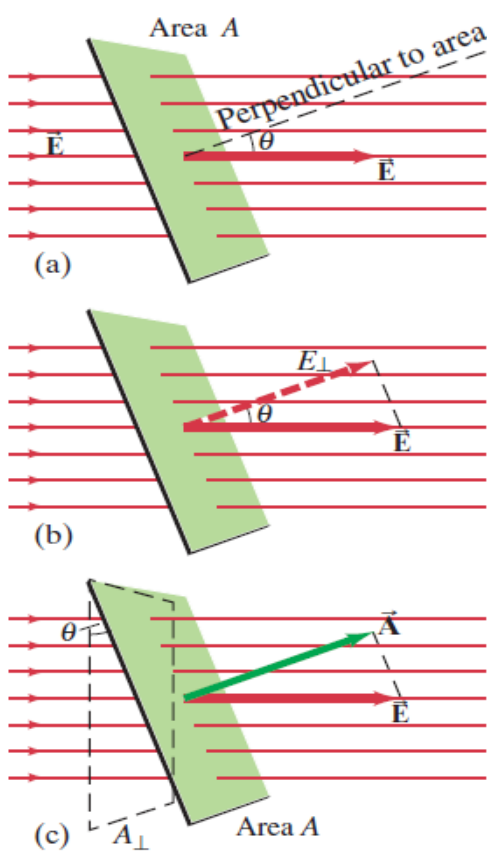
Agar sistemaning zaryadlari fazoda uzluksiz taqsimlangan bo`lsa, superpozitsiya prinsipiga muvofiq shu sistemaning vakuumdagi maydon kuchlanganligi

$$\vec{E}_i = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_{(Q)} \frac{dQ}{r^3} \quad (11)$$

Gauss teoremasi.

Elektromagnetizmning muhim qonunlaridan biri Gauss teoremasi buyuk matematik Karl Fridrix Gauss (1777-1855) tomonidan ochilgan. U elektr zaryadini va elektr maydonini tushuntirishga, Kulon qonunining umumiy va xususiy holini ko`rsatishga yordam beradi.

Gauss teoremasi elektr toki tushunchasini qamrab oladi. Kuchlanganligi E bo`lgan bir jinsli elektr maydonining kuch chiziqlari kesib o`tadigan yuzani qarab chiqamiz (13-rasm).



13-rasm

kuchlanganlik oqimi Φ_E quyidagicha aniqlanadi: Agar elektr maydon kuchlanganligi yuzaga perpendikulyar bo'lsa (13-a-rasm), u holda

$$\Phi_E = EA$$

Agar A yuza E ga perpendikulyar bo'lmasdan, u bilan biror Θ burchakni hosil qilsa, u holda kamroq kuch chiziqlarini kesib o'tadi. Bu holda yuza orqali o'tadigan kuchlanganlik oqimi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\Phi_E = EA_{\perp} = EA \cos \Theta$$

Bu erda $A_{\perp}$ - A yuzaning E ga perpendikulyar tekislikka proeksiyasi. A yuzani uning sirtiga perpendikulyar yo'nalgan, miqdor jihatidan yuzaga proporsional bo'lgan vektor A bilan ifodalash mumkin, u holda E va A orasidagi burchak Θ va kuchlanganlik oqimini ekvivalentligini yozish mumkin:

$$\Phi_E = E_{\perp} A = EA_{\perp} = EA \cos \Theta \quad (12)$$

bu erda $E_{\perp} = E \cos \Theta$ - E ning yuzaga perpendikulyar tashkil etuvchisi (13-b-rasm) va shunga o'xshash, $A_{\perp} = A \cos \Theta$ - E maydonga perpendikulyar A yuzaga proeksiyasi (13-s-rasm).

Bir jinsli elektr maydoni E A yuza sirti orqali o'tadi: (a) – kuch chiziqlariga perpendikulyar, (b) – kuch chiziqlariga perpendikulyar emas, (s)- perpendikulyar tekislikka proeksiyasi.

Kuchlanganlik oqimi kuch chiziqlari tushunchasiga asoslanib tushuntirilishi mumkin. 16-8-bo'limda ko'rganimizdek, $A_{\perp}$ maydon yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan birlik yuzadan o'tuvchi kuch chiziqlarining soni N elektr maydon kuchlanganligiga proporsional:

$$E \sim N / A_{\perp}$$

Demak,

$$N \sim EA_{\perp} = \Phi_E \quad (13)$$

ya'ni yuza orqali o'tadigan maydon kuchlanganligining oqimi uning sirtini kesib o'tuvchi kuch chiziqlarining soniga proporsional.

Gauss teoremasi bir jinsli bo'lmagan, yassi bo'lmagan fazodagi umumiy maydonni qamrab oladi. 14-rasmda ko'rsatilgandek fazoni qarab chiqamiz. Bu sirtni n ta elementga bo'lamiz va ularning yuzasini $\Delta A_1, \Delta A_2, \dots$, va h.k. deb belgilaymiz. Bo'laklarni 1) har bir element yassi va 2) element doirasida elektr maydoni bir jinsli deb hisoblash mumkin bo'ladigan qilib bo'lamiz. U holda butun sirt orqali o'tadigan kuchlanganlik oqimi yg'indi ko'rinishida bo'ladi:

$$\Phi_E = E_1 \Delta A_1 \cos \Theta_1 + E_2 \Delta A_2 \cos \Theta_2 + \dots = \sum E \Delta A \cos \Theta = \sum E_{\perp} \Delta A$$

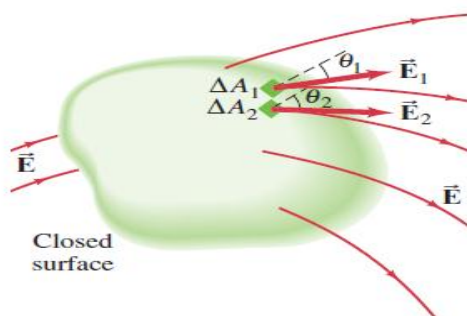
bu erda E_i - ΔA_i elementga maydon kuchlanganligi. $\Delta A_i \rightarrow 0$ chegarada butun sirt bo'ylab integralga o'tadi va tenglik aniqlanandi:

$$\Phi_E = \sum E_{\perp} \Delta A \sim Q_{encl}$$

Proporsionallik koeffitsienti Kulon qonunidagi $1/\epsilon_0$ mos keladi va biz quyidagiga

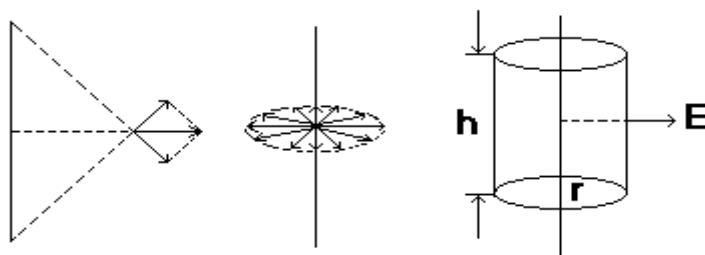
ega bo'lamiz:
$$\sum E_{\perp} \Delta A = \frac{Q_{encl}}{\epsilon_0}$$

bu erda summa ($\sum$) biror yopiq sirtni qamrab oladi va Q_{encl} - shu yopiq sirdagi zarra. Bu Gauss teoremasini ifodalaydi.



14-rasm.

1. Cheksiz uzun zaryadlangan to'g'ri simning maydon kuchlanganligi.



15-rasm

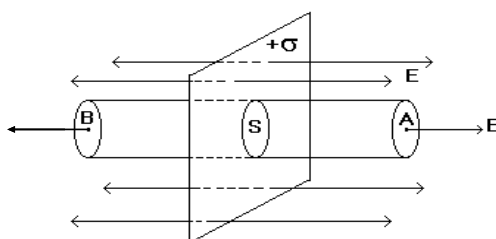
15-rasmdan ko`rinib turibdiki,  $E$  simga perpendikulyar. Simni silindrik yuza bilan o`raymiz. ρ -chiziqli zichlik (bir metr uzunlikdagi zaryad miqdori). Gauss teoremasiga asosan:

$$\Phi = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_i^n q_i = \frac{\rho h}{\varepsilon_0} \quad (13)$$

Bu erda $\sum_i^n q_i = \rho h$ -silindr ichidagi zaryad. Boshqachasiga $\Phi = ES = E \cdot 2\pi rh$, yoki,

$$\frac{\rho h}{\varepsilon_0} = E \cdot 2\pi rh, \text{ bundan} \quad E = \frac{\rho}{2\pi\varepsilon_0 r} \quad (14)$$

2. Zaryadlangan cheksiz tekislikning maydon kuchlanganligi. Bu misolda xam E yuzaga perpendikulyardir. A nuqtadagi E kuchlanganlikni topamiz.



16-rasm

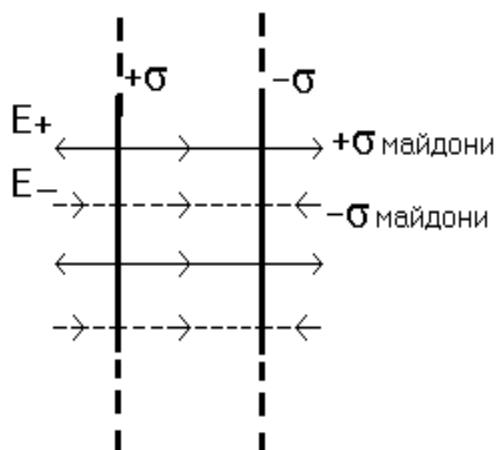
Yuzaga perpendikulyar bo`lgan silindr yuzani chizamiz. Yuza silindrni teng ikkiga bo`ladi. Gauss teoremasiga asosan silindr yuzadan o`tayotgan oqim

$$N = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_i^n q_i = \frac{\delta S}{\varepsilon_0} \quad (15) \text{ ga teng.}$$

Bu erda δ -yuza birligidagi zaryad. Yoki $N = E \cdot 2S = \frac{\delta S}{\varepsilon_0}$.

Demak, $E = \frac{\delta}{2\varepsilon_0}$ (16) va u yuzadan bo`lgan masofaga bog`liq emas.

3. Zaryadlangan ikki prallel cheksiz tekislik maydon kuchlanganligi.



17-rasm

$$|\sigma^+| = |\sigma^-| \text{ bo'lgani uchun } E_+ = E_- = \frac{\sigma}{2\sigma_0} \quad (14.14) \text{ tekisliklar o'rtasida}$$

$$E = E_+ + E_- \text{ va } E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (17) \text{ bo'ladi.}$$

Tekisliklardan tashqarida $E = E_+ - E_-$. Shuning uchun tashqarida $E=0$. Demak ikki cheksiz parallel tekisliklarda elektr maydoni bir jinsli bo'lib, ular faqat parallel tekisliklar orasida bo'lar ekan.

Potensial. Elektr maydon kuchlanganligi bilan potensial orasidagi bog'lanish

Mexanikadan ma'lum-ki, kuchlarning potensial maydonida joylashgan jism potensial energiyaga ega bo'lib, maydon kuchlari shu energiya hisobidan ish bajaradi. Elektr maydonida bajarilgan ishni potensial energiya farqi sifatida ifodalash mumkin:

$$A = -(E_1 - E_2), \quad (18)$$

$$E_1 = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_\epsilon r_1} \text{ va } E_2 = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_\epsilon r_2}$$

Demak, o'zaro ta'sir potensial energiyasi $E = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_\epsilon r}$. Elektrostatik **maydon**

potensial φ esa, sinovchi q_0 zaryadning elektrostatik maydon ixtiyoriy nuqtasidagi potensial energiyasi E ning shu zaryad miqdoriga nisbati bilan aniqlanadigan fizik kattalikka aytiladi, ya'ni:

$$\varphi = \frac{E}{q} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}. \quad (19)$$

Potensial son jihatidan birlik musbat zaryadning maydondagi muayyan nuqtadagi potensial energiyasiga tengdir. Zaryadlar sistemasi hosil qilgan maydon potentsiali sistema tarkibiga kirgan har bir zaryadning alohida hosil kilgan maydon potentsiallari algebraik yig`indisiga tengdir.

Agar bizga potentsiallari φ_1 va φ_2 ga teng bo`lgan, bir-biridan  $\Delta d = d_2 - d_1$  masofada joylashgan ikkita parallel plastinka berilgan bo`lsa, maydon kuchlanganligi uchun

$$E = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\Delta d} \quad (20)$$

ifodani olamiz. XBS da kuchlanish **1V** birligi bilan o`lchanadi.

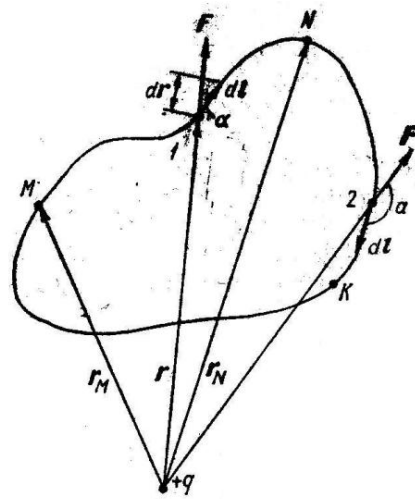
Nazorat savollari

1. Elektr maydon kuchlanganligi oqimi nimaga teng?
2. Gaus teoremasini matematik ifodasini tushuntiring?
3. Uzunligi cheksiz va to`g`ri chiziqli shaklli zaryadlangan simning r masofadagi elektr maydonning xisoblang?
4. Zaryadlangan cheksiz tekislikning va zaryadlangan bir - biriga parallel ikki tekislikning elektr maydoni kuchlanganligini aniqlang?
5. Sirt zichligi va chiziqli zichliklarni izoxlang?
6. Zaryadlangan yassi plastinka atrofidagi elektr maydon qanday ifodalanadi?
7. Ikki parallel zaryadlangan plastinka oralig`ida xosil buladigan maydon kuchlanganligini yozing?

Elektrostatik maydon kuchlarining bajargan ishi. Elektr maydon potentsiali.

Elektr maydon kuchlanganligi va potensial orasidagi bog`lanish

Nuqtaviy q zaryad tufayli vujudga kelgan elektr maydonning M nuqtasidan N nuqtasiga q' zaryad ko`chirilayotgan bo`lsin (18-rasm). Bu ko`chirilishda maydon kuchlarining bajargan ishini hisoblaylik.  $M$  nuqtaning zaryaddan uzoqligini  $r_M$  bilan,  $N$  nuqtaning uzoqligini esa bilan belgilaylik.  $q'$  zaryad ko`chirilish yo`lini  $MN$  ixtiyoriy shakildagi egri chiziqdan iborat bo`lsin. MN yo`lni kichik  $dl$  elementar bo`lakchalarga ajratamiz. Shu elementar masofada bajarilgan ish quydagicha aniqlanadi:



18-rasm

$$dA = F \cdot dl \cdot \cos \alpha \quad (21)$$

Bu ifoda F - q zaryad tufayli vujudga kelgan elektr maydonda q' zaryadga ta`sir etuvchi kuch, uning miqdori  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{qq'}{r^2}$  ga teng.  $\alpha$  esa  $F$  kuch bilan elementar ko`chish dl orasidagi burchak. Shuning uchun $dl \cdot \cos \alpha = dr$ bo`ladi. Natijada (15.1) ifodani quydagi ko`rinishda yozamiz:

$$dA = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{qq'}{r^2} dr \quad (22)$$

MN ko`chirilishda bajarilgan ish  $A_{MN}$  esa barcha elementar ko`chirilishda bajarilgan dA ishlarning yig`indisiga tengdir. Bu yig`indi quydagi integrallashga keltiriladi:

$$A_{MN} = \int dA = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} qq' \int_{r_m}^{r_N} \frac{dr}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r_M} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r_N} \quad (23)$$

Bu ifodadan ko`rinib turibdiki, elektr maydonda  $q'$  zaryadni ko`chirishda bajarilgan ish ko`chirilayotgan zaryadning boshlang`ich va oxirgi vaziyatlariga

bogʻliq , holos. Bunda hususiyatga ega boʻlgan maydonni potensial maydon deb atagan edik. Potensial maydon berk kontur boʻyicha q zaryadni koʻchirishda bajarilgan ish (23) ifodaga asosan nolga teng, chunki q zaryadning boshlangʻich xolatdagi oʻrni ham , ohirgi holatdagi oʻrni ham M nuqtada joylashgandir. MNKM berk yoʻlda bajarilgan ish nolga teng boʻlishi uchun bu yoʻlning baʼzi boʻlakchalarida esa manfiy boʻlish kerak. haqiqatdan ham , 1 vaziyatda F va dl orasidagi α burchak oʻtkir, 2 vaziyatda esa burchak oʻtmas. Shuning uchun 1 vaziyatda bajarilgan ish dA

elementar ish (22) ifodaga asosan musbat, 2 vaziyatda esa manfiydir. Demak, 1 vaziyatda q zaryadni maydon kuchlari tasirida koʻchirilsa, 2 vaziyatda q zaryadni koʻchirish uchun maydon kuchlariga qarshi ish bajariladi.

Yuqoridagi mulohazalardan , q zaryadni elektr maydonda berk yoʻl boʻyicha qurilishda bajarilgan ish nolga teng ekanligiga ishonch hosil qildik, yaʼni:

$$A_{MNKM} = \oint_l dA = \oint_l F dl \cos \alpha = 0 \quad (24)$$

Ikkinchi tomondan, q zaryadga kuchlanganligi E boʻlgan elektr maydonda taʼsir etuvchi kuch $F = q \cdot E$ ga teng.

Bundan foydalanib (24) ifodani quydagicha yozish mumkin :

$$\oint_l q' E dl \cos \alpha = 0$$

Bu tenglikni q ga qisqartirib va $E \cdot \cos \alpha = E_L$ (E_L - E vektorining dl yoʻnalishiga proyeksiyasi) ekanligini hisobga olsak, quydagi munosabat kelib chiqadi:

$$\oint_l E_l dl = 0 \quad (25)$$

Shunday qilib, elektr maydon- potensial maydondir va bu maydon kuchlanganlik vektorining ixtiyoriy berk kontur boʻyicha sirkulyatsiyasi 0 ga teng boʻladi.

MN koʻchirilishida bajarilgan ish M va N vaziyatlarda zaryadning potensial energiyalari farqiga teng, yaʼni:

$$A_{MN} = W_{pM} - W_{pN} \quad (26)$$

Bu ifodani (17) bilan taqqoslash natijasida q zaryad tufayli vujudga kelgan elektr maydonning M va N nuqtalarida joylashgan q' zaryadning potensial energiyalari:

$$W_{pM} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r_M} \quad W_{pN} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r_N} \quad (27)$$

ekanligi kelib chiqadi. Bundan q' zaryad maydonning r masofa bilan harakterlanuvchi ixtiyoriy nuqtasida joylashganda uning potensial energiyasi:

$$W_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r} \quad (28)$$

bo'lishi kerak. Elektr maydonning biror nuqtasida joylashgan turlicha kattalikdagi sinov zaryadlarini potentsiallarining energiyalari turlicha bo'ladi, lekin potensial energiyaning sinov zaryad kattaligiga nisbati ayni nuqta uchun o'zgarmas kattalikdir. Bu kattalikni potensial deb ataladi va ϕ harfi bilan belgilanadi:

$$\phi = W_p / q' \quad (29)$$

Demak, *elektr maydon biror nuqtasining potentsiali deganda shu nuqtagacha olib kirilgan birlik musbat zaryadning potensial energiyasi tushuniladi.*

Agar elektr maydon zaryadlar sistemasi tufayli vujudga kelayotgan bo'lsa, natijaviy maydon biror nuqtasining potentsiali sistemaga kiruvchi alohida zaryadlar tufayli vujudga kelgan maydonlarning tekshirilayotgan nuqtadagi potentsiallarining algebrik yeg'indisga teng bo'ladi:

Birlik nuqtaviy Q zaryaddan r masofadagi elektr potentsalni bevosita (24) formuladan olish mumkin ($E = kQ/r^2$). Cheksizlikda potensial nolga teng deb qabul qilingan (masalan, $r_b = \infty$ da $U_b = 0$) va u holda yakkalangan nuqtaviy zaryaddan r masofadagi elektr potentsiali quyidagiga teng:

$$U = k \frac{Q}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r} \quad (\text{birlik nuqtaviy zaryad } r_b = \infty \text{ da } U_b = 0) \quad (30)$$

bu erda $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \approx 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$. Bu cheksizlikka nisbatan elektr potentsalidir, uni ba'zida birlik nuqtaviy zaryad Q ning absolyut potentsiali ham deb atashadi, bu erda $r_b = \infty$ da $U_b = 0$. Elektr maydon kuchlanganligi masofaning kvadratiga proporsional kamayadi, potensial U esa masofaning

birinchi darajasiga proporsional kamayadi. Musbat zaryad atrofida potensial juda katta va juda katta masofada nolgacha kamayadi. (19-a-rasm). Manfiy zaryad atrofida potensial noldan kichik (manfiy) va masofa ortishi bilan nolgacha ortib boradi. (19-b-rasm). Ba`zan (31) formulani Kulon potentsiali deb ham ataladi (uni Kulon qonunidan keltirib chiqariladi).



19-rasm.

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots = \sum \varphi_i \quad (31)$$

Bu ifoda i-zaryadning nomeri. Agar nuqtaviy zaryadlar sistemasi tufayli vujudga keladigan maydon potentsialini topish lozim bo`lsa, (31) quydagicha yoziladi:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum \frac{q_i}{r_i} \quad (32)$$

bunda q_i – i nuqtaviy zaryad kattaligi, r_i chiziq shu zaryaddan potensial tekshirilayotgan nuqttagacha masofa.

(32) ifoda turli shakildagi va turli o`lchamli zaryadlangan jismlar elektr maydonlarining potentsiallarini hisoblashga yordam beradi. Jumladan, bir-biridan l masofada joylashgan miqdorlari teng lekin qarama qarshi ishorali zaryadlar ($|q_+| = |q_-| = q$) sistemasi (elektr depol)li potentsial:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_+} + \frac{1}{r_-} \right) \quad (33)$$

bo`ladi, bunda r_+ va r_- - mos ravishda musbat va manfiy zaryadlardan tekshirilayotgan nuqttagacha masofalar.

Umumiy zaryad q bo`lgan sferaning markazidan  $r$  masofa uzoqlikdagi nuqtaning potentsiali esa xuddi nuqtaviy zaryad maydonni potentsialidek bo`ladi:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

Sfera sirtidagi nuqtalar (ya'ni $r=R$ bo'lganda) uchun potensial:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} R \quad (34)$$

bo'ladi, bunda $\sigma = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2}$ sferadagi zaryad zichligi.

$W_p = q \cdot \varphi$ ekanligidan foydalansak, q zaryadni M nuqtadan N nuqtaga ko'chirishda bajarilgan ish:

$$A_{MN} = W_{pM} - W_{pN} = q(\varphi_M - \varphi_N)$$

ifoda bilan aniqlanadi. Xuddi shu q zaryadni M nuqtadan cheksizlikka ko'chirishda bajarilgan ish esa:

$$A_\infty = q \cdot \varphi_M \quad (35)$$

bo'ladi, chunki $\varphi_\infty = 0$.

(35) ifoda asosida potensialni quyidagicha ham ta'riflash mumkin.

Elektr maydon ixtiyoriy nuqtasining potentsiali deganda shu nuqtadan birlik musbat zaryadni cheksizlikka ko'chirish uchun lozim bo'ladigan ish bilan harakterlanuvchi kattalik tushuniladi.

(35) dan foydalanib potensialning o'lchiv birligining keltirib chiqarish mumkin. XBS da potensialning o'lchov birligi sifatida elektr maydon shunday nuqtasining potentsiali qabul qilinganki, bu nuqtadan bir 1C (kulon) zaryadni cheksizlikka ko'chirish uchun 1 J (joul) ish bajarish kerak. Elektr maydon bunday nuqtasining potensialini 1 V (volt) deyiladi.

Ko'p hollarda maydon nuqtalarining potentsiali emas, balki maydonning ikki nuqtasi orasida potentsiallar farqi fizik manoga ega bo'ladi. Bu holda voltaga quyidagicha ta'rif berish mumkin:

1 volt – elektr maydonning shunday ikki nuqtasining potentsiallarining farqiki, 1 C zaryadni bu ikki nuqta orasida ko'chirish uchun 1 J ish bajarish lozim
Potensial va kuchlanishning o'lchmigi – $L^2MT^{-3}I^{-1}$.

Elektron-volt, energiya birligi. Ham atom va yadro fizikasida, ham ximiyada va molekulyar biologiyada Joule elektronlar, atomlar va molekulalarning energiyasini o'lchash uchun juda yirik birlik. Bu erda *elektron-volt* (eV) birligidan foydalanish qulayroq. Bir elektron-volt elektron ($q = e$) 1 V potentsiallar farqidan o'tganda oladigan energiyaga teng. Elektron zaryadi $1,6022 \times 10^{-19} C$ va potentsial energiyaning o'zgarishi qU ga teng. Demak, 1 eV quyidagiga teng:

$$1eV = 1,6022 \times 10^{-19} \approx 1,60 \times 10^{-19} J$$

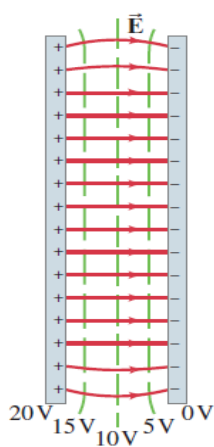
1000 V potentsiallar farqida tezlashtirilgan elektron 1000 eV potentsial energiya yo'qotadi va 1000 eV (yoki 1 keV) kinetik energiya oladi. Agar o'sha potentsiallar farqida zaryadi ikki marta katta ($2e = 3,2 \times 10^{-19} C$) elektron tezlashtirilsa, uning energiyasi $2000 eV = 2 keV$ ga o'zgaradi.

Elektron-volt molekulalar va elementar zarralarning energiyasini o'lchash uchun qulay birlik, biroq u XB sistemasiga kirmaydi. SHuning uchun hisoblashlarda yuqorida keltirilgan koeffitsientdan foydalanib elektron-voltlarda Joullarga aylantirish kerak.

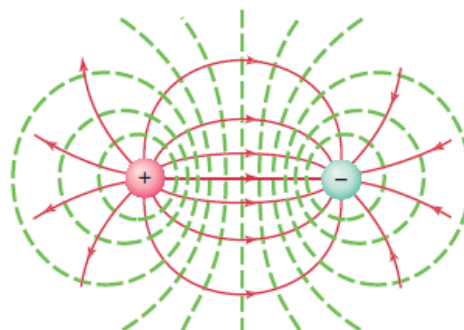
Elektr maydonning potentsiali va kuchlanganligi orasidagi bog'lanish. Elektr potentsialni **ekvipotentsial chiziqlarni** yoki uch o'lchamda – **ekvipotentsial sirtlarni** tasvirlab grafik ifodalash mumkin. Ekvipotentsial sirtning hamma nuqtalariga bir xil to'g'ri keladi. Boshqachva aytganda, bu sirtning ixtiyoriy ikkita nuqtasi orasidagi potentsiallar farqi nolga teng, va bir nuqtadan boshqa nuqtaga zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish nolga teng. Ekvipotentsial sirt ixtiyoriy nuqtada elektr maydon kuchlanganligi yo'nalishiga perpendikulyar bo'lishi kerak. Agar bunday bo'lmaganda edi (ya'ni sirtga parallel bo'lgan E komponenta mavjud bo'lganda edi), u holda bu E komponentaga qarama-qarshi yo'nalishda sirt bo'ylab zaryadni ko'chirish uchun ish bajarish kerak bo'lar edi, bu esa ekvipotentsial sirt haqidagi farazimizga zid keladi.

Elektr maydon kuch chiziqlari ekvipotentsial sirtga perpendikulyar ekanligi agar kuch chiziqlarining joylashishi ma'lum bo'lsa, ekvipotentsial sirtlarni

chizishga yordam beradi. 20-rasmda potentsiallar farqi 20 V no tashkil qiladigan parallel plastinkalar orasidagi maydon uchun bir necha ekvipotensial chiziqlar (shtrix chiziqlar) chizilgan. Bu chiziqlar rasmni kitob sahifasi yuzasiga perpendikulyar tarzda kesib o`tdigan ekvipotensial sirtlarga tegishli. Manfiy plastinkaning potentsiali shartli ravishda nolinch deb qabul qilingan, har bir ekvipotenitsal chiziqlarning tegishli potentsiali ko`rsatilgan. 21-rasmda ikkita miqdor jihatidan teng, ishorasi jihatidan qarama-qarshi zaryadlar holi uchun ekvipotensial chiziqlar ko`rsatilgan.



20-rasm.



21-rasm.

Yuqorida biz statik holda o`tkazgich ichida elektr maydoni bo`lmaydi, aks holda erkin elektronlarga kuch ta`sir qilgan bo`lar edi va ular harakatga kelgan bo`lar edi. Boshqacha aytganda, statik holda o`tkazgich bir xil potentsial ostida yaxlit bo`lishi kerak va shunday qilib, o`tkazgichning sirti ekvipotensial hisoblanadi. (Aks holda sirtidagi erkin elektronlar harakatga kelgan bo`lar edi). Bu elektr maydoni o`tkazgich sirtida sirtga perpendikulyar degan faktga to`la mos keladi.

Teng potentsialli nuqtalarning geometrik o`rinlaridan tashkil topgan sirt *ekvipotensial sirt* deyiladi (<<ekvi >> lotincha so`z bo`lib <<teng >> degan ma`noni bildiradi). Demak, ekvipotensial sirt nuqtalari uchun

$$\varphi = \text{const.}$$

Masalan, nuqtaviy zaryad uchun ekvipotensial sirtlar markazlari zaryadda joylashgan sferik sirtlardan iboratdir . Elektr maydonni ekvipotensial sirtlar yordamida grafik usulida (22-rasm) tasvirlash mumkin. q zaryadni ekvipotensial sirtning M nuqtasidan N nuqtasiga ko`chirishgacha bo`lgan ish quydagicha aniqlanai:

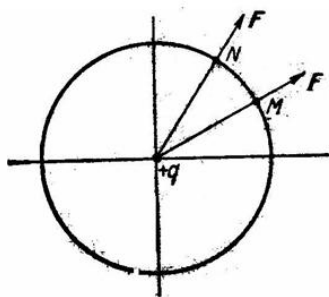
$$A_{MN} = q(\varphi_M - \varphi_N) \quad (36)$$

Tekshirilayotgan xususiy holda M va N nuqtalariga 1 ekvipotensial sirt ustida joylashganligi uchun bu nuqtalarning potentsiallari o`zaro teng bo`ladi, ya`ni $\varphi_M = \varphi_N$.

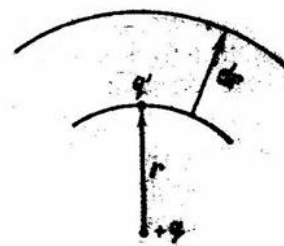
Shuning uchun :

$$A_{MN} = 0$$

q zaryad tuvayli vujudga kelgan maydon q zaryadning MN yo`l bo`yicha ko`chishda bajarilgan ish ko`chirish yo`nalishi bilan ta`sir etuvchi kuch yo`nalish o`zaro perpendikulyar bo`lgandagina nolga teng bo`ladi. Shuning uchun zaryadga ta`sir etuvchi kuch va kuchlanganlik vektori ( $F$  va  $E$  larning yo`nalishlari bir xil ekanligini eslang) doimo ekvipotensial sirtga perpendikulyar bo`ladi, degan hulosaga kelamiz. Miqdori  $+q$  bo`lgan nuqtaviy zaryadning elektr maydonida q zaryad 1 ekvipotensial sirtidan 2 ekvipotensial sirtga ko`chirilayotgan bo`lsin.



22-rasm



23-rasm

Ko`chirish boshlanganda  $q$  zaryadning maudon markazidan uzoqligi  $r$  radiusli vector bilan aniqlangan bo`lsin (23-rasm), ko`chirish ohirida esa  $r+dr$  radius vektori bilan aniqlanadi. Shunday ekan  $q$  zaryadning maydon kuchhlari tasirida radius bo`ylab ko`chirib  $dr$  ga uzoqlashtirishda bajarilgan ish  $Fdr$  gat eng bo`ladi. Bu ish q zaryadning potentsial energiyasini dW_p qadar kamaytiradi, chunki markazdan uzoqlashilgan sari , potentsial energiya kamayib boradi. Boshqacha ay-

tganda Fdr ish q zaryad potensial energiyasini dW_p ga o'zgartiradi. Demak , $Fdr = -dW_p$ yoki:

$$Fdr = -\frac{dW_p}{dr} \quad (37)$$

Mazkur ifodaning ikkala tomonini ko'chirilayotgan zaryad miqdori q ga bo'laylik:

$$\frac{F}{q} = -\frac{d\left(\frac{W_p}{q}\right)}{dr} \quad (38)$$

Bu tenglikning chap tomonidagi kattalik, $+q$ nuqtaviy zaryad maydonning markazidan r uzoqlikdagi nuqtasining kuchlanganligidir.

O'ng tomondag W_p/q esa elektr maydonning huddi shu nuqtasining potensialidir. Shuning uchun (38) ni:

$$E = -\frac{d\varphi}{dr} \quad (39)$$

ko'rinishda yozish mumkin. Bundagi $d\varphi/dr$ – elektr maydon kuchlanganlik chizigi yo'nalishida potensial yo'nalishida potensialning o'zgarish tezligini ifodalovchi va *potensial gradienti* deb ataluvchi kattalikdir. shuni esda tutaylikki , skalyar funksiya gradienti vector , bu vector yo'nalishi funksiya qiymatining eng tez o'sish yo'nalishi bilan aniqlanadi. Vektor analizidagi mazkur tushunchalar asosida elektr maydon kuchlanganligi va potensial orasida bog'lanishni quydagicha ifodalay olamiz:

$$E = -\text{grad}\varphi \quad (40)$$

Demak elektr maydon kuchlanganligi- potensial gradientining manfiy ishora bilan olinganligidir. Manfiy ishora E vector potensial eng tez ortib boradigan tomonga teskari yo'nalganligini ko'rsatadi.

(39) ifodadan elektr maydon kuchlanganligini o'lchov birligi kelib chiqadi:

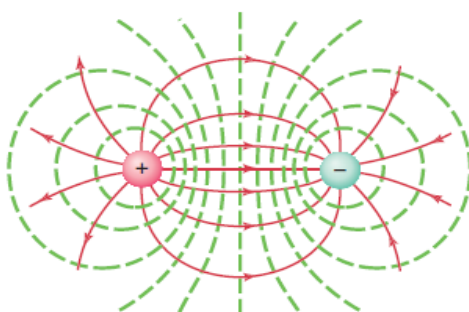
$$[E] = \frac{V}{m}$$

1 volt taqsim metr kuchlanganlik chizigi bo'ylab bir biridan 1 metr uzoqlikda joylashgan nuqtaning potenciallar farqi 1 V bo'lgan bir jinsli elektr kuchlanganligidir.

Bunday maydonga kiritilgan 1 C zaryadga bir nyuton kuch ta'sir etadi. Xaqiqatdan:

$$1\text{V/m} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}} \cdot \frac{1}{\text{m}} = 1 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Elektr dipol potentsiali. Dipol momenti. Bir-biridan l masofada joylashgan, miqdor jihatidan teng, ishorasi jihatidan qarama-qarshi ikkita Q zaryad *elektr dipol* deyiladi. Dipolning kuch chiziqlari va ekvipotensial sirtlari 15-6-rasmda ko'rsatilgan. Elektr dipol nafaqat fizikada, balki molekulyar biologiya kabi yaqin fanlarda ham o'rganiladi.



24-rasm.

Ixtiyoriy P nuqtada dipol yuzaga keltiradigan elektr potentsialni hisoblaymiz (25-rasm). Potensial U har bir zaryad yuzaga keltiradigan potentsiallar summasini ifodalaydi:

$$U = \frac{kQ}{r} + \frac{k(-Q)}{r + \Delta r} = kQ \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r + \Delta r} \right) = kQ \frac{\Delta r}{r(r + \Delta r)}$$

bu erda r - P nuqtadan musbat zaryadgacha, $r + \Delta r$ - manfiy zaryadgacha bo'lgan masofa. Agar dipolgacha bo'lgan masofa zaryadlar orasidagi masofadan ancha katta bo'lgan nuqtalarni ($r \gg l$) qaraydigan bo'lsak, ifoda ancha soddalashadi. 25-rasmdan ko'rinib turibdiki, bu holda $\Delta r = l \cos \Theta$; u holda $r \gg \Delta r = l \cos \Theta$ va maxrajdagi Δr kattalikni r bilan solishtirganda hisobga olmasa ham bo'ladi. Bunday yaqinlashtirishlar ko'pincha foydali bo'ladi va potentsial uchun sodda ifodani olish imkonini beradi:

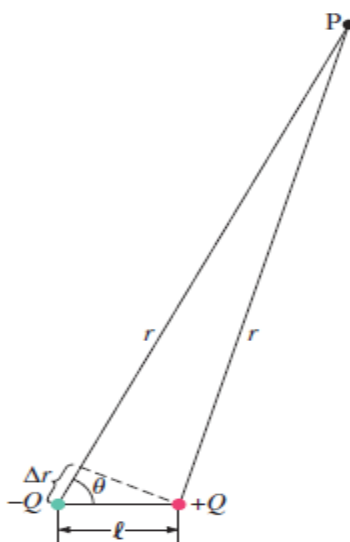
$$U \approx \frac{kQl \cos \Theta}{r^2} \quad (\text{dipol; } r \gg l) \quad (41)$$

(41) formuladan ko`rinadiki, potensial dipolgacha bo`lgan masofaning kvadratiga proporsional kamayadi, nuqtaviy zaryad potentsiali esa masofaning birinchi darajasiga proporsional kamayadi. Bu ajablanarli emas: dipoldan uzoq masofalardagi zaryadlar shu darajada bir-biriga yaqin tuyuladiki, o`zaro neytrallashadilar.

(41) formuladagi Ql ko`paytma *dipol momenti* p deyiladi. (41) formulani dipol momenti orqali quyidagicha yozish mumkin:

$$U \approx \frac{kpcos\Theta}{r^2} \quad (\text{dipol; } r \gg l) \quad (42)$$

Dipol momenti Kulon-metrlarda ($C \cdot m$) o`lchanadai, molekulyar o`lchamlar uchun *debye* i qo`llaniladi: $1debye = 3,33 \times 10^{-30} C \cdot m$.



25-rasm.

Elektr jihatidan neytral bo`lgan ko`pgina molekulalarda elektronlar bir atom atrofida boshqasiga nisbatan ko`proq vaqt davomida bo`ladilar, bu zaryadlarning bo`linishiga ekvivalentdir. Bunday molekulalar dipol momentiga ega bo`ladilar va *qutblangan* deb ataladilar.

Nazorat savollari

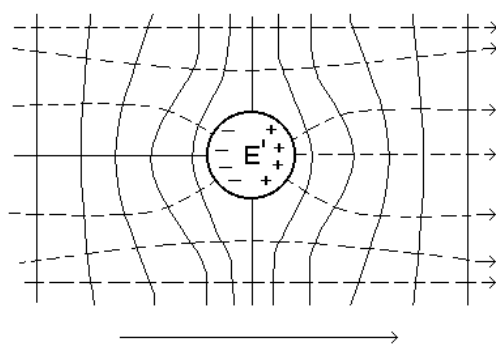
1. Potensial tushunchasining fizik ma`nosi nima?
2. Ikki nuqta potentsiallar farqi nimaga teng?

3. Potensial birligi nima va u nimaga teng?
4. Ekvipotensial chiziq degani nima?
5. Zaryadni ko`chirishda bajarilgan max qanday aniqlanadi?
6. Potensial maydon deb nimaga aytiladi?

Elektr maydonda o`tkazgichlar va dielektriklar.

Elektr sig`imi va elektr maydon energiyasi

Agar metal sharchani bir jinsli elektr maydoniga joylashtirilsa, maydon ta`sirida erkin elektronlar chapga qarab harakatlanib sharning chap yuzasi manfiy, o`ng yuzasi musbat zaryadlanib qoladi. Bu hodisa elektrostatik induksiya deb ataladi. Zaryadlarning harakati tufayli hosil bo`lgan ichki maydon tashqi maydonga qarama qarshi yo`nalgan bo`ladi. Harakat esa ichki maydon tashqi maydonga tenglashguncha davom etadi. Natijada tashqi elektr maydonga kiritilgan o`tkazgich ichida elektr maydoni bo`lmaydi. Bundan tashqari o`tkazgich yuzasidagi nuqtalarda potensial bir xil bo`ladi va kuch chiziqlari yuzaga perpendikulyar bo`ladi (16.1-rasm).



26-rasm

Elektr maydon ichi bo`sh sharda ham nol bo`ladi. Bu hodisaga elektrostatik himoya asoslangan:

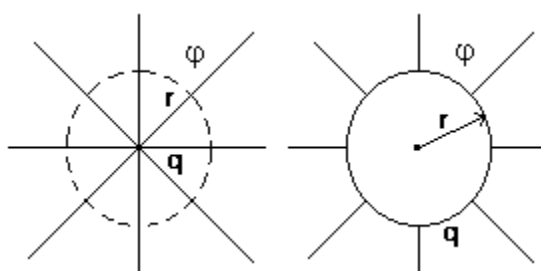
Agar bir priborni tashqi maydondan ximoya qilish kerak bo`lsa, uni metal setka ichiga qo`yiladi.

Agar o'tkazgichga qo'shimcha zaryadlar berilsa, ular o'tkazgichda bir-biridan itarilib, uning yuzasida taqsimlanadilar va yuza ma'lum potensialga ega bo'lib qoladi. Agar zaryad yana berilsa potensial ham oshadi. Agar zaryad dq ga oshsa potensial ham $d\varphi$ ga oshadi va

$$C = \frac{dq}{d\varphi} = \frac{q}{\varphi} \quad (43)$$

o'tkazgichning elektr sig'imi deb ataladi. Sig'im o'tkazgichning o'lchami va shakliga bog'liq. (43) formuladan ko'rinib turibdiki, yolg'iz o'tkazgichning elektr sig'imi uning potensialini 1 Voltga o'zgarishi uchun kerak bo'ladigan zaryadga teng ekan. Sig'im birligi Farada deb ataladi. Bu sig'im 1 Kulon zaryad berilganda potentsiali 1 Voltga o'zgaradigan o'tkazgich sig'imidir.

$$1\Phi = \frac{1Kl}{1V}$$



27-rasm

Nuqtaviy zaryad va shar markazidan r masofada maydon (potensial) bir xil.

$$\varphi = \frac{q}{C} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}; \text{ bu erdan}$$

$$C = 4\pi\epsilon_0 r \quad (44)$$

$$\text{va } \epsilon_0 = \frac{C}{4\pi r} = \left[\frac{\Phi}{M} \right]$$

(44) dan sharning radiusini topamiz:

$$r = \frac{C}{4\pi\epsilon_0} \quad (45)$$

Agar $C=1\Phi$ bo'lsa va $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{m}$ xisobga olinsa,

$$r = \frac{1F}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \approx 9 \cdot 10^9 m = 9 \cdot 10^6 km.$$

Demak radiusi $9 \cdot 10^6$ km bo'lgan yolg'iz shar sig'imi 1Φ ekan. Bu juda katta sig'im. Texnikada shuning uchun mikro va pikofaradalardan foydalaniladi. Yerning sig'imi ($R=6400km$).

$$C_{yer} = 4\pi\epsilon_0 R_{yer} = 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m} \cdot 64 \cdot 10^5 m \approx 710 mk\Phi$$

O'tkazgichga zaryad berilayotganda itarish kuchlarini engish uchun ish bajariladi. Bu ish zaryadlangan o'tkazgichning energiyasiga aylanadi. Sig'imi C bo'lgan neytral o'tkazgichga sekin-asta dq zaryad berib boriladi va har gal

$$dA = (\varphi_0 - \varphi)dq \quad (46)$$

ish bajariladi. Agar zaryad cheksizdan olib kelinsa $\varphi_0 = 0$ bo'ladi, demak

$$dA = -\varphi dq = -C\varphi d\varphi \quad (47)$$

bo'ladi.

To'liq ish:

$$A = \int_0^{\varphi} dA = -C \int_0^{\varphi} \varphi d\varphi = -\frac{1}{2} C\varphi^2 \quad (48)$$

Minus ishora tashqi kuchlar zaryadlangan o'tkazgich maydon kuchlariga qarshi ish bajarishini anglatadi.

Zaryadlangan kondensatorda (+) va (-) zaryadlarga ajratilgan elektr energiyasi to'plangan. Kondensatorning bu energiyasi kondensatorni zaryadlash uchun zarur bo'lgan ishga teng. Mohiyatan kondensatorni zaryadlash jarayoni shundan iboratki, zaryad bir plastinkadan boshqasiga o'tadi. Kuchlanish manbai kondensatorga ulanganda aynan shu ishni bajaradi. Dastlab, kondensator zaryadlanmaganda birinchi porsiya zaryad ko'chirilishida ish bajarilishi talab qilinmaydi. Biroq, har bir plastinkada zaryad to'planganda uni to'ldirish uchun elektr itarishish kuchlariga qarshi ish bajarish kerak bo'ladi. Plastinkalarda to'plangan zaryad qancha katta bo'lsa, uni orttirish uchun shuncha ko'p ish bajarish kerak bo'ladi. Agar plastinkalarda U potensiallar farqi mavjud bo'lsa,

Δq elementar zaryadni ko`chirish uchun bajarilgan ish  $\Delta W = U\Delta q$  ga teng. O`rtacha kuchlanish $(U_f - 0)/2 = U_f/2$ ekanligi sababli, bu erda U_f - oxirgi kuchlanish, bir plastinkadan ikkinchisiga Q zaryadni ko`chirish bo`yicha bajarilgan natijaviy ish quyidagiga teng:

$$W = Q \frac{U_f}{2}$$

Shunday qilib, kondensatorda to`plangan energiya

$$PE = \text{energiya} = \frac{1}{2} QU$$

bu erda U - plastinkalar orasidagi potentsiallar farqi, Q - har bir plastinkadagi zaryad. $Q = CU$ bo`lganligi uchun biz quyidagini yoza olamiz:

$$PE = \frac{1}{2} QU = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \quad (49)$$

Energiya moddiy substansiya emas, shuning uchun u qaerdadir mujassamlangan bo`lishi kerak emas. Shunga qaramasdan, plastinkalar orasidagi elektr maydonida energiya to`plangan deb hisoblash qabul qilingan. Misol uchun yassi kondensator energiyasini elektr maydon kuchlanganligi orqali ifodalaymiz.

Biz plastinkalar orasida deyarli bir jinsli E elektr maydoni mavjudligini va uning kuchlanganligi potentsiallar farqi bilan $U = Ed$ munosabat orqali bog`langanligini ko`rsatib berdik, bu erda d - plastinkalar orasidagi masofa, yassi parallel kondensatorning sig`imi $C = \varepsilon_0 A/d$ ga tengligini beradi. U holda

$$PE = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_0 A}{d} \right) (E^2 d^2) = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 Ad$$

Ad ko`paytma  $E$  elektr maydoni egallaydigan hajmni tavsiflaydi. Formulaning ikkala qismini hajmga bo`lib, birlik hajmda to`plangan energiya yoki energiya zichligi ifodasini olamiz:

$$\text{energiya zichligi} = \frac{PE}{\text{hajm}} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 \quad (50).$$

Fazoning ixtiyoriy qismida to`plangan elektrostatik energiya zichligi shu sohada elektr maydon kuchlanganligi kvadratiga proporsional. (50) ifoda yassi

kondensatorning xususiy holi uchun olingan. Biroq u fazoning elektr maydoni mavjud bo'lgan ixtiyoriy sohasi uchun o'rinli ekanini ko'rsatish mumkin.

Kondensatorlar. Katta sig'imga ega o'tkazgichlar katta o'lchamlarga ega bo'ladi. Masalan, metall shar 1 mkF sig'imga ega bo'lishi uchun radiusi 9 km bo'lishi kerak. Lekin bir-biridan dielektriklar bilan ajratilgan o'tkazgichlar sistemi tuzilsa, bunday sistema kichik o'lchamli bo'lsa ham, katta sig'imga ega bo'lishi mumkin. Bunday sistema kondensator deb ataladi. Eng oddiy kondensator bir biriga parallel va o'rtasida dielektrigi bor ikki metall plastinkalardir. Bu plastinkalarga miqdori bir xil, lekin ishorasi har xil zaryad beriladi. Ta'rifga binoan bunday sistemaning sig'imi:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} \quad (51)$$

ga teng. Bu erda q -bitta plastinkadagi zaryad.

d kichik bo'lsa, ikki plastinka orasidagi maydonni bir jinsli deyish mumkin. Bu xol uchun quyidagi munosabat o'rinlidir:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} d; \quad (52)$$

$$\left(E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} \right) C = \frac{q \varepsilon_0 \varepsilon}{\sigma d} = \frac{\sigma \varepsilon_0 \varepsilon}{\sigma d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \quad (53)$$

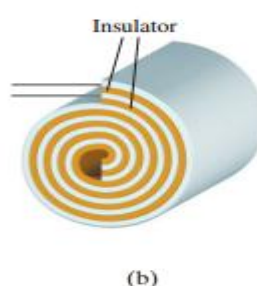
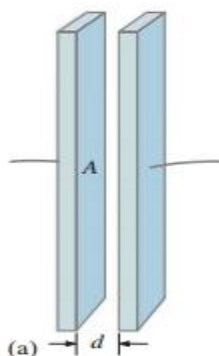
Dielektriklar. Ko'pchilik kondensatorlarda plastinkalar orasiga izolyasiyalovchi material (dielektrik), masalan qog'oz yoki plastmassa plyonka kiritilgan (28-rasm). Bu bilan bir necha maqsadga erishiladi. Birinchidan, dielektriklar elektr teshilishiga havoga nisbatan yaxshiroq qarshilik ko'rsatadi, va kondensatorga qoplamlar orasidagi tirqish orqali zaryad yo'qotishsiz kattaroq kuchlanish berish mumkin. Ikkinchidan, dielektrik qoplam mavjud bo'lganida plastinkalarni bir-biriga tegib qolishidan qo'rqmasdan yaqin joylashtirish mumkin. Uchinchidan, plastinkalar orasidagi fazo dielektrik bilan to'ldirilganda uning sig'imi K marta ortadi. Shunday qilib, yassi parallel kondensator uchun

$$C = K \varepsilon_0 \frac{A}{d} \quad (54)$$

Buni quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$C = \varepsilon \frac{A}{d}$$

bu erda $\varepsilon = K\varepsilon_0$ - materialning dielektrik sindiruvchanligi deb ataladi.



28-rasm.

29-rasm.

Turli materiallar uchun dielektrik sindiruvchanliklarning qiymatlari va 1-jadvalda berilgan.

1-jadval

Dielektrik sindiruvchanlik (20^0 C)

Modda	K	V / m
Vakuum	1,0000	
Havo (1 atm)	1,0006	3×10^6
Parafin	2,2	10×10^6
Polisterin	2,6	24×10^6
Plastik (vinil)	2 – 4	50×10^6
Qog`oz	3,7	15×10^6
Kvars	4,3	8×10^6
Moy	4	12×10^6
SHisha	5	14×10^6
Kauchuk	6,7	12×10^6
Farfor	6 – 8	5×10^6
Slyuda	7	150×10^6

Suv	80	
Stronsiy	300	8×10^6

Kondensatorlarni bir-biriga ulash. Bir nechta kondensatorlarni ulab, o'zgacha sig'imga ega boshqa kondensatorlarni xosil qilish mumkin (buni kodensatorlar batareyasi deb ham atash mumkin).

Kondensatorlarni ketma-ket va parallel ulash. Xuddi rezistorlar kabi kondensatorlarni ham ketma-ket va parallel ulash mumkin. Biz dastlab 30-rasmda ko'rsatilgandek parallel ulashni qarab chiqamiz. Agar U kuchlanishga ega bo'lgan batareya a va b nuqtalarga ulangan bo'lsa, u holda bu kuchlanish har bir kondensatorga berilgan bo'ladi: hamma kondensatorlarning yassi plastinkalari o'zaro o'tkazgich bilan ulangan, ular bir xil potensialga ega; o'ng tomondagi plastinkalar haqida ham xuddi shunday deyish mumkin. U holda har bir kondensator plastinkalaridagi zaryad mos ravishda $Q_1 = C_1U$, $Q_2 = C_2U$, $Q_3 = C_3U$ ga teng bo'ladi. Batareyadan olinadigan to'liq zaryad

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = C_1U + C_2U + C_3U$$

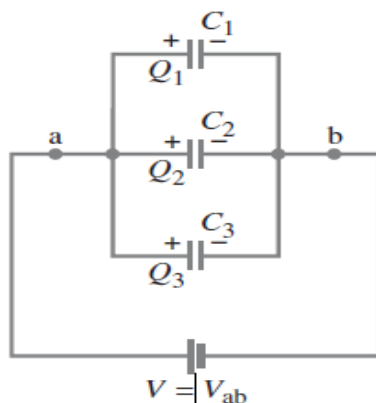
ga teng bo'ladi. Xuddi o'sha $U = U_{ab}$ kuchlanishda Q zaryadni to'play oladigan ekvivalent kondensatorning sig'imi C_{eq} :

$$Q = C_{eq}U$$

$$C_{eq}U = C_1U + C_2U + C_3U = (C_1 + C_2 + C_3)U \text{ yoki}$$

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (\text{parallel ulash}) \quad (55)$$

Shunday qilib, kondensatorlarni parallel ulashda natijaviy sig'im ortadi alohida kondensatorlar sig'imlarining yig'indisiga teng). Shunday bo'lishi kerak ham edi: chunki zaryad to'planadigan plastinkalarning yuzasi ortadi.



30-rasm.

Kondensatorlarni parallel ulash: $C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3$

Kondenstorlar ketma-ket ulangan bo'lishi ham mumkin, 31-rasmda ko'rsatilgandek, $+Q$ zaryad batareyadan C_1 plastinkaga (chap) o'tadi, $-Q$ zaryad esa C_3 plastinkaga (o'ng) o'tadi. Kondensatorlar orasidagi A va B nuqtalar dastlab elektr neytral edi, shuning uchun natijaviy zaryad avvalgidek nolga teng bo'lishi kerak. C_1 chap plastinkadagi $+Q$ zaryad qarama-qarshi plastinkada $-Q$ zaryadni yuzaga keltiradi, umuman A qismdagi zaryad nolga teng bo'lganligi sababli C_2 ning chap plastinkasida $+Q$ zaryad yuzagga kelishi kerak. Boshqa kondensatorlarda ham shunga o'xshash fikr yuritish mumkin; natijada har bir kondensatorda bir xil Q zaryad mavjud bo'ladi. Barcha ketma-ket ulangan kondensatorlarning o'rnini bosishi mumkin bo'lgan kondensator

$$Q = CU$$

tenglik bajariladigan C sig'imga ega bo'lishi kerak.

Ketma-ket ulangan kondensatorlar zanjirining uchlaridagi to'la kuchlanish har bir kondensatordagi kuchlanishlar yig'indisiga teng:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

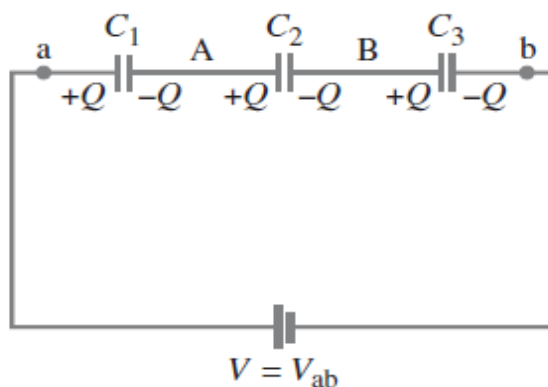
Biz shuningdek $Q = C_1 U_1$, $Q = C_2 U_2$, $Q = C_3 U_3$ bo'lgani uchun, oxirgi tenglikka U_1, U_2, U_3 ni qo'yib quyidagini olamiz:

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3},$$

yoki

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (\text{kondensatorlarni ketma-ket ulash}) \quad (56)$$

Qolgan ulashlarni parallel va ketma-ket ulashlarning kombinatsiyasi sifatida qarash mumkin.



31-rasm.

Kondensatorlarni ketma-ket ulash: $\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$.

Agar dielektrik elektr maydoniga kiritilsa, u qutblanadi (polyarizatsiyalanadi). Dielektrikka kuch chiziqlari kirgan tomon manfiy zaryadlanadi., teskari tomoni-musbat zaryadlanadi. Lekin bu elektrostatik induksiya emas, chunki metalldagi elektronlar erkin, ular maydon ta'sirida harakatlanadilar. Dielektrikda esa erkin elektronlar yo`q, ular bog`langan. Shuning uchun dielektrikdagi polyarizatsiya elektronlarning molekula (yoki atom) ichida siljishi bilan bog`langan bo`ladi. Agar dielektrik polyar molekulalardan tuzilgan bo`lsa, u xolda polyarizatsiya molekulalarning burilishi tufayli yuz beradi.

1. Nopolyar molekulalardan iborat dielektrik polyarizatsiyasi. Nopolyar molekula (yoki atom) elektr maydoniga kiritilsa uning elektron buluti bir tomonga, yadrosi qarama-qarshi tomonga siljiydi, natijada molekula dipol momentga ega bo`lib qoladi. Dielektrik esa bir tarafi manfiy, ikkinchi tarafi esa musbat zaryadga ega bo`lib qoladi. Bunday polyarizatsiya elektron polyarizatsiya deb ataladi.

2. Polyar molekulalardan tuzilgan dielektrik polyarizatsiyasi. Ba`zi molekulalar elektr nuqtai nazardan nosimmetrikdir, shuning uchun ularda doimiy dipol

momenti bo`ladi. Misol sifatida suv, ammiak, efir, atseton va boshqalarni keltirish mumkin. Issiqlik harakati tufayli bu molekulalar haotik harakatda bo`ladi, bu esa molekulalarning dipol momentlari har xil yo`nalishda bo`lishiga olib keladi. Shuning uchun dielektrik polyarizatsiyalanmagan bo`ladi. Endi bu dielektrikni elektr maydoniga olib kirsak, polyar molekulalar maydon yo`nalishiga qarab burila boshlaydi, natijada u polyarizatsiyalanib qoladi. Elektr maydon o`chirilsa, polyarizatsiya ham yo`qoladi, chunki polyar molekulalar haotik issiqlik harakatini davom ettiradilar. Bunda dipol momentlar har xil yo`nalishga qaragan bo`lib qoladi va dipol momentlari yig`indisi nolga teng bo`ladi. Bunday polyarizatsiya orentatsion polyarizatsiya deb ataladi. Lekin shunday dielektriklar bor-ki, ularda polyarizatsiya elektr maydon o`chirilgandan so`ng ham saqlanadi. Bunday dielektriklar segnetoelektriklar deb ataladi. Segnetoelektrlarda kichik hajmli sohalar bo`lib, ularda dipol momentli molekulalar bir xil yo`nalishda “o`z-o`zidan” terilib qoladi. Bu mikroskopik hajmlaradagi molekulalar elektr maydon ta`sirida hammasi birgalikda buriladilar. Shuning uchun elektr maydon o`chirilganda oddiy haotik harakat molekulalarning orentatsiyasini buzaolmaydi. Bunga ko`proq energiya kerak bo`ladi. Bu ishni yuqori temperaturada bajarish mumkin. Segnetoelektrlarga misol: segnet tuzi ($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) va bariy titanati (BaTiO_3).

3. Dielektrik singdiruvchanlik. Dielektrikning elektr maydonidagi polyarizatsiyasi uning ichidagi maydonning kamayishiga olib keladi. Kondensator ichiga joylashtirilgan dielektrikni ko`rib chiqamiz. Kondensatorning maydonini  $E_0$ , polyarizatsiya maydonini  $E'$  bilan belgilasak, bu ikki maydon qo`shilib. Dielektrik ichidagi maydonni xosil qiladi.

$$E = E_0 - E' \quad (57)$$

Vakuumdagi elektr maydon kuchlanganligining izotrop dielektrik ichidagi maydon kuchlanganligiga bo`lgan nisbati dielektirk singdiruvchanlik deb ataladi:

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E} \quad (58)$$

Bu parametr dielektrikning tashqi elektr maydoni ta'sirida polyarizatsiyalanish xususiyatini belgilaydi. Gazlarda ε ning qiymati birga yaqin ($1,0001 \div 1,01$). Nopolyar dielektrik suyuqliklarda uning qiymati $2 \div 2,5$ lar atrofida bo'ladi, qattiq dielektrlarda - $2,5 \div 8$, polyar suyuqliklarda - $10 \div 81$ atrofida bo'ladi.

Ikki zaryad o'rtasidagi ta'sir kuchi, Kulon qonuniga binoan, quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r^2} = \frac{F_0}{\varepsilon} \quad (59)$$

bu erda F_0 -zaryadlarning vakuumdagi o'zaro ta'sir kuchi. Demak, ε biror muxit ichidagi ikki zaryad o'rtasidagi ta'sir kuchi vakuumdagiga qaraganda necha marta kamayishini anglatadi. Bir jinsli izotrop muxit uchun quyidagi formulalar mavjud:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r^2} \quad (60)$$

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r^2} \quad (61)$$

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r} \quad (62)$$

$$\text{va} \quad N = \frac{1}{\varepsilon_0 \varepsilon} \sum_i^n q_i \quad (63)$$

Vakuum uchun bu formulalarda $\varepsilon = 1$ deb olish kifoya.

Lekin bu formulani bir jinsli bo'lmagan muxitlar uchun ishlatib bo'lmaydi, chunki muxitlar chegarasida ε sakrab o'zgaradi. Bu qiyinchilikni bartaraf qilish mumkin, agar yangi maydonning yangi fizikaviy harakteristikasini - elektr induksiyasi D ni kiritsak. Faraz qilamiz-ki, vakuumda bir jinsli elektr maydoni E_0 bor deb. Endi vakuumni bir-biriga parallel bo'lgan va dielektrik singdiruvchanliklari $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ bo'lgan kattaliklar bilan to'ldiramiz. Bu qatlamlarda elektr maydoni har xil bo'lib, ular $E_1, E_2, \dots, E_n$ ga teng bo'ladi, lekin (62) formulaga binoan:

$$\varepsilon_1 E_1 = \varepsilon_2 E_2 = \dots = E_0 = \text{const} \quad (64)$$

Bu tenglamani ε_0 ga ko'paytiramiz:

$$\varepsilon_0 \varepsilon_1 E_1 = \varepsilon_0 \varepsilon_2 E_2 = \dots = \varepsilon_0 E_0 = \text{const} \quad (65)$$

Yangi ifoda kiritamiz:

$$\varepsilon_0 \vec{E} = \vec{D} \quad (66)$$

U xolda quyidagini xosil qilamiz:

(67)

D elektr induksiya deb ataladi. E dan farqli ravishda $\vec{D}$ hamma dielektrlarda bir xil bo`ladi. Shuning uchun bir jinsli bo`lmagan muxitlarda maydonni $\vec{E}$ bilan emas $\vec{D}$ bilan ifodalagan yaxshi. Shu tufayli yangi terminlar kiritilgan: induksiya chiziqlari, induksiya oqimi.

Nazorat savollari

1. Elektr maydonida o`tkazgich qanday qutublanadi?
2. Elektr sig`imi deb nimaga aytiladi?
3. Sig`im birligi qanday?
4. Yassi kondensator energiyasi nimaga teng?
5. Parallel va ketma – ket ulangan kondensatorlar sistemasining sig`imi nimaga teng?
6. Elektr maydon energiyasi qanday aniqlanadi, formulasini keltirib chiqaring?
7. Kondensator qanday elektr qurilma, u qanday vazifani bajaradi?
8. Elektr maydon energiyasi ifodasini yozing?
9. Elektr maydonda dielektrik qanday qutublanadi?
10. Dielektrik singdiruvchanlikning fizik ma`nosi qanday?

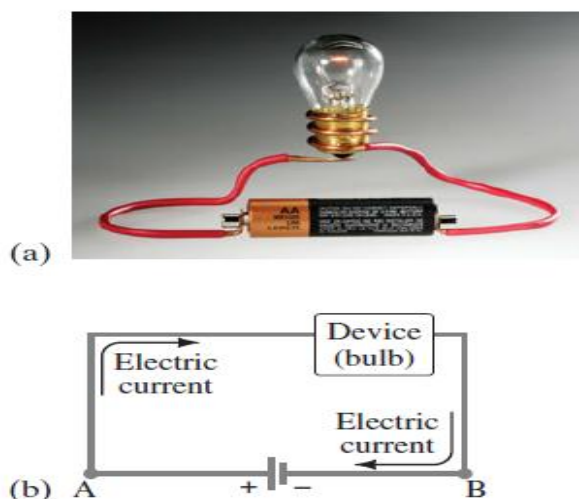
O`zgarmas elektr toki . Om qonuni. Tarmoqlangan elektr zanjirlar.

Elektr toki deganda zaryadlangan zarralarning tartibli harakati tushuniladi. «Tok» soʻzining oʻzbek tiliga aynan tarjimai «oqim» dir. Demak, elektr tok — elektr zaryadlarning oqimidir. Elektr tokning asosiy belgisi — harakatdagi zaryadlar tufayli paydo boʻluvchi magnit maydonning mavjudligidir. Bundan tashqari elektr tok modda orqali oʻtganda issiqlik, ximiyaviy hodisalar kuzatiladi.

Oʻtkazgichlardagi elektr tokni *oʻtkazuvchanlik toki* deb ataladi. Lekin elektr tokni bunday tor maʼnoda tushunish qerak emas. Masalan, biror zaryadlangan jism fazoning bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga koʻchirilayotgan boʻlsin. Bu jism bilan birgalikda undagi zaryad ham fazoning bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasi tomon harakat qiladi. Demak, elektr tok vujudga keladi. Lekin bu tok zaryadlangan jismining harakati bilan bogʻliq. Bunday tokni boshqa turdagi toklardan farq qilish maqsadida *konveksion tok* deb ataymiz. Batareyaning maqsadi koʻproq zarra hosil qiluvchi potensiallar farqini yuzaga keltirishdir. Batareya klemmalariga oʻtkazgich kontur ulab, biz elektr zanjiriga ega boʻlamiz (18-6a-rasm). Har qanday elektr sxemada batareyani ifodalash uchun biz 18-6b-rasmda koʻrsatilgandek quyidagi simvollardan foydalanamiz:

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline \begin{array}{c} | \\ \hline + \end{array} & \text{ЭКН} & \begin{array}{c} | \\ \hline - \end{array} \\ \hline \end{array} \quad (\text{batareya simvollari})$$

Uzun chiziq – musbat klemmaga, kaltasi – manfiy klemmaga mos keladi. Bunday zanjir boʻylab zaryad batareyaning bir klemmasidlan boshqasiga oʻtishi mumkin; elektr zaryadining bunday **oqimi elektr toki** deyiladi.



32-rasm.

O'tkazgichda elektr tokining kuchi – bu birlik vaqt ichida o'tkazgichning ko'ndalang kesimi yuzasidan o'tuvchi natijaviy zaryad miqdoridir. Shunday qilib elektr toki kuchining o'rtacha qiymati

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (68)$$

bu erda ΔQ - o'tkazgich ko'ndalang kesimi bo'ylab Δt vaqt ichida oqib o'tadigan zaryad miqdori. Elektr zaryadining kuchi kulon taqsim sekundlarda o'lchanadi; bu birlik fransuz fizigi Andre Amper (1775-1836) sharafiga Amper qisqacha A) deb ataladi. $1A = 1C/s$. Tok ko'pincha milliamperlarda ($1mA = 10^{-3}A$) va mikroamperlarda ($1\mu A = 10^{-6}A$) o'lchanadi.

Zaryad tashuvchilarning harakat yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan birlik yuzga mos keluvchi tok kuchiga *tok zichligi* deb ataladi:

$$j = \frac{I}{S}$$

Tok zichligi musbat tok tashuvchilarning tartibli harakati yo'nalishidagi vektor kattalik bo'lib, uning miqdori tok yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan birlik yuz orqali bir-, lik vaqtda oqib o'tuvchi zaryad miqdori bilan xarakterlanadi. Agar tok ikkala ishorali zaryadlarning tartibli harakati tufayli vujudga kelayotgan bo'lsa, tok zichligining ifodasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$j = q^+ n^+ u^+ + q^- n^- u^- \quad (69)$$

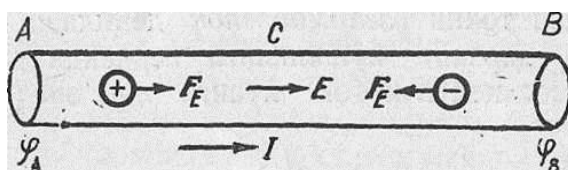
bunda q^+ va q^- — mos ravishda musbat va manfiy tok tashuvchilarning zaryad miqdorlari, va n^+, n^- , — ularning konsentratsiyasi (ya'ni birlik hajmdagi soni), $u^+ u^-$ esa ularning tartibli harakatidagi o'rtacha tezliklari.

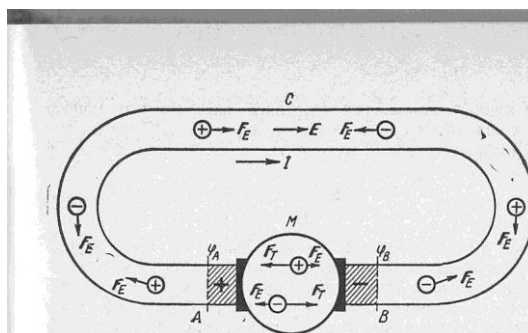
SI da tok kuchining o'lchov birligi — amper (A) bo'lib, u asosiy birlik sifatida qabul qilingan. Bu birlik to'g'risida toklarning o'zaro ta'siri bilan tanishganda to'xtalamiz.

Tok zichligi birligi — amper taqsim metr kvadrat (A/m^2) bo'lib, o'kuchi 1 A bo'lgan elektr tok o'tkazgichning 1 m^2 ko'ndalang kesimi bo'yicha tekis taqsimlangan holdagi tok zichligini ifodalaydi.

Elektr yurituvchi kuch va kuchlanish

Biror o'tkazgichning (32-rasm) A uchida ortiqcha musbat? zaryad, V uchida esa ortiqcha manfiy zaryad mavjud bo'lsa, bu o'tkazgich bo'ylab uning potentsiali yuqoriroq (φ_A) qismidan potentsiali pastroq (φ_B) qismi tomon yo'nalgan elektr maydon vujudga keladi. Bu maydon kuchlari ta'sirida musbat zaryadlar A dan V ga qarab, manfiy zaryadlar esa V dan A ga qarab tartibli harakatga keladi, ya'ni o'tkazgich bo'ylab. elektr tok o'tadi. Natijada qaramaqarshi ishorali zaryadlarniyag birlashuvi va o'tkazgich barcha nuqtalari potentsiallarining tenglashuvi sodir bo'ladi. Bu esa o'tkazgichda elektr maydonning yo'qolishiga va elektr tokning to'xtashiga sabab bo'ladi. O'tkazgichda uzluksiz ravishda elektr tok mavjud bo'lishi uchun bu o'tkazgichni o'z ichiga olgan berk zanjirda





33- rasm

shunday maxsus qurilma (33-rasmda M deb belgilangan ishlab turishi kerakki, bu qurilma muntazam ravishda qaramaqarshi ishorali zaryadlarni ajratib turishi va o'tkazgichning L uchini musbat zaryad bilan, V uchini esa manfiy zaryad bilan; doimiy ravishda ta'minlab turishi kerak. Natijada, o'tkazgich uchlarida har doim potentsiallar farqi mavjud bo'lib, uzluksiz elektr tok vujudga kelishiga sharoit yaratilgan bo'ladi. Bunday qurilmani *elektr tokning manbai* deyiladi. Tok manbai-da zaryadlarning ajralishi biror kuch ta'sirida sodir bo'ladi albatta. Lekin bu kuch elektrostatik xaraktyorga ega emas, chunki elektrostatik kuch ta'sirida zaryadlar ajralmaydi, aksincha byrlashadi (masalan, 33-rasmdagi tok zanjirining AS V qismida). Bu kuchni tashqi kuch deb atash odat bo'lgan. Elektr zaryadlarni ajratish va ko'chirish uchun tashqi kuchlar bajargan ish tok manbai energiyasining sarflanishi hisobiga (masalan, generator rotorni aylantirish uchun sarf bo'layotgan mexanik ish hisobiga yoki akkumulyator va galvanik elementlarda elektrodning elektrolitlarda erishi jarayonida ajralib chiqadigan energiya hisobiga va hokazo) sodir bo'ladi.

Demak, berk zanjirning VMA qismida, ya'ni tok manbai (M) ning ichida boshqa turdagi (masalan, mexanik yoki ximiyaviy) energiyalar hisobiga elektr energiya olinadi. Zanjirning ASV qismida esa elektr energiya sarflanadi, ya'ni boshqa turdagi energiyalarga aylanadi. Berk zanjirda zaryadga ham tashqi kuchlar, ham elektr maydon kuchlari ta'sir etadi. Ammo elektr maydonning q zaryadni berk zanjir bo'ylab ko'chirishda bajargan umumiy ishi nolga teng. SHuning uchun berk zanjirda bajarilgan umumiy ish faqat tashqi kuchlar manbaining energiyasi hisobi-

ga tok manbai ichida sodir bo`ladi. 33-rasmdagi berk zanjir bo`ylab q zaryadni ko`chirishda tashqi kuchlar  $A_t$  ish bajargan bo`lsa, u holda

$$\frac{A_t}{q} = \varepsilon \quad (70)$$

kattalik tok manbaining elektr yurituvchi kuchi deyiladi. Boshqacha qilib aytganda, tok manbaining elektr yurituvchi kuchi tashqi kuchlar ta`sirida birlik musbat zaryadni manbani o`z ichiga olgan berk zanjir bo`ylab ko`chirishda bajarilgan ish bilan xarakterlanadi. (70) ifodadan elektr yurituvchi kuch (qisqacha EYUK) potensial o`lchov birliklarida o`lchanadi, degan xulosaga kelamiz, chunki potensial ham birlik zaryadni ko`chirishda bajarilgan ish bilan xarakterlanar edi.

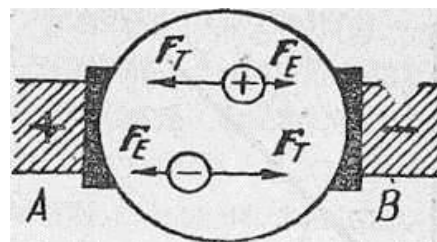
Demak, SI da EYUK birligi qilib volt (V) qabul qilinadi: 1 V —shunday tok manbaining elektr yurituvchi kuchi (EYUK) ki, bu manbani o`z ichiga olgan berk zanjir bo`ylab 1 Kl zaryadni ko`chirishda 1 J ish bajariladi.  $q$  zaryadga ta`sir etayotgan G_T tashqi kuchni $G_t = qE_t$ ko`rinishda ifodalash mumkin. Bunda  $E_t$  bilan tashqi kuchlar maydonining kuchlanganligi belgilandi. U holda  $q$  zaryadni berk zanjir bo`ylab ko`chirishda tashqi kuchlar bajargan ish

$$A_t = \oint F_t dl = q \oint E_t dl$$

bo`ladi.

Demak, berk zanjirda ta`sir etuvchi EYUK ni tashqi kuchlar maydoni kuchlanganligi vektorining sirkulyasiyasi tarzida ifodalash mumkin.

Agar zanjirni uzsak, ya`ni ASV o`tkazgichni olib tashlab ochiq zanjir hosil qilsak, tashqi kuchlar ta`sirida VMA qiymda zaryadlarning ko`chishi tufayli A nuqtada musbat, V nuqtada



esa manfiy zaryadlar yig`ilib, bu nuqtalar oraeida potensial

34-rasm

lar farqi vujudga keladi. A va V nuqtalar orasidagi potentsiallar farqi zaryadlarga ta`sir etuvchi elektr va tashqi kuchlar tenglashguncha ortib boradi. Bu kuchlar tenglashganda $\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B$ maksimal qiymatga ershadi. Ochiq zanjirdagi tok manbaining EYUK manbaining qutblaridagi potentsiallar farqiga teng:

$$\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B. \quad (71)$$

Endi kuchlanish tushunchasi bilan tanishaylik. Elektrostatikada A va V nuqtalar orasidagi kuchlanish deganda A va V nuqtalardagi elektr maydon potentsiallarining farqi tushunilar edi. Zanjirning VMA qismidagi kuchlanishning tushishi yoki oddiygina kuchlanish (U_{AB}) deganda Kulon (elektr) kuchlari va tashqi kuchlar, ya'ni $F_E + F_T = q(E + E_T)$ ta'sirida birlik musbat zaryadni zanjir bo'ylab A nuqtadan V nuqtaga ko'chirishda bajarilyshi lozim bo'ladigan ish bilan xarakterlanuvchi fizik kattalik tushuniladi:

$$U_{AB} = \frac{A_{AB}}{q} = \frac{1}{q} \left(\int_A^B \mathbf{F}_E \cdot d\mathbf{l} + \int_A^B \mathbf{F}_T \cdot d\mathbf{l} \right) = \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} + \int_A^B \mathbf{E}_T \cdot d\mathbf{l}.$$

Kulon kuchlari ta'sirida birlik musbat zaryadni A dan V gacha ko'chirishda bajariladigan ish A va V nuqtalar potentsiallarining farqi $\varphi_A - \varphi_B$ ga teng. Tashqi kuchlar ta'sirida birlik musbat zaryadni zanjirning tekshirilayotgan qismida ko'chirishda bajarilgan ish zanjirning shu I qismidagi manbaning elektr yurituvchi kuchi ε_{AB} teng. Shuning uchun

$$U_{AB} = (\varphi_A - \varphi_B) + \varepsilon_{AB}$$

Demak, zanjirning tekshirilayotgan qismida EYUK ta'sir etmaydigan xususiy holda (ya'ni $\varepsilon_{AB} = 0$ bo'lganda)

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$$

bo'ladi. Kuchlanish ham, xuddi EYUK kabi, potentsialning birliklarida, ya'ni volt (V) da o'lchanadi.

Om qonuni. Om qonuni zanjirning bir qismidan o'tayotgan tok kuchini shu qismning uchlaridagi kuchlanishga bog'liqligini ifodalaydi. Agar zanjirning tekshirilayotgan qismida EYUK ta'sir etmasa zanjirning bir jinsli qismi bilan, aksincha, EYUK ta'sir etsa zanjirning bir jinsli bo'lmagan qismi bilan ish tutayotgan bo'lamyz. Om qonuni tajribalar asosida kashf etilgan qonundir. Uning to'g'riligi ko'pgina tajribalar asosida isbotlandi. Bu qonunning mohiyati quyidagidan iborat: bir jinsli metall o'tkazgich orqali o'tayotgan elektr tokning kuchi ushbu o'tkazgichning uchlaridagi kuchlanishga to'g'ri proporsional:

$$I=U/R$$

Tok kuchining kuchlanishga bog'liqlik $I= f(U)$ grafigi metall o'tkazgichlar uchun koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziqdan iborat bo'lar ekan. Bu to'g'ri chiziqning U o'qi bilan hosil qilgan burchagi R ga bog'liq. R — o'tkazgichning elektr qarshiligi, u zaryadlarning tartibli harakatiga o'tkazgich ko'rsatadigan qarshilikni xarakterlaydi. O'tkazgich qarshiligining birligini topish mumkin: ikki uchidagi kuchlanish 1 V bo'lganda 1 A tok o'tadigan o'tkazgichning elektr qarshiligi birlik sifatida qabul qilingan va unga 1 Om deb nom berilgan. Elektr qarshiliqqa teskari bo'lgan kattalikni elektr o'tkazuvchanlik deb ataladi, uning o'lchov birligi simens (Sm): 1 Sm — elektr qarshiligi 1 Om bo'lgan o'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligidir.

Solishtirma qarshilik. Metall o'tkazgichning qarshiligi R uning uzunligi L ga to'g'ri proporsional va ko'ndalang kesim yuzasi S ga teskari proporsional ekanligi tajribada tasdiqlangan:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (72)$$

bu erda koeffitsient ρ - (grekchadan "ro") **solishtirma qarshilik** deb ataladi va o'tkazgich moddaning xarakteristikasi hisoblanadi. Bu sog'lom fikrga mos keladi: yo'g'on o'tkazgichning qarshiligi ingichka o'tkazgichning qarshiligidan kamroq bo'lishi kerak, chunki chunki yo'g'on o'tkazgichda elektronlar katta yuzada ko'chadilar. Va o'tkazgichning uzunligi ortishi bilan qarshilikning ortishini kutish

mumkin, chunki elektronlar yoʻlidagi toʻsiqlar soni koʻpayadi. Odatda ρ $Om \cdot m$ larda oʻlchanadi. 2-jadvalning oʻrtadagi ustunida turli oʻtkazgichlar, dielektriklar va yarimoʻtkazgichlar uchun ρ ning odatdagi qiymati keltirilgan. Kumush eng kam solishtirma qarshilikka ega, shuning uchun eng yaxshi oʻtkazgich hisoblanadi, biroq u qimmat. Undan keyin mis turadi, nima uchun oʻtkazgichlar kumushdan tayyorlanishi tushunarli, albatta. Alyuminiyning solishtirma qarshiligi misnikidan kattaroq, lekin zichligi kichik, va baʼzi hollarda afzalroqdir, chunki oʻshanday massali alyuminiyning qarshiligi misnikidan kichikroq boʻlib chiqadi.

2-jadval

Solishtirma qarshilik va temperatura koeffitsienti (20^0 S da)

Modda	Solishtirma qarshilik, ρ ($Om \cdot m$)	Temperatura koeffitsienti α (C^0) ⁻¹
Oʻtkazgichlar		
Kumush	$1,59 \times 10^{-8}$	0,0061
Mis	$1,68 \times 10^{-8}$	0,0068
Oltin	$2,44 \times 10^{-8}$	0,0034
Alyuminiy	$2,65 \times 10^{-8}$	0,00429
Volfram	$5,6 \times 10^{-8}$	0,0045
Temir	$9,71 \times 10^{-8}$	0,00651
Platina	$10,6 \times 10^{-8}$	0,003927
Simob	98×10^{-8}	0,0009
Nixrom (<i>Ni, Fe, Cr</i> qotishmasi)	100×10^{-8}	0,0004
Yarimoʻtkazgichlar		
Uglerod (grafit)	$(3-60) \times 10^5$	- 0,0005
Germaniy	$(1-500) \times 10^{-3}$	- 0,05
Kremniy	0,1 – 60	- 0,07
Dielektriklar		
Shisha	$10^9 - 10^{12}$	
Qattiq rezina	$10^{13} - 10^{15}$	

Solishtirma qarshilikning temperaturaga bog'liqligi. Moddaning solishtirma qarshiligi temperaturaga bog'liq bo'ladi. Odatda, metallarning qarshiligi temperatura ortishi bilan ortadi. Bunga ajablanish kerak emas: temperatura ortishi bilan atomlar tezroq harakatlanadi, ularning joylashishi tartibsizroq bo'ladi, va ular elektronlar oqimiga yanada kuchliroq qavrvshilik ko'rsatishini kutish mumkin. Temperatura o'zgarishining tor diapazonlarida temperatura ortishi bilan metallning solishtirma qarshiligi deyarli chiziqli ortadi:

$$\rho_T = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad (73)$$

bu erda ρ_0 - T_0 standart temperaturadagi solishtirma qarshilik (odatda 0°C yoki 20°C), ρ_T - T temperaturadagi solishtirma qarshilik va α - qarshilikning temperatura koeffitsienti. α ning qiymatlari 2-jadvalda keltirilgan. Yarimo'tkazgichlarda qarshilikning temperatura koeffitsienti manfiy bo'lishi mumkin ekan. Nima uchun? Chunki temperatura ortishi bilan erkin elektronlar soni ortadi va va ular moddaning o'tkazuvchanlik xossasini oshiradilar. Shunday qilib, yarimo'tkazgichlarning qarshiligi temperatura ortishi bilan kamayishi mumkin.

O'tkazgich qarshiligi temperaturaga mos ravishda quyidagi qonuniyat bo'yicha o'zgaradi:

$$R = R_0(1 + \alpha t) \quad (74)$$

bundagi R_0 va R — mos ravishda 0°C va $t^\circ \text{C}$ va temperaturalardagi qarshilikning qiymatlari; α — qarshilikning temperatura koeffitsienti, u 1 K ga isitilganda o'tkazgich qarshiligining nisbiy o'zgarishiga miqdoran teng kattalik, sof metallar uchun $\alpha \approx 1/273 \text{ grad}^{-1}$. Termodinamik temperatura T dan foydalanilganda (74) munosabat quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$R = \alpha R_0 T \quad (75)$$

Rezistorlarni ketma-ket va parallel ulash. Ikki yoki undan ortiq rezistorlar 35a-rasmda ko'rsatilgandek biridan keyin ikkinchisi ulansa, ular ketma-ket ulangan deyiladi. Rezistorlar 35-rasmda ko'rsatilgandek turli tipda yoki elektr

lampochkalar (35b-rasm) va boshqa qurilmalar ko`rinishida bo`lishi mumkin. Demak, har bir rezistor orqali bir xil tok o`tadi. (Agar bunday bo`lmaganda edi, zaryadning biror nuqtasida zaryad to`pdanib qolgan bo`lar edi, biroq statsionar holda bunday bo`lmaydi). 18-3a-rasmdagi har bir rezistordagi potentsiallar tushuvini qarab chiqamiz. Barcha rezistorlarda kuchlanish  $U$  ga teng deb hisoblaymiz; zanjirning boshqa qismlaridagi qarshilikni hisobga olmasa ham bo`ladi va u holda U batareyaning EYUK sig'a teng bo`ladi. Har bir R_1 , R_2 va R_3 rezistorlarda potentsiallar farqi (yoki potentsiallar tushuvi) U_1 , U_2 va U_3 ga teng deb olamiz. Demak, Om qonuniga asosan $U = IR$, biz $U_1 = IR_1$, $U_2 = IR_2$ va $U_3 = IR_3$ deb yoza olamiz. Energiyaning saqlanish qonuniga asosan to`liq kuchlanish  $U$  har bir rezistordagi potentsiallar tushuvi yig`indisiga teng, yoki

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3 \quad (76)$$

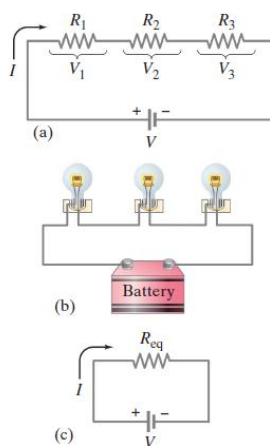
O`shanday tok o`tadigan ekvivalent rezistor R_{eq} (35c-rasm) uchun

$$U = IR_{eq}.$$

$U = I(R_1 + R_2 + R_3)$, quyidagini olamiz:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (77)$$

Rezistorlarni ketma-ket ulashda ularning umumiy qarshiligi alohida rezistorlar qarshiliklarining yig`indisiga teng. (Ba`zida “rezistorlar tarmog`i” deyishimiz mumkin). Bu xulosa nafaqat uchta, balki ixtiyoriy sondagi rezistorlar uchun o`rinli. Masalan, zanjirga qo`shimcha qarshilik ulanganda tok kuchi kamayadi. Agar 12 voltli batareyaga 4 omli rezistor ulansa, undagi tok kuchi 3 A ga teng bo`ladi. Biroq shu batareyaga 3 ta 4 Omli rezistor ketma-ket ulansa, ularning umumiy qarshiligi 12 Omni tashkil qiladi va tok kuchi 1 A gacha kamayadi.



35-rasm.

Parallel ulashda boshqacharoq bo`ladi, manbadan chiqayotgan tok kuchi har bir qismi uchun har xil bo`ladi (35a-rasm). Parallel ulashda agar siz bitta tarmoqni ajratib olsangiz, boshqalaridagi tok kuchi undan farqli bo`ladi (35a-rasmdagi R_1 ga qarang).

Parallel ulashda, 35a-rasmda batareyadan o`tayotgan umumiy tok alohida qismlardagi toklarning yig`indisiga teng. Biz I_1 , I_2 va I_3 toklarni har bir rezistorning R_1 , R_2 va R_3 qarshiliklari orqali topamiz. Zaryadning saqlanish qonuniga asosan tugunga kiradigan tok kuchi tugundan chiqfadigan tok kuchiga teng bo`lishi kerak, ya`ni

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (\text{parallel ulash})$$

Har bir rezistorga batareyaning to`la kuchlanishi qo`yilgan, demak,

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, I_2 = \frac{U}{R_2} \text{ va } I_3 = \frac{U}{R_3}$$

Parallel ulangan R_1 , R_2 va R_3 rezistorlar uchun ekvivalent R rezistor uchun

$$I = \frac{U}{R_{eq}}.$$

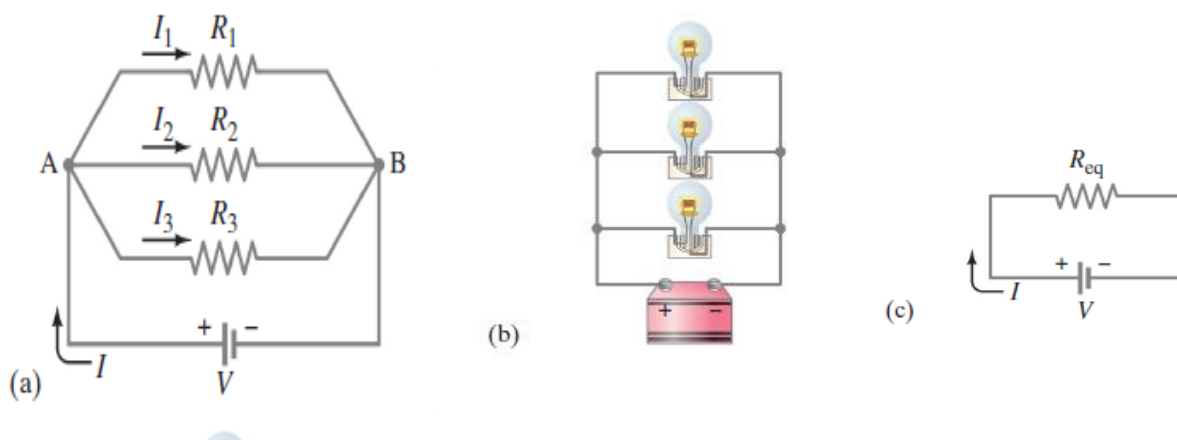
Olingan tenglamalarni birlashtirib quyidagini topamiz:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\frac{U}{R_{eq}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

Har ikkala qismini U ga bo'lib quyidagini topamiz:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (\text{parallel ulash}) \quad (78)$$



36-rasm.

Zanjirning bir jinsli bo'lmagan qismi uchun Om qonuni quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\frac{U_{AB}}{R_{um}} = \frac{(\varphi_A - \varphi_B) + \varepsilon_{AB}}{R + r} \quad (79)$$

Mazkur ifodada I va ε_{AB} algebraik kattaliklar ekanligini nazarda tutishimiz kerak. Tekshirilayotgan zanjir qismida $\varphi_A > \varphi_B$ bo'lsin (37-rasm). U holda tokning A dan V tomon yo'nalishini musbat deb, V dan A tomon yo'nalishini esa manfiy deb qabul qilamiz. SHunga o'xshash $A \rightarrow V$ yo'nalishda ta'sir etuvchi EYUK ni musbat, $V \rightarrow A$ yo'nalishdagini esa manfiy deb olamiz. (78) ni, odatda, Omning umumlashgan qonuni deb ham ataladi, chunki uni elektr zanjirning ixtiyoriy qismi o'chun qo'llash mumkin.

1. Zanjirning tekshirilayotgan qismida tok manbai bo'lmagan ($\varepsilon_{AB}=0$) holda (78) zanjirning bir jinsli -qismi uchun taalluqli (79) ga aylanadi.
2. (78) ni berk zanjir uchun qo'llash maqsadida zanjirdagi A nuqtani qo'zg'atmasdan B nuqtani A nuqta bilan ustmaust tushguncha zanjir bo'ylab suraylik. U holda (79) dagi $\varphi_A - \varphi_B$ nolga teng bo'lib, berk zanjir uchun Om qonunining ifodasi quyidagi ko'rinishga keladsh.

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

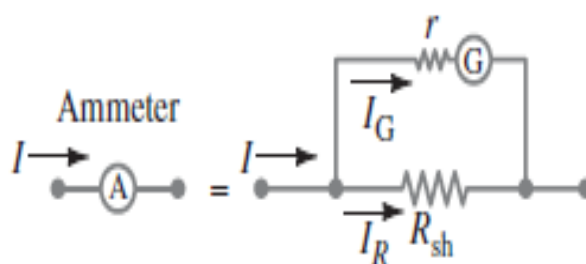
bundagi ε —berk zanjir dagi barcha EYUK larning algebraik yig'indisi, $R+r$ esa zanjirdagi umumiy qarshilik.

Elektr o'lchovchi asboblari: ampermetrlar va voltmetrar. O'lchashlar fizikaning fundamental qismi bo'lib, uning ahamiyatiga ortiqcha baho berish mumkin emas. O'lchov asboblari olingan natijalar xatolarsiz bo'lmaydi va ko'pincha tahlil qilinadi. Biz shuningdek ularning ta'sir kuchlarini o'lchashga urinib ko'ramiz. *Ampermetr* tok kuchini, *voltmetr* potensiallar farqini (kuchlanishni) o'lchashga xizmat qiladi. Bu asboblarning asosiy qismini galvanometr tashkil qilib, uning ishlash prinsipini tok o'tayotgan o'tkazgichga maynit maydonining ta'sir kuchi tashkil qiladi. Biz kundalik hayotimizda duch keladigan ko'pgina o'lchov asboblari ampermetr yoki voltmetr sxemasida ulangan galvanometrlardir. Galvanometrdan bevosita kichik toklarni o'lchashda foydalanish mumkin. Hozir galvanometr strelkasining oog'ishi u orqali o'tayotgan tok kuchiga proporsional ekanligini bilishimiz etarli. Masalan, 50 mkA shkalali galvanometr 1mkA dan 50 mkA gacha tokni o'lchay oladi. Kattaroq tokni o'lchash uchun galvanometrqa qo'shimcha rezistor parallel ulanadi. Ampermetr (sxemada  bilan belgilanadi) 37-rasmda ko'rsatilgandek, parallel yoki shuntlovchi rezistorga ega bo'lgan galvanometrdan () iborat. ("Shunt" "parallel" so'zining sinonimi). Shuntlovchi qarshilik, yoki shunchaki shunt R bilan, galvanometrning harakatlanuvchi g'altagi (ramkasining) qarshiligi r bilan belgilangan. R ning qiymati berilgan tok kuchida galvanometrning strelkasi butun shkalaga og'ishi uchun tanlab olinadi.



FIGURE 19-30 (a) An analog

37-rasm.

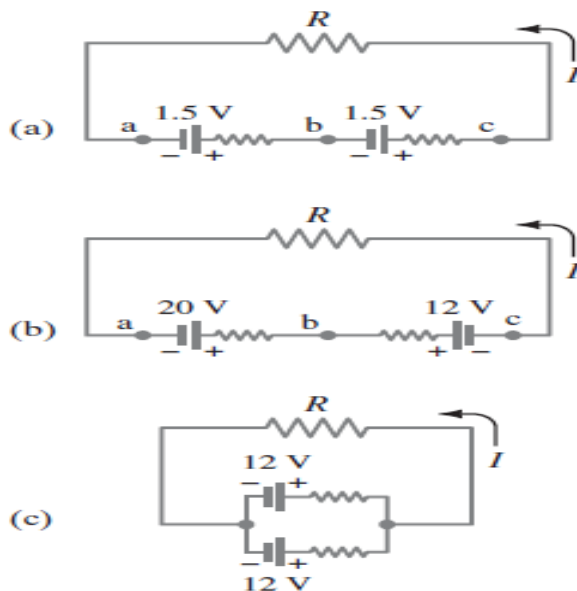


38-rasm.

EYUK manbalarini ketma-ket va parallel ulash. Batareyani zaryadlash

Ikki ki bir necha EYUK manalarini ketma-ket ulanganda (39a-rasm) umumiy kuchlanish ularning kuchlanishlarining algebraik yig`indisiga teng.masalan, cho`ntak fonari uchun 20 V va 12 V li ikkita element 19-7 b-rasmdagidek ketma-ket ulansa, u holda umumiy kuchlanish U_{ca} 8 V ni tashkil qiladi. (elementlarning ichki qarshiligini juda kichik deb hisoblaymiz). Boshqa tomondan, 20 V va 12 V kuchlanishli batareyalar 39s-rasmdagidek bir-biriga qarama-qarshi yo`nalishda ulangan bo`lsa, ularning umumiy kuchlanishi U_{ca} 8 V ga teng, musbat sinov zaryadini a nuqtadan b nuqtaga ko`chirishda potensial 20 V ga ortadi, so`ngra b dan c ga ko`chirishda 12 V ga kamayadi, ya`ni a dan c gacha kuchlanishning o`zgarishi $20\text{ V} - 12\text{ V} = 8\text{ V}$ ga teng. Batareyalarni “qarama-

qarshi” ulash ma`noga ega emasdek tuyuladi, ko`p hollarda shunday ham. Biroq zaryadlash qurilmalari aynan shunday ulanadi: 39- b-rasmda 12 V li batareya 20 V li manbadan zaryadlanadi. Keyingisining kuchlanishi kattaroq bo`lganligi sababli u 12 V li batareyani zaryadlaydi: elektronlar manfiy elektrodga yaqinlashtiriladi va musbatdan itarishadi. EYUK manbalarini parallel ulash ham mumkin (39s-rasm). Kuchlanishni oshirish uchun emas, balki katta tok kuchini ta`minlash, ya`ni energiyani oshirish uchun shunday qilinadi. Har bir parallel ulangan batareya umumiy tok kuchining bir qismini ta`minlaydi va ichki qarshilikda yo`qotishlar bitta batareyadan foydalangandagiga nisbatan kamroq bo`ladi.



39-rasm.

Om qonunini differensial ko`rinishda yozish mumkin. Buning uchun o`tkazgich ichida biror nuqtani tanlab olaylik. Bu nuqtadagi tok zichligi j va elektr maydon kuchlanganligi E bo`lsin. Bu nuqta atrofida asosi  $dS$ , yasovchisining uzunligi  $dl$  bo`lgan xayoliy elementar silindrni shunday ajrataylikki, bu silindrchaning yasovchilari j ga parallel bo`lsin. Bu silindrchaning ikki asosi orasidagi kuchlanish  $U = Ed$  asosidan o`tayotgan tokning kuchi $I = jdS$. Silindrchaning qarshiligi esa $R = \rho \frac{dl}{dS}$ ning uchun bu silindrchaga Om qonunini qo`llab, quyidagi ifodani yoza olamiz:

$$jdS = \frac{dS}{\rho dl} Edl \quad (80)$$

Agar j va E vektorlarning yoʻnalishlari bir xil ekanligini hisobga olsak,

$$j = E/\rho \quad (81)$$

boʻladi. Oʻtkazgich materialining solishtirma qarshiligi ρ ta teskari boʻlgan kattalikni, yaʼni $\sigma = 1/\rho$ ni materialning solishtirma elektr oʻtkazuvchanligi deb atagandik. Zero (81) ifoda quyidagi koʻrinishga keladi:

$$j = \sigma E. \quad (82)$$

Bu ifoda zanjirning bir jinsli qismi uchun Om qonunining differensial koʻrinishidir. Agar zanjirning tekshirilayotgan qismi bir jinsli boʻlmasa, u holda zanjirda Kulon kuchlari bilan bir qatorda tashqi kuchlar ham taʼsir etayotgan boʻladi. Shuning uchun zanjirning bir jinsli boʻlmagan qismi uchun Om qonunining differensial koʻrinishi quyidagicha yoziladi:

$$j = \sigma (E + E_T) \quad (83)$$

bundagi E_t — zanjirning tekshirilayotgan qismidagi tok manbaida taʼsir etayotgan tashqi kuchlar maydonining kuchlanganligi.

Joul - Lens qonuni. Zanjirning bir jinsli qismidagi U kuchlanish tufayli vujudga kelgan elektr maydon oʻtkazgichning koʻndalang kesimidan dt vaqt davomida Idt zaryadni koʻchiradi. Elektr tokning dt vaqt davomida bajargan ishi

$$dA = IUdt = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt \quad (84)$$

boʻladi. Elektr tokning quvvati esa quyidagicha aniqlanadi:

$$N = dA/dt = IU = I^2 R = U^2/R \quad (85)$$

Elektr tokning ishi joul (J) larda, quvvati esa vatt (Vt) larda oʻlchanadi. Lekin, amalda, elektr tokning systemaga oid boʻlmagan vattsoat, ($Vt \cdot soat$) va kilovattsoat ($kVt \cdot soat$) deb nomlangan birliklaridan keng foydalaniladi:

$$1 Vt \cdot soat = 3,6 \cdot 10^8 J;$$

$$1 kVt \cdot soat = 3,6 \cdot 10^6 J.$$

Elektr tokqoʻzgʻalmas metall oʻtkazgichdan oʻtayotgan holda tokning bajargan barcha ishi shu oʻtkazgichning ichki energiyasining ortishiga, yaʼni issiqlik energiyasiga aylanadi. Joul va Lens aniqlagan qonunga asosan, oʻtkazgichda ajralib

chiqadigan issiqlik miqdori o'tkazgichning qarshiligiga, tok kuchining kvadratiga va vaqtga proporsional, ya'ni:

$$dQ = RI^2 dt \quad (86)$$

Bu qonuniyatdan foydalanyb, elementar silindrda dt vaqtda ajralib chiqadigan issiqlik miqdorini topaylik:

$$dQ = dQ = RI^2 dt = \frac{\rho dl}{dS} (j dS)^2 dt = \rho j^2 dl * dS * dT$$

Agar $dl * dS = dV$ — silindrchaning hajmi ekanlygini hisobga olsak,

$$dQ = \rho j^2 dV dt. \quad (87)$$

Bu ifoda o'tkazgichning dV hajmida dt vaqt ichida ajralib chiqqan issiqlik miqdorini ifodalaydi. Shuning uchun (87) ni $dV dt$ ga bo'lsak, o'tkazgichning birlik hajmida birlik vaqtda ajralib chiquvchi issiqlik miqdorini xarakterlovchi kattalikni topamiz. Bu kattalik *tok issiqlik quvvatining zichligi* deb ataladi:

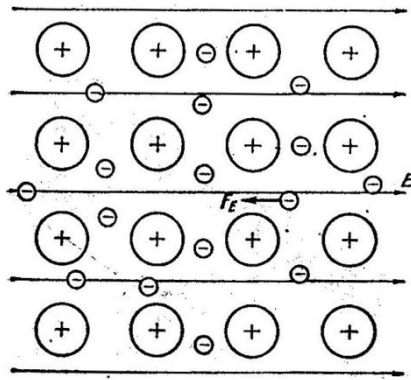
$$\omega = \frac{dQ}{dV dt} \quad (88)$$

$$\omega = j \cdot E = \tau \cdot E \quad (89)$$

Bu ifoda Joule — Lenz qonunining differensial ko'rinishidir.

Nazorat savollari

1. Tok kuchi deb nimaga aytiladi?
2. Zanjirning bir kismi uchun Ohm qonuni qanday ifodalanadi?
3. Berk zanjir uchun Ohm qonuni qanday ifodalanadi?
4. Elektr yurituvchi kuch deb nimaga aytiladi?
5. Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlarini tushuntirib bering.
6. Joule-Lenz qonuni nimani bildiradi?
7. Qanday zaryadlar elektr tokini vujudga kelishida asosiy rol uynaydi?
8. Elektr qarshilik qanday kattaliklarga bo'liq?
9. E.YU.K. vat ok kuchi, qarshilik birliklari qanday aniqlanadi?



3-расм.

39-расм

tegishli emas, balki metall parchasidagi barcha N ta atomga taalluqlidir. Shuning uchun bu elektronlarni **erkin elektronlar** deb ataladi. Absolyut noldan farqli temperaturalarda metallardagi ionlar ham, erkin elektronlar ham to'xtovsiz issiqlik harakatida qatnashadi. Ionlarning issiqlik harakati muvozanat vaziyati atrofidagi tebranma harakatlardan iborat. Erkin elektronlar esa metall parchasining sirti bilan chegaralangan hajmda erkin harakatlanadi, ya'ni turli yo'nalishlar bo'yicha turlicha tezliklarga ega bo'ladi. Ularning bu xaotik harakati ideal gazni eslatadi. Shuning uchun ham erkin elektronlarni "**elektron gaz**" deb faraz qilib, ularga bir atomli ideal gaz molekulalari uchun o'rinli bo'lgan tushunchalarni va formulalarni qo'llash mumkin. Erkin elektronlar ideal gaz molekulalaridan shu bilan farqlanadiki, ular o'zaro emas, balki ko'proq kristall panjaraning tugunida joylashgan ionlar bilan to'qnashadi. Ideal gaz molekulasining issiqlik harakat o'rtacha tezligi formulasidan foydalanib, uy temperaturasida ($T \sim 300\text{K}$) metallardagi erkin elektronlar o'rtacha tezligi $\sim 10^5\text{m/s}$ ekanligini aniqlash mumkin. Erkin elektronlarning bunday katta tezliklar bilan harakatlanishi butunlay tartibsiz bo'lganligi uchun ixtiyoriy yo'nalishda harakatlanayotgan elektronlar soni, qarama – qarshi yo'nalishda harakatlanayotgan elektronlar soniga teng bo'ladi. Boshqacha aytganda,

Metallar klassik elektron nazariyasida Om qonunini tushuntirilishi. Metallar klassik elektron nazariyasida P.Druge asos solgan (1900y), X.Lorents mazkur nazariyani takomillashtirib rivojlantirdi (1904 y). Nazariya bilan tanishishni metall tuzilishidan boshlaylik. Kristall panjaraning tugunlarida (3-rasm) valent elektronlaridan ajralgan atom qoldiqlari (ionlar) joylashadi. Valent elektronlar biror atomga

elektronlarning issiqlik harakati tamoman xaotik bo'lganligi uchun barcha yo'nalishlar teng ehtimollidir. Shuning uchun metall o'tkazgichning ixtiyoriy ko'ndalang kesimi orqali ko'chayotgan zaryad miqdori nolga teng bo'ladi. Demak, erkin elektronlarning issiqlik harakati tufayli o'tkazgichda elektr tok vujudga kelmaydi.

O'tkazgichning ikki uchiga biror $\Delta\phi$ potentsiallar farqini qo'yish natijasida metall ichida kuchlanganligi E bo'lgan elektr maydon vujudga keltiraylik. Bu maydon har bir elektronga miqdori eE , yo'nalishi esa maydon yo'nalishiga qarama – qarshi bo'lgan (chunki elektronning zaryadi manfiy) kuch bilan ta'sir etadi. Bu kuch ta'sirida “elektron gaz molekulalarining” elektr maydonga qarama – qarshi yo'nalishdagi tartibli harakati vujudga keladi, ya'ni metall o'tkazgichda elekt toki paydo bo'ladi. Lekin elektr maydon ta'sirida erkin elektronlar faqat tartibli harakat qiladi, deb tushunish kerak emas. Elektronlar xuddi elektr maydon bo'lmagan vaqtdagidek katta tezliklar bilan turli yo'nalishlarda harakat qilaveradi. Lekin bu harakatga metall ichidagi elektr maydon tufayli o'tkazgich bo'ylab yo'nalgan tartibli harakat tezligi qo'shiladi.

Erkin elektronlarning hatto etarlicha katta tok zichliklarida ham ($j=10$ A/mm²) tartibli harakat o'rtacha tezligi ($u_{o'rt}\sim 10^{-3}$ m/c) issiqlik harakat o'rtacha tezligiga qaraganda nihoyatda kichik: $v_{o'rt}/u_{o'rt}\approx 10^8$ marta.

U holda nihoyat uzoq masofalarga metall o'tkazgichlar orqali elektr signallarining bir lahzada uzatilishining boisi nimada? Bu savolga javob berish uchun metallarda elektr maydon $c=3\cdot 10^8$ m/s tezlik bilan tarqalishini hisobga olish kerak. Shuning uchun metall o'tkazgichning uzunligi bir necha ming kilometr bo'lganda ham uning barcha qismlaridagi erkin elektronlar bir vaqtda harakatga keladi deb hisoblasa bo'ladi.

Endi metallarning klassik elektron nazariyasidan foydalanib Om qonunini chiqaraylik. Kuchlanganligi E bo'lgan elektr maydonda elektronga $F=eE$ kuch ta'sir etadi. Bu kuch ta'sirida m massali elektron, Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan,

$$a = \frac{F}{m} = \frac{e}{m} E \quad (90)$$

tezlanish oladi. Erkin elektron kristall panjaraning tugunida joylashgan ionlar bilan ketma – ket to`qnashishi orasida o`tgan vaqtni τ bilan bosib o`tgan masofani (erkin yugirish yo`lini) esa l bilan belgilaylik. Soddashtirish maqsadida barcha erkin elektronlarning issiqlik harakati tezliklari bir xil deb faraz qilaylik va uni v bilan belgilaylik. U holda τ , l va v lar orasida quyidagi munosabat o`rinli:

$$\tau = \frac{l}{v} \quad (91)$$

Elektron ion bilan to`qnashgach, bir lahza to`xtab qoladi, ya`ni uning tartibli harakat tezligi nolga teng bo`ladi. Shuning uchun elektr maydon ta`sirida bu elektron navbatdagi ion bilan to`qnashguncha tekis tezlanuvchan harakat qiladi. Navbatdagi to`qnashish oldidan elektronning tartibli harakat tezligi maksimal qiymatga erishadi, ya`ni

$$u_{\max} = a\tau = \frac{el}{m\vartheta} E \quad (92)$$

Demak, elektronning tartibli harakat tezligi 0 dan $u_{\max}$ gacha ortadi. Bundan ikki ketma – ket to`qnashuv orasidagi elektronning tartibli harakat o`rtacha tezligi uchun

$$u_{\text{ypr}} = \frac{0 + u_{\max}}{2} = \frac{el}{2m\vartheta} E \quad (93)$$

qiymat kelib chiqadi. Ikkinchi tomondan o`tkazgich orqali o`tayotgan tok zichligining qiymati uchun quyidagi munosabat o`rinli:

$$j = enu_{\text{ypr}} \quad (94)$$

bu ifodada e – elektronning zaryadi, n – metall o`tkazgichning birlik hajmdagi erkin elektronlar soni. (94) dagi  $u_{\text{ypr}}$  o`rniga uning (93) ifodadagi qiymatini qo`ysak,

$$\sigma = \frac{e^2 nl}{2m\vartheta} E \quad (95)$$

Om qonuning differensial ko`rinishini hosil qilamiz. Bu munosabatdagi

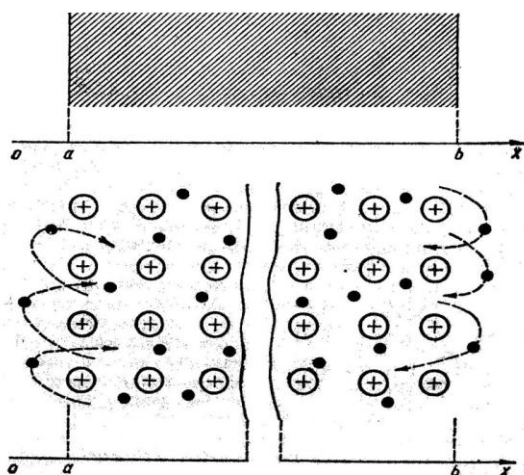
$$\tau = \frac{e^2 nl}{2m\vartheta} \quad (96)$$

solishtirma elektr o'tkazuvchanlikni ifodalaydi: *metallning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi metallning birlik hajmdagi erkin elektronlar soniga n ga, bu elektronlarning kristall panjara tugunlarida joylashgan ionlar bilan ikki ketma – ket to'qnashuvi orasida bosib o'tgan masofasi l ga proporsional bo'ladi.*

Demak, elektronlarning ionlar bilan to'qnashuvi – xuddi elektronlar harakatini tormozlashga intiluvchi biror ishqalanish kuchidek ta'sir ko'rsatadi. To'qnashish vaqtida elektron ionga o'z energiyasini (elektr maydon ta'sirida tezlashib erishgan energiyasini) berayotganligi uchun metall parchasining ichki energiyasi ortadi, ya'ni metallning qizishi kuzatiladi.

Elektronning metalldan chiqish ishi. Biror idishdagi gaz molekulalarining idishdan tashqariga chiqishiga shu idishning devorlari to'sqinlik qiladi. Yer atmosferasi esa Yerning tortish maydoni tufayli ushlab turiladi. Agar bir parcha metall bo'lakchasi bilan ish tutadigan bo'lsak, bu metalldagi elektronlar o'z – o'zidan metall tashqarisiga chiqib keta olmaydi. Buning sababi nimada?

Rasmda tasvirlangan metall bo'lakchasining yon sirtlariga perpendikulyar



1.4-рasm.

perpendikulyar

qilib OX o'qni o'tkazaylik. Metall ichida, ya'ni x ning qiymatlari a dan b gacha o'zgarganda elektronlarga panjaraning tugunlaridagi musbat ionlar tomonidan tortishish kuchlari ta'sir etadi. Bu kuch elektronlar orasidagi o'zaro itarishish kuchlari bilan muvozanatlashib turadi. Shuning uchun x o'qiga

40-rasm.

bo'lgan ixtiyoriy qatlamni tekshirsak, bu qatlamdagi ionlarning musbat zaryadi ayni vaqtda shu qatlamda joylashgan erkin elektronlarning manfiy zaryadlariga

miqdoran tengdir. Ya'ni metall ichidagi ($a < x < b$) qatlamlar elektroneytraldir. Endi metall sirtiga nihoyat yaqin bo'lgan ($x=a$ yoki $x=b$) qatlamlarni tekshiraylik. Agar sirt qatlamdagi elektronlarning bir qismi metalldan tashqariga chiqsa, bu sirt qatlam musbat zaryadlanib qoladi. Metall tashqarisiga chiqqan elektronlarni bu sirt qatlam uzoqqa qo'yib yubormaydi, ularni o'zi tomonga tortadi. Natijada elektronlar sirt qatlamdan tashqariga chiqadilar, lekin undan unchalik uzoqlashmay yana ichkariga qaytadi. Shuning uchun metall sirti doimo *elektronlar buluti* bilan qoplangan bo'ladi.

Demak, metalldan tashqariga chiqayotgan elektron sirt qatlam tomonidan tortish kuchi ta'sir qiladi. Bu ikkila kuch ham metall ichkarisiga qarab yo'nalgan bo'lib, elektronning metalldan chiqishiga *to'siq (barer)* bo'ladi. Shuning uchun metall ichidagi erkin elektron metall sirtlarida vujudga kelgan to'siqlar (barerlar) bilan o'ralgan *chuqurlikda (o'rada)* joylashgan ekan, deyish mumkin. Odatda to'siq (barer) ning qalinligi bir necha atomlararo masofadan (taxminan 10^{-9} m) ortmaydi. Bu to'siqni engib metall tashqarisiga chiqishi uchun elektron bajarishi lozim bo'lgan ishning miqdoriga teng kattalikni elektronning metalldan chiqish ishi (A_{ch}) deb ataladi.

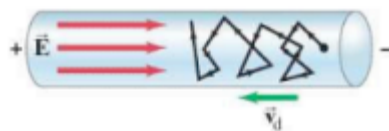
Chiqish ishi, odatda, elektron – volt (eV) larda o'lchanadi:

$$1\text{eV}=1,6\cdot 10^{-19}\text{Kl}\cdot 1\text{V}=1,6\cdot 10^{-19}\text{J}.$$

Metallarda elektronning chiqish ishi metalning kimyoviy tabiatiga metall sirtining tozaligiga bog'liq.

Ma'lumki tok bu zaryadlangan zarrachalarning tartibli harakati. Metallarda tok tashuvchilar elektronlar suyuqliklarda musbat va manfiy ionlar, gazlarda ham ionlar, ham elektronlar.

Endi biz tokni mikroskopik nuqtai nazardan qaraymiz. Agar o'tkazgichda uchlariga potentsiallar farqi qo'yilgan bo'lsa, u holda $\vec{E}$ ya'ni kuchlanganlik vektori o'tkazgichning yon tomoniga parallel bo'ladi. (41-rasm) da ko'rsatilgan.



41-rasm.

O'tkazgichdagi erkin elektronlar maydon ta'sirida tartibli harakatlana boshlaydi.

Elektr toki tok zichligi j bilan xarakterlanadi. Tok zichligi j deganda, o'tkazgichning birlik kesim yuzasidan birlik vaqtga o'tadigan zaryad miqdori tushuniladi. Ya'ni:

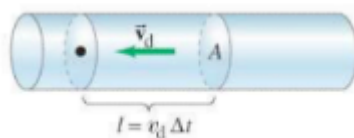
$$J = \frac{Q}{t}; \quad j = \frac{J}{S} = \frac{Q}{ST}; \quad J = jS$$

Agar tok zichligi o'tkazgichning kesim yuzasida o'zgarsa, u xolda tok kuchi quyidagiga teng bo'ladi:

$$J = \int j \cdot ds$$

Tok zichligi vektor kattalik. Uning yo'nalishi istalgan nuqtadan, shu nuqtaga joylashtirilgan musbat sinash zaryadining yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi. Boshqacha so'z bilan aytganda $\vec{j}$ vektor istalgan nuqtada $\vec{E}$ vektor yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi. (42-rasm.)

O'tkazgichning har bir nuqtasida tok zichligining qiymati ma'lum (aniq). Tok kuchi esa butun o'tkazgichga tegishli. Shuning uchun ham makroskopik kattalik hisoblanadi. Endi tok kuchini tezlik orqali ifodalaymiz.



42-rasm.

42-rasmga qarang. Ma'lumki birlik vaqtda bosib o'tilgan yo'l. Demak biz uzunlikni yoza olamiz:

$$\ell = v \cdot \Delta t$$

Ma'lumki: $J = \vec{j}S$

Undan tashqari Δt vaqtda $V=S \cdot l$ hajmdagi barcha elektronlar simning S yuzasidan o'tadi. Demak:

$$\Delta Q = (n \cdot V)e = (nSV\Delta t)e$$

Zaryad oqib o'tadi. U xolda tok kuchi:

$$J = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{nSV\Delta te}{\Delta t} = nSve$$
$$J = nSve \quad (97)$$

bo'ladi.

O'ta o'tkazuvchanlik. Ko'pgina metallarda α koeffitsient 0,00367 ga, ya'ni $\frac{1}{273}$ ga yaqin bo'ladi. Shuning uchun

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$$

ifodani

$$\rho = \rho_0 \alpha T$$

ko'rinishda yozib olsak bo'ladi. Bunda T - absolyut shkalada hisoblangan temperatura. Lekin bu formula juda yuqori va juda past temperaturalarda ham bajarilmaydi. Yuqori temperaturada α koeffitsient o'sib boradi. Bundan tashqari, metallar eriganda qarshiligi ortadi, Past tejeraturalarda esa α kamaya boradi.

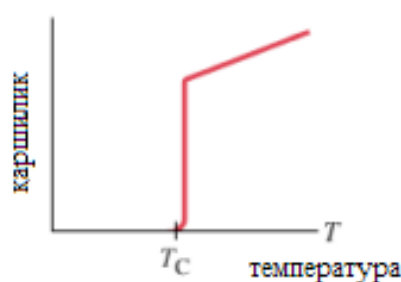
Absolyut shkala bo'yicha hisoblaganda $1^0 - 7^0 K$ dagi juda past temperaturalarda ba'zi metallar va qotishmalarning qarshiligi keskin kamayadi va deyarli yo'q darajada kichrayibqoladi. Bu hodisa birinchi marta golland fizigi Kammerling-Ones tomonidan 1911 yilda ochilgan bo'lib, o'ta o'tkazuvchanlik deb ataladi. O'ta o'tkazuvchanlikdagi qarshilik nolga teng bo'ladi. Hozirgi vaqtda tajribalardan ko'pgina sof elementlar, masalan, qo'rg'oshin, qalay, rux, simob, alyuminiy va bu elementlarning o'zaro va ularning boshqa elementlar bilan qotishmalarining ko'pi quyi temperaturalarda o'ta o'gkazuvchanlik xossasiga ega ekanligi aniqlangan.

Jismlarning solishtirma qarshiligiga teskari bo'lgan kattalik ($\chi = 1/\rho$) ularning solishtirma o'tkazuvchanligi deb atalar edi. Juda yaxshi o'tkazgichlar

($\chi = 10^4 \text{ Om}^{-1}\text{sm}^{-1}$; $\chi = 10^5 \text{ Om}^{-1}\text{sm}^{-1}$) bo'lgan metallar bilan bir qatorda o'tkazuvchanligi juda kichik ($\chi = 10 \cdot 10^{-10} \text{ Om}^{-1}\text{sm}^{-1}$) bo'lgan jismlar, masalan, selen, mis (1) oksid (Cu_2O), ko'pchilik minerallar, kislorod va oltingugurtning noorganik birikmalari, metallarning ba'zi qotishmalari, ba'zi organik bo'yoqlar va boshqalar ham bor, bu jismlar yarim o'tkazgichlar deb ataladi, Yarim o'tkazgichlarning o'tkazuvchanligi metallarnikidan ancha kichik bo'ladi. Ularda χ ning temperaturaga bog'liqligi boshqacha bo'ladi:

$$\chi = \chi_0 e^{\frac{b}{T}}$$

Mana shu qonunga muvofiq o'tkazuvchanlik temperatura ortishi bilan o'sa boradi. Bunda T – absolyut temperatura, b turli yarimo'tkazgichlar uchun turlicha bo'lgan doimiy.



43-rasm.

Yarim o'tkazgichlarda elektr tokini elektronlar va kavaklarning tartibli harakati hosil qiladi.

Sof yarim o'tkazgichlarda (masalan, kremniy va germaniy) elektr tokini teng miqdordagi elektronlar va kavaklarning tartibli harakati hosil qiladi. Temperatura ortishi bilan atomlar orasidagi elektron bog'lar uzila boshlaydi. Shu sababli temperatura ortishi bilan yarim o'tkazgichlarning elektr qarshiligi kamaya boradi.

n- tur yarim o'tkazgichlarda (donor aralashmali yarim o'tkazgichlarda) elektr tokini asosan elektronlarning tartibli harakati hosil qiladi. p-tur yarim o'tkazgichlarda (akseptor aralashmali yarim o'tkazgichlarda) elektr tokini asosan kavaklarning tartibli harakati hosil qiladi.

Elektr toki ionlarning tartibli harakati tufayli yuzaga keladigan suyuqliklar elektrolitlar deb ataladi. Bunday suyuqliklarga misol qilib, tuzlar, kislotalar va ʻorlarning suvdagi eritmalarini koʻrsatish mumkin.

Elektrolitlardan elektr toki oʻtganda tokning kimyoviy taʼsiri ham kuzatiladi. Bunda elektroliz deb ataluvchi hodisa kuzatiladi. Elektrolitlardan elektr toki oʻtganda elektrodlarda modda (erigan modda tarkibiy qismlarning) ajralib chiqish hodisasiga elektroliz deb ataladi.

Faradeyning birinchi qonuniga koʻra elektroliz paytida elektrodlardan ajralib chiqadigan modda massasi elektrolitdan oʻtgan zaryad miqdoriga proporsional.

Faradeyning ikkinchi qonuniga koʻra elementning elektrokimyoviy ekvivalenti uning kimyoviy ekvivalentiga proporsional.

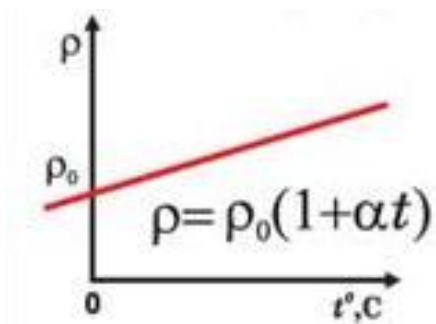
Gazlardan elektr toki oʻtishiga razryad deyiladi. Razryadning ikki turi mavjud: nomustaqil va mustaqil. Gazlar odatdagi sharoitlarda oʻzidan elektr tokini oʻtkazmaydi. Bunga sabab gazlarda zaryad tashuvchilar (zaryadlangan zarralar) yoʻq. Agar gazda tashqi taʼsir yoʻli bilan zaryadlangan zarrachalar(ionlar, elektronlar) hosil qilib turilsa, gazdan tok oʻta boshlaydi. Bunday yoʻl bilan hosil qilinadigan razryad nomustaqil razryad deyiladi. Elektrodlar orasidagi maydon kuchlanganligining maʼlum bir qiymatida gazda mustaqil (tashqi taʼsirsiz) razryad yuzaga keladi. Gazning holatiga va razryadning yuzaga kelish shart sharoitlariga qarab, gazlarda yuzaga keladigan mustaqil razryad toʻrt turga boʻlinadi: miltillagan razryad, uchqun razryad, toj razryad va yoy razryad.

Mustaqil razryad vaqtida quyidagi shart bajarilishi kerak:

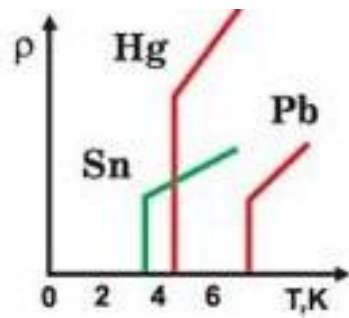
Birinchidan elektronlarning erkin yugurish yoʻlida elektr maydonda olgan energiyasi neytral molekulalarni(atomlarni) ionlash uchun etarli boʻlishi;

Ikkinchidan musbat ionlar katodga kelib urilganda katoddan elektronlarni urib chiqarishi uchun etarli boʻlgan energiyaga ega boʻlishi kerak.

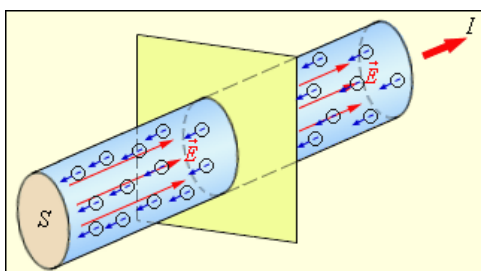
Vakuumba elektr tokini termoelektronlarning tartibli harakati hosil qiladi. Vakuumba elektr tokining faqat magnit taʼsiri kuzatiladi.



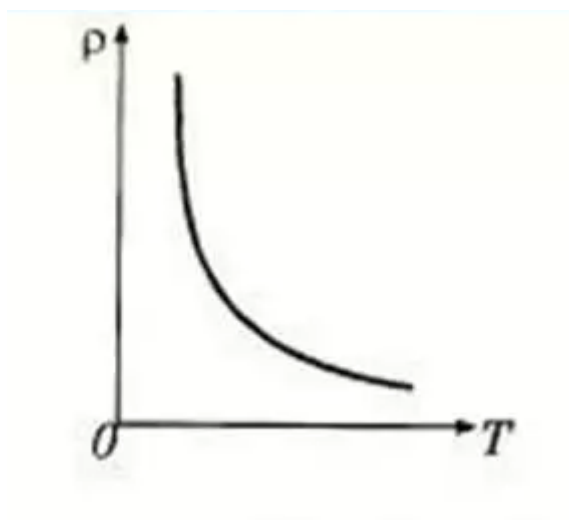
44-rasm.



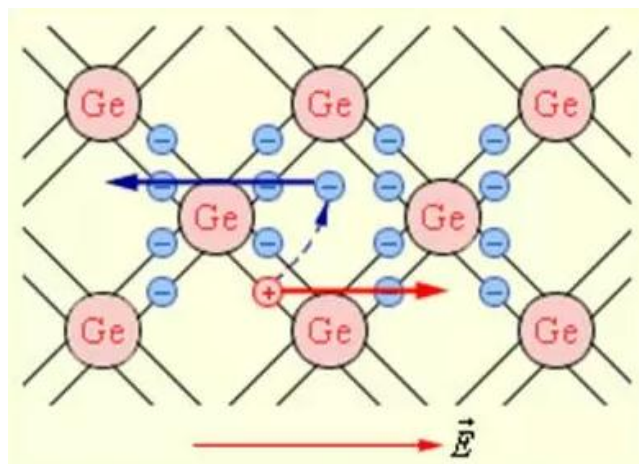
45-rasm.



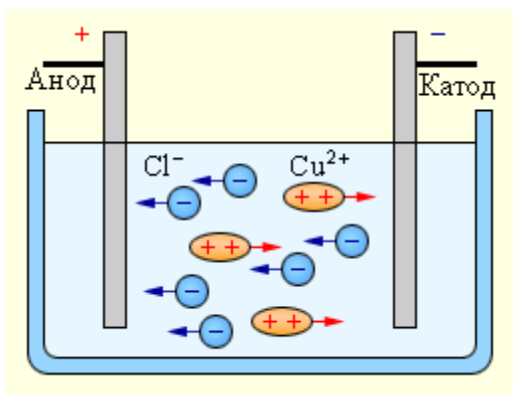
46-rasm.



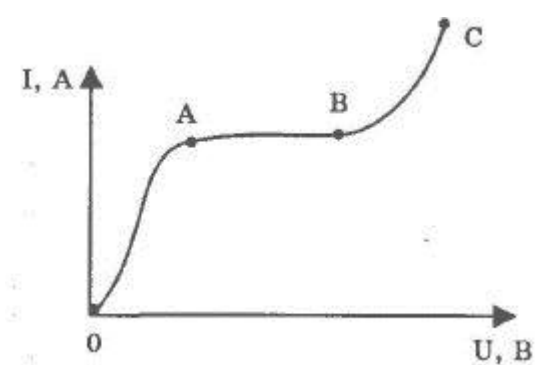
47-rasm.



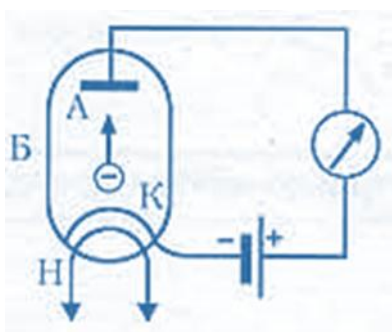
48-rasm.



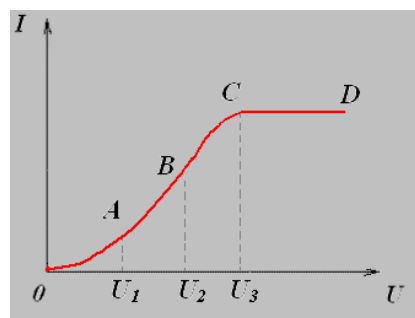
49-rasm.



50-rasm.



51-rasm.



52-rasm.

Ishlab chiqarishning real sektorida qo`llanishi:

Hozirda turli muhitlarda elektr toki o`tishi bilan bog`liq bo`lgan hodisalar va qonuniyatlar asosida ishlaydigan elektron qurilmalar mavjud bo`lib, elektrotehni-

kada va turmushda ulardan keng foydalaniladi. Masalan gazlardagi razryad hodisalari asosida yorug`lik lampalari yaratilgan. Bundan tashqari yoy razryaddan foydalanib, elektr payvandlash ishlari amalga oshiriladi. Elektroliz hodisasidan foydalanib, tez zanglaydigan metalli sirti oksidlanmaydigan metallar bilan qoplanadi, elektroliz yo`li bilan ba`zi metallar tozalanadi. Yarim o`tkazgichlar asosida ishlovchi elektron qurilmalarsiz (diod, triod, mikroshema va h.k.) radiotexnika va elektrotehnika hozirgi darajada bo`lmagan bo`lardi.

Nazorat savollari

1. Metallarda elektr tokini tashuvchilar.
2. O`ta o`tkazuvchanlik.
3. Yarim o`tkazgichlarda elektr tokini tashuvchilar.
4. Elektrolitlar va gazlarda elektr tokini tashuvchilar
5. Turli muhitlarda elektr hodisasidan amalda foydalanish.

Zaryadlanhan zarralar va toklarning magnit maydoni. Magnit maydon induksiya va kuchlanganligi

Magnit maydoni va uni harakterlovchi kattaliklar. 1820 yilda Daniyalik fizik G.H.Ersted (1777-1851) tajribalarda elektr tokini magnit strelkasiga ta'sirini aniqlagan.

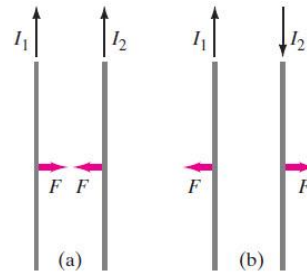


53 - rasm.

Tajribada magnit strelkasining ustiga parallel joylashtirilgan o`tkazgichdan tok o`tganda, magnit strelkasining dastlabki vaziyatdan o`tgani (53.a- rasm) va o`tkazgichdan tokning o`tishi to`htatilsa(53.b-rasm), magnit strelkasi yana dastlab-

ki vaziyatga qaytishi kuzatilgan. 1820 yilda Amper tajribalarda (54-rasm) tok o'tayotgan ikki ingichka to'kri chizikli o'tkazgichda tok bir tomonga o'tsa, ular bir-birini tortishi, agar qarama-qarshi tomonga tok o'tsa, bir-biridan qochishi aniqlangan. Tajriba ko'rsatadiki, parallel o'tkazgichlarning har birining birlik uzunligiga to'g'ri keluvchi o'zaro ta'sir kuchi ulardagi I_1 va I_2 toklarga to'g'ri proporsional va ular orasidagi b masofaga teskari proporsional:

$$f = K \frac{2I_1 I_2}{b} \quad (98)$$



54– rasm.

Agar $I_1 = I_2 = 1 \text{ A}$ bo'lganda, ikki o'tkazgich 1 m uzoqlashganda

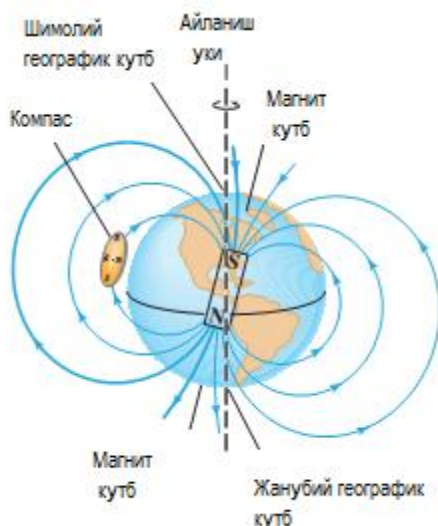
$$\frac{F}{\ell} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}) (1 \text{ A})(1 \text{ A})}{(2\pi) (1 \text{ m})} = 2 \times 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}$$

bo'ladi.

Shunday qilib, 1 m uzoqlikdagi ikkita uzun parallel o'tkazgichlarning har biridan bir **amperdan** tok o'qayotganda har bir o'tkazgichning 1 metriga $2 \times 10^{-7} \text{ H/m}$ kuch ta'sir qiladi.

Bu amperning aniq ta'rif, va operatsion ta'rif deyiladi. Kulon amperdan foydalanilib ta'riflanadi: $1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$.

Yerning magnit maydoni



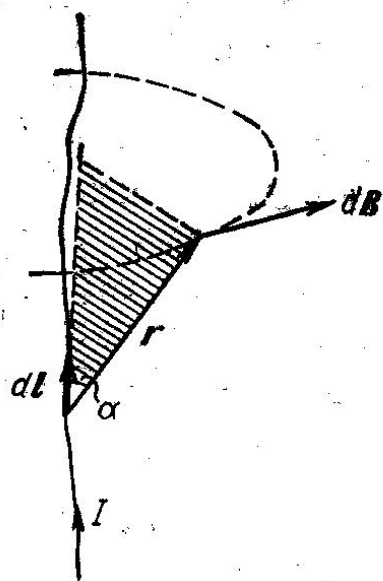
Yerning magnit maydonini yer yadrosidagi erigan temirda vugudga kelgan elektr toklari hisobiga hosil bulgan deb hisoblanadi. Maydon chiziqlari modeli deyarli yer ichida hayoliy magnit bo'lagi bordek nazarda tutiladi. Yer magnit qutblari yerning aylanish o'qida joylashgan geografik qutblar bilan mos kelmaydi. Shimoliy magnit qutbi, Kanada Arktikasida joylashgan bo'lib, geografik shimoliy qutbidan 1000 km masofada joylashgan. Kompasdan

aniq foydalanishda bu farqni hisobga olish kerak. Istalgan joylashuvdagi kompas ignasi (magnit maydon chiziqlari bo'ylab ishora) yunalishi bilan haq (geografik) shimol orasidagi burchak farqi magnit og'ish deyiladi.

Yer bu misoli katta magnitdir. Uning magnit qutblari geografik qutblar bilan mos tushmaydi. Yer magnit maydoni gorizont bilan hosil qiladigan burchagi magnit og'ish burchagi deyiladi eki oddiy qilib og'ish deyiladi. Magnit og'ish burchagi masalan, Nyu-York da 67°, Mayamida 55 ° teng.

Bio – Savar – Laplas qonuni.

1820yili Fransuz olimlari Bio va Savar turli shakldagi tokli o'tkazgichlar atrofida



magnit maydonlarni tekshirish natijasida tokli o'tkazgichdan (r) masofa uzoqlikdagi nuqtaning magnit induksiyasi o'tkazgichdagi tok kuch (J) ga to'g'ri proporsional, (r) ga esa teskari proporsional ekanligini aniqladilar. Keyinchalik, Laplas ixtiyoriy shakldagi tokli o'tkazgich atrofida nuqtalar uchun magnit induksiyani aniqlash imkonini beradigan formulani taklif etdi. Bunda Laplas maydonlar superpozitsiyasi prinsipidan foydalandi. Bu prinsip umumiy holda quyidagicha

ta'riflanadi: bir necha toklar tufayli vujudga kelayotgan maydonning ixtiyoriy nuqtadagi magnit induksiyasi (V) alohida toklar vujudga keltirayotgan maydonlarning ayni nuqtadagi magnit induksiylari (Vj) ning vektor yig'indisiga teng bo'ladi, ya'ni

$$B=B_1+B_2+B_3+...B_n=\sum_{i=1}^n B_i \quad (99)$$

Ixtiyoriy shakldagi tokli o'tkazgichni dl uzunlikdagi elementar bo'lakchalardan iborat deyish mumkin. Bu bo'lakcha uzunligining undan o'tayotgan tok kuchiga ko'paytmasini, ya'ni tok o'tayotgan tomonga yo'nalgan vektor dl ni «tok elementi» deb atash odat bo'lgan. Shuning uchun ixtiyoriy shakldagi tokli o'tkazgich hosil

qilayotgan maydonning biror nuqtadagi magnit induksiyasi ushbu tokli o'tkazgichning tarkibiy qismlari deb qaralayotgan tok elementlari tufayli vujudga kelishi lozim bo'lgan maydonlar magnit induksiyalarining vektor yig'indisidan iborat bo'lishi kerak, ya'ni

$$B = \sum_{i=1}^n dB_i \quad (100)$$

har bir tok elementi vujudga keltirilgan maydonning magnit induksiyasi

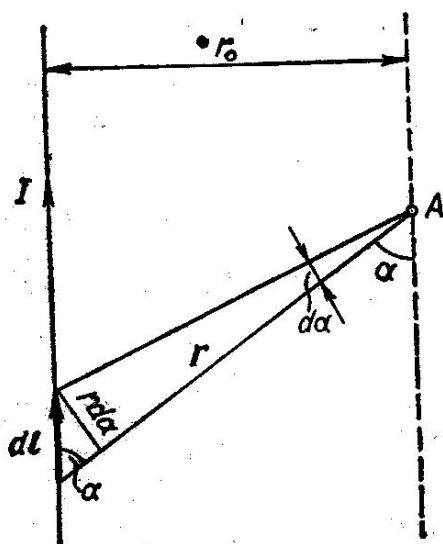
$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I[dlr]}{r^3} \quad (101)$$

munosabat bilan aniqlanadi. dB ning moduli uchun quyidagi ifoda o'rinli:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin \alpha}{r^2} \quad (102)$$

Mazkur munosabatlar Bio —Savar — Laplas qonunini ifodalaydi. (101) va (102) da r — tok elementidan magnit induksiyasi aniqlanayotgan nuqtaga o'tkazilgan radius-vektor; r - shu radius-vektor moduli; a — o'tkazgich elementar bo'lakchasi dl bilan r orasidagi burchak; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$ - esa magnit doimiysi deb ataladi.

dB ning yo'nalishi dl va r vektorlardan o'tuvchi tekislikka perpendikulyar bo'ladi: o'ng vint dl yo'nalishida ilgari lanma harakatlanishi uchun vint dastasi bo'ralishi lozim bo'lgan tomon dB ning yo'nalishini ko'rsatadi.



Turli shakldagi tokli o'tkazgichlarning magnit maydonlarini hisoblash :

Bio—Savar—Laplas qonunidan foydalanib turli shakldagi tokli o'tkazgichlar maydonlarining magnit induksiyasini hisoblash mumkin. Misol tariqasida bir necha xususiy hollarni ko'raylik:

1. Cheksiz uzun tug'ri chiziq shaklidagi o'tkazgichdan o'tayotgan tok (to'g'ri tok) tufayli vujudga kelgan maydonning ixtiyoriy A nuqtadagi magnit induksiyasini hisoblaylik Tanlab olingan A nuqtaning to'g'ri tokdan uzoqligi r bulsin. Tok o'tayotgan o'tkazgichni xayolan dl uzunlikdagi elementlarga ajrataylik. Bu tok elementlari vujudga keltirgan barcha dB larning yo'nalishlari bir xil bo'lib, ular chizmaning orqa tomoniga yo'nalgan. Shuning uchun natijaviy magnit maydon induksiyasi V xam dB bilan bir xil yo'nalishga ega bo'ladi. V ning qiymati esa dB lar modullarining yig'indisidan iborat. A nuqtadan r masofa, uzoqlikdagi tok elementi vujudga keltirgan magnit maydon induksiyasining moduli (102) formula asosida topilishi lozim bo'lganligi uchun V ning modulini xisoblash operatsiyasi quyidagi integrallashga keltiriladi:

$$B = \int dB = \frac{\mu_o}{4\pi} I \int \frac{dl}{r^2} \sin \alpha \quad (103)$$

Bu formulaga kiruvchi r va dl - larning qiymatlari

$$r = \frac{r_o}{\sin \alpha}; \quad dl = \frac{r d\alpha}{\sin \alpha} = \frac{r_o d\alpha}{\sin^2 \alpha}$$

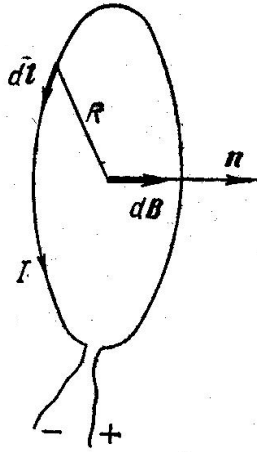
ekanligini topamiz. Shuning uchun

$$B = \frac{\mu_o}{4\pi} I \int_0^\pi \frac{r_o d\alpha \cdot \sin \alpha}{\sin 2\alpha \cdot \frac{r_o^2}{\sin^2 \alpha}} = \frac{\mu_o}{4\pi} \cdot \frac{I}{r_o} \int_0^\pi \sin \alpha \cdot d\alpha = \frac{\mu_o I}{2\pi r_o} \quad (104)$$

bo'ladi. Bu ifodada integrallash chegaralarini 0 va π deb olindi, chunki cheksiz uzun to'g'ri tokning barcha elementlari uchun α burchak shu intervalda uzgaradi. Shunday qilib, cheksiz uzun to'g'ri tok tufayli vujudga kelayotgan maydonning ixtiyoriy nuqtasidagi magnit induksiyasi o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchiga

to'g'ri proporsional va induksiyasi o'lchanayotgan nuqtaning o'tkazgichdan uzoqligiga teskari proporsionaldir,

2. Radiusi R bo'lgan aylana shaklidagi o'tkazgichdan I tok o'tayotgan bulsin.



Shu aylananing markazidagi magnit maydon induksiyasini aniqlaylik. Aylananing xar bir dl elementi va radiusi R orasidagi burchak $\frac{\pi}{2}$ ga teng bo'lganligi uchun Bio-Savar-

Laplas qonuniga asosan :

$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{Idl}{R^2} \quad (105)$$

Barcha dB lar aynan bir xil yo'nalishda, ya'ni aylana markazidan o'tuvchi musbat normal bo'ylab yo'nalgan. Shuning uchun natijaviy maydonning aylana markazidagi magnit induksiyasi:

$$B = \int dB = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{I}{R^2} \int_0^{2\pi R} dl = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{I}{R^2} \cdot 2\pi R = \frac{\mu_o I}{2R} \quad (106)$$

bo'ladi . Aynan shaklidagi tokli konturning magnit momenti

$$p_m = I \cdot S = I\pi R^2 \quad (107)$$

bo'lganligi uchun (107) ni quyidagicha o'zgartirib yozish mumkin:

$$B = \mu_o \frac{I}{2R} \cdot \frac{\pi R^2}{\pi R^2} = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{2p_m}{R^3} \quad (108)$$

B va P_m vektorlar konturga o'tkazilgan musbat normal p bo'ylab yo'nalgani uchun qo'yidagi musbat o'rinli bo'ladi :

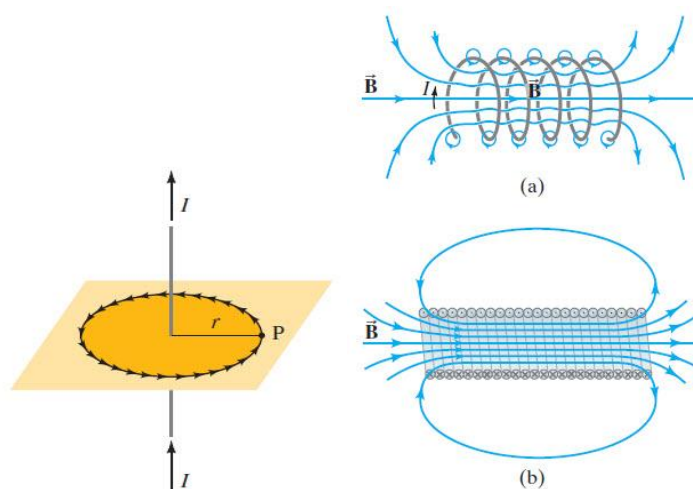
$$B = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{2p_m}{R^3} \quad (109)$$

Solenoid ichidagi magnit maydoni

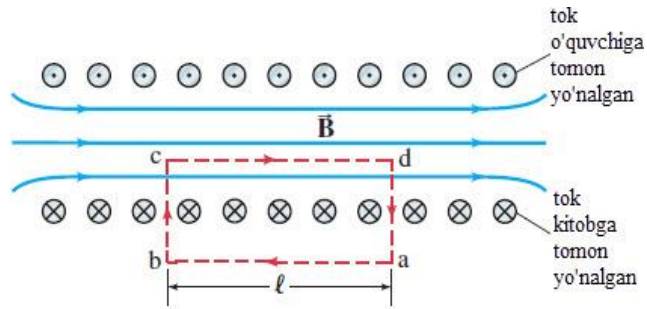
Endilikda Amper qonunini 55 rasmdagi ko'p sonli halqali uzun o'ram o'tkazgich bo'lgan solenoid ichidagi magnit maydonni hisoblashda qo'llaymiz, hamda solenoid ichidagi umumiy magnit maydon har bir tok hosil qilgan maydonlar yig'indisidir. Agar solenoidda o'ramlar soni ko'p va bir – biriga yaqin bo'lsa, ichkaridagi magnit maydon oxirlaridan tashqari (55.b da ko'rsatilgan) deyarli bir jinsli va solenoid o'qiga parallel bo'ladi. Solenoiddan tashqarida maydon chiziqlari fazoda tarqalib ketadi, magnit maydon ichkaridagiga nisbatan ancha kuchsiz bo'ladi. Amper qonunini qo'llab, solenoid oxirlaridan uzoqdagi abcd konturni tanlaymiz. Bu konturni to'rtta segmentdan tashkil topgan deb qaraymiz, to'g'ri to'rtburchakning tomonlari: ab, bc, cd, da.

$$(B_{\parallel}\Delta\ell)_{ab} + (B_{\parallel}\Delta\ell)_{bc} + (B_{\parallel}\Delta\ell)_{cd} + (B_{\parallel}\Delta\ell)_{da} = \mu_0 I_{\text{kontur}}.$$

Chapdagi birinchi had nolga teng, chunki solenoid tashqarisidagi magnit maydon ichkaridagiga nisbatan ahamiyatsiz darajada. Shu bilan birga, $\vec{B}$ vektor bc va da segmentlarga perpendikulyar, bu hadlar ham nolga teng. Haqiqatda, Amper qonuni cheksiz kichik segmentlar cheksiz ko'p sonli bo'lganda to'ppa-to'g'ri bo'ladi, ammo bu hisoblashda muammoga olib keladi.



55 – rasm.



56 -rasm

Shu tufayli, Amper tenglamasining chap tarafini shunchaki $(B_{\parallel} \Delta \ell)_{cd} = B \ell$ ga teng deb, bu erda, B solenoid ichidagi maydon va ℓ esa cd ning uzunligi. Agar solenoidning bir o`ramidan  $I$  tok o`tayotgan bo`lsa,  $abcd$  konturdan o`tayotgan umumiy tok NI bo`ladi, bu erda  $N$  kontur ichidagi o`ramlar soni.

$$B \ell = \mu_0 NI$$

B faqatgina uzunlik birligidagi o`ramlar soni  $N/\ell$  va tok  $I$  ga bog`liq.

Magnit induksiya vektorining sirt orqali oqimi

B vektor ning dS sirt orqali oqimi yoki magnit oqim deganda

$$d\Phi_{\epsilon} = B_n dS \quad (110)$$

kattalik tushuniladi. Bu ifodadagi $B_n = B \cos \alpha$, u B vektorining dS sirtga o`tkazilgan musbat normal  $p$  yo`nalishiga proeksiyasini ifodalaydi. α — sirtga o`tkazilgan musbat normal va  $v$  vektor orasidagi burchak  $B$  ning sirt orqali oqimi musbat ( $\cos \alpha > 0$  bo`lganda) va manfiy ($\cos \alpha < 0$ bo`lganda) qiymatlarga ega bo`la oladi.

Magnit induksiya vektorining ixtiyoriy S sirt orqali oqimi esa

$$\Phi_{\epsilon} = \oint_S B_n dS \quad (111)$$

ifoda yordamida aniqlanadi .

Bir jinsli magnit maydonda yassi sirt B vektorga perpendikulyar tarzda joylashgan bo`lsa (ya`ni $B_n = B = \text{const}$ bulgan holda).

$$\Phi_{\epsilon} = B \cdot S \quad (112)$$

Mazkur munosabatdan foydalanib magnit oqimning SI dagi birligi—veber (Vb) ni aniqlash mumkin: 1 Vb — magnit induksiyasi 1 Tl boʻlgan bir jinsli magnit maydonda maydon yoʻnalishiga perpendikulyar ravishda joylashgan 1 m² yuzli yassi sirtni teshib oʻtadigan magnit oqimdir.

Magnit oqimning oʻlchamligi — $L^2MT^{-2}I^{-1}$

Magnit oqimning maksvell (Mks) deb atalgan, ST SEV 1052 — 78 ga asosan, foydalanilmayotgan birligi va V borasida quyidagi munosabat urinli:

$$1 \text{ Mks} = 10^{-8} \text{ Vb}.$$

B uchun Gauss teoremasi quyidagicha taʼriflanadi: Magnit maydon induksiyasi vektorining ixtiyoriy shakldagi berk sirt orqali oqimi nolga teng:

$$\oint B_n dS = 0 \quad (113)$$

Nazorat savollari

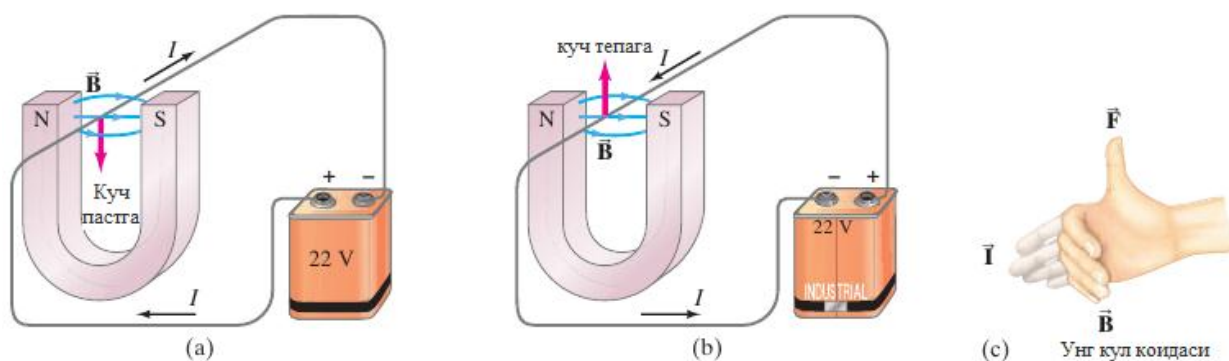
1. Magnit maydoni va uni xarakterlovchi kattaliklar.
2. Konturning magnit momenti.
3. Magnit maydon induksiyasi, oʻlchov birligi.
4. Magnit induksiya chiziqlari va uning yoʻnalishi.
5. Magnit maydonlar superpozitsiya prinsipi.
6. Bio-Savar-Laplas qonuni.
7. Toʻgʻri tok magnit maydonining induksiyasi.
8. Aylanma tok markazidagi magnit maydon induksiyasi.
9. Solenoid markazidagi magnit maydon induksiyasi.

Magnit maydonni tokli o'tkazgichga ta'siri. Amper qonuni. Tokli o'tkazgichni magnit maydonida ko'chirishda bajarilgan ish. Magnit maydoniga kiritilgan zaryadli zarrachaning harakati. Lorens kuchi

Elektrdan amalda foydalanishda magnit maydonining tokka ta'sir kuchlaridan foydalanish katta rol o'ynaydi.

Bir jinsli magnit maydondagi tokli o'tkazgichga ta'sir kiluvchi F kuch o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchi I ga, o'tkazgichning uzunligi l ga, magnit maydon induksiyasi B ga va B vektor bilan o'tkazgich orasidagi burchak sinusiga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni

$$FA = IlB \sin \alpha \quad (114)$$

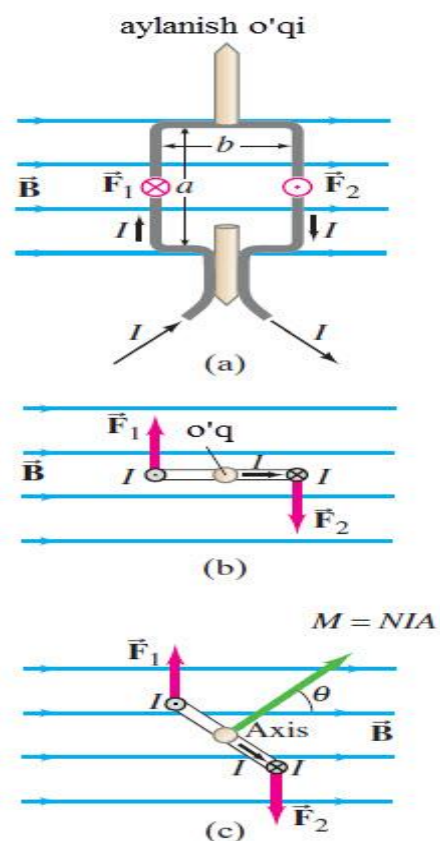


57-rasm.

Ta'sir etuvchi kuchning yo'nalishi chap qo'l qoidasi bo'yicha topiladi. Buning uchun chap qo'limizni shunday joylashtirishimiz kerakki, bunda B vektor kaftimizga tik kirsin, uzatilgan to'rtta barmog'imiz tokning yo'nalishi bilan mos tushsin. U qolda ochilgan bosh barmog'imiz Amper kuchini yo'nalishini ko'rsatadi.

Magnit maydonida tokli o'tkazgichni aylanuvchi moment, magnit momenti

Elektr toki magnit maydonga joylashtirilgan yopiq halqali o'tkazgichdan og'ganda, tokning magnit kuchi aylantiruvchi moment hosil qiladi. Motorlar, voltmetrlar va ommetrlar kabi bir qator muhim amaliy qurilmalar ishlashi asosida bu tamoyil yotadi. 57-2a rasmdagi yuzasi $\vec{B}$ ga paral-



lel to'g'ri to'rtburchak o'ram orqali tok oqsin. $\vec{B}$ maydon o'tkazgichining gorizontall segmentiga kuch yoki aylantiruvchi moment bilan ta'sir qilmaydi, chunki, bu segment maydonga parallel. Ammo, o'tkazgichning vertikal segmentlariga $\vec{F}_1$ va $\vec{F}_2$ kuchlar bilan ta'sir qiladi. $\vec{F}_1$ kuch yo'nalishi pastga yo'nalgan tokga ta'sir qiluvchi $\vec{F}_2$ kuch qiymatiga teng va teskari yo'nalishda bo'ladi. Bu kuchlar o'ramni vertikal o'q atrofida aylantiradigan aylantiruvchi momentni paydo qiladi.

$$M = NIA \quad (115)$$

Bu erda $A = ab$ o'ramning yuzasi. N - o'ramlar soni.

Ampermetr, voltmeter va ommetrlarni asosiy qismi -galvanometrdir. Bu qurilmalarning ishlash prinsipi magnit maydonida tokli o'tkazgichga ta'sir qiluvchi aylantiruvchi kuch momentinig ta'siriga asoslangan.

Magnit maydonni zaryadlangan zarraga ta'siri. Lorens kuchi. Yuqorida magnit maydonga kiritilgan tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuch bilan tanishdik. Bu kuchning vujudga kelishini Lorens quyidagicha tushuntirdi: o'tkazgichda tok tashishda qatnashib tartibli harakat qilayotgan zaryadlarga magnit maydon ta'sir etadi. Lekin bu zaryadlar o'tkazgich sirti bilan chegaralangan hajm ichida harakat qilayotganliklari uchun ularga magnit maydon tomonidan ta'sir qilayotgan kuchlarning yig'indisi tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuch sifatida namoyon bo'ladi. Shuning uchun Amper qonunini ifodasidan foydalanib magnit maydonda harakatlanuvchi zaryadga ta'sir etuvchi kuchni topish mumkin. Bu kuch Lorens kuchi deb ataladi va bu kuchning matematik ifodasi quyidagicha:

$$\vec{F} = Bvq \sin \alpha \quad (116)$$

Lorens kuchining yo'nalishi chap qo'l qoidasi asosida topiladi. Lekin bu yo'nalish musbat zaryadli ($q > 0$) zarralarga magnit maydonda ta'sir etuvchi kuchning yo'nalishi bo'ladi. Manfiy zaryadli ($q < 0$) zarraga ta'sir etuvchi kuchning yo'nalishi esa qarama-qarshi bo'ladi. Lorens kuchi zarraning harakat yo'nalishiga perpendikulyardir. Shuning uchun Lorens kuchi ta'sirida yo'nalishi o'zgaradi holos.

Zaryadli zarralarning magnit maydondagi harakati. Bir jinsli magnit maydonga u tezlik bilan kirgan zaryadli zarraning harakati qanday bo'ladi? Zaryadli zarraning harakati magnit maydon induksiyasi chiziqlari bo'ylab sodir bo'layotgan holda u va B vektorlar orasidagi burchak 0 yoki π ga teng. Zero, (116) formulaga asosan, $F = 0$. Demak, mazkur holda magnit maydon zaryadli zarraga

tasir etmaydi, zarra magnit maydonda to'g'ri chiziqli tekis harakatini davom ettiraveradi.

Zaryadli zarra B chiziqlariga perpendikulyar ravishda magnit maydonga kirgan holda u va B orasidagi burchak $\pi/2$ ga teng. Shuning uchun zarraga ta'sir etadigan Lorens kuchining yo'nalishi doimo tezlikka perpendikulyar, moduli ($F = quB$) o'zgarmaydi. Bunday kuch ta'sirida zarra aylana bo'ylab harakatlanadi. Aylana radiusi R ni

$$quB = mu^2/R \quad (117)$$

tenglikni yechib topish mumkin.

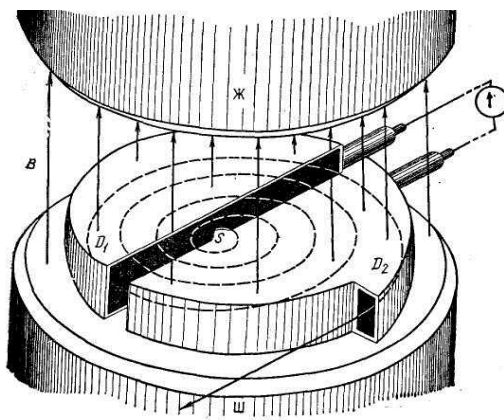
$$R = mu^2/qB \quad (118)$$

Bundagi m-zarraning massasi, q-zarraning zaryadi. Zarraning bir marta to'liq

aylanishi uchun ketgan vaqt (T)
$$T = \frac{2\pi R}{u} = \frac{2\pi}{u} \cdot \frac{mu}{qB} = \frac{2\pi}{(qlm)B}$$

zarraning aylanish davri deb ataladi, u zarraning solishtirma zaryadi (q/m) va maydonning magnit induksiyasiga bog'liq zaryadning tezligiga esa mutlaqo bog'liq emas.

Zarra tezligi magnit maydon yo'nalishi bilan ixtiyoriy α burchak tashkil etsin. Bu holda tezlik vektori uni ikki tashkil etuvchiga - B bo'ylab yonalgan parallel va B ga perpendikulyar ravishda yo'nalgan u_{11} ga ajratish mumkin. Zero, zaryadli zarra u_{11} tufayli magnit induksiya chiziqlari bo'ylab to'g'ri chiziqli tekis harakatda, u_1 tufayli esa maydonga perpendikulyar tekislikda aylana bo'ylab tekis harakatda qatnashadi. Bu ikki harakatning superpozitsiyasi (qo'shilishi) zarra harakatini tasvirlaydi, o'qi magnit maydonga parallel bo'lgan vintsimon spiral chiziq bo'yicha zarra harakatlanadi.



58-rasm.

Harakatlanayotgan zarralarga magnit maydon ko'rsatadigan ta'sirdan siklik tezlatgichlar (siklotron, sinhrotron, sinhrofazotron), magnitogidrodinamik generatorlarda foydalaniladi. Siklotronning asosiy qismi-kuchli elektromagnitdir, bu elektromagnitning qutblari orasida yassi silindrik vakuum kamera joylashgan. Kamera duant deb ataladigan D-simon ikki bo'lak D_1 va D_2 dan iborat. Duantlar elektrodlar vazifasini ham o'taydi. Ular o'zgaruvchan kuchlanishli yuqori chastotaviy generatorning qutblariga ulangan. Shuning uchun duantlar navbatma-navbat goh musbat, goh manfiy zaryadlanib turadi. Elektr maydon faqat duantlar oralig'idagi tirqishdagina mavjud bo'ladi. Tezlatilishi lozim bo'lgan zaryadli zarralar kameraga mahsus qurilma (rasmda S deb belgilangan) oraliq kiritiladi.

Kameraga kiritilgan musbat zaryadli zarra darhol manfiy zaryadlangan duant tomon tortiladi. Duant ichida zarraning harakati yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan magnit maydon zarrani aylanaviy orbita bo'ylab harakatlanishga majbur qiladi (chunki bu yerda zarraga Lorens kuchi ta'sir qiladi). Zarra yarim aylanani bosib o'tgach, yana duantlar oralig'idagi tirishga etib keladi. Lekin o'tgan vaqt ichida elektr maydon yo'nalishini o'zgartirgan bo'ladi. Shuning uchun zarra ikkinchi duant tomon tortilib tezlashadi. Ikkinchi duant ichida yarim aylanani bosib o'tadi va yana tirishga etib keladi. Bu erda uchinchi marta tezlashadi va hakoza. Har safardan so'ng zarraning tezligi va orbitasining radiusi ortib boradi. Zarraning traektoriyasi rasmda ko'rsatilgan.

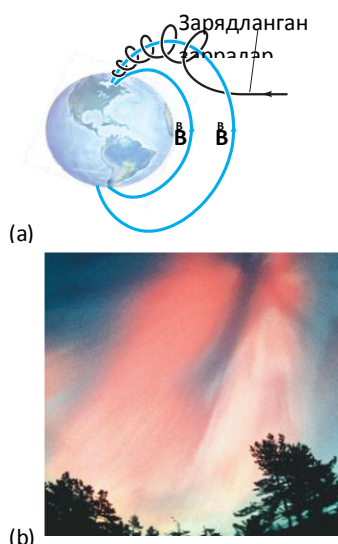
Shimol yog'dusi. Quyoshdan zaryadlangan ionlar (Quyosh shamoli) yer atmosferasining shimoliy qismiga kelib urilganda, u yerda "Shimol yog'dusi" kuzatiladi. 59-rasmda zaryadlangan zarralar oqimi yerga kelayotgani ko'rsatilgan. Tezlikning perpendikulyar tashkil etuvchisi zarrani aylana trayektoriya bo'yicha harakatlanishga majburlaydi, paralell tashkil etuvchisi esa zarralarni magnit maydoni bo'ylab harakatlanishga majburlaydi. Zarralar Shimoliy Qutbga yaqinlashgani sari yerning magnit maydoni kuchayib boradi va zarraning spiral traektoriyasi kichiklashib boradi. Juda katta tezlik va konsentratsiyaga ega zaryadlangan zarralar havoni ionlashtirib, yorug'lik hosil qiladi. Bu yorug'lik shimol yog'dusi deyiladi u Quyoshda faollik ortishi bilan kuchayadi.

Xoll effekti. Elektr tokli o'tkazgich magnit maydonga o'rnatilsa, magnit maydon elektr zaryadlariga tashqi kuch bilan ta'sir qiladi. Misol uchun 20-5a-rasmdagi to'rtburchak o'tkazgich orqali elektronlar o'ng tomonga harakatlansa unga o'rnatilgan magnit maydoni esa $F = ev_d B$ kuch bilan elektronlarni pastga bosadi, v_d elektronlarning ko'chish tezligi. Shu orqali elektronlar ko'proq S dan ko'ra D tomonga harakatlanadi. Bu esa S va D orasida potentsiallar farqi paydo qiladi. Bu potentsiallar farqi elektr maydon hosil qilib zarralarga magnit maydoni

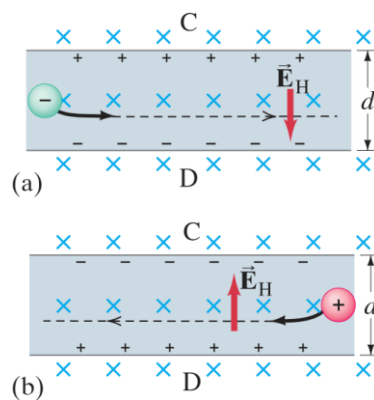
kuchiga ($F = ev_d B$) teng kuch ($F = eE_H$) va teskari yoʻnalish bilan taʼsir qiladi. Bu effekt Xoll effekti deyiladi va u 1879-yilda E. H. Xoll tomonidan kashf qilingan. Xoll effekti $v_{Hall} = E_H d = (F/e)d = v_d B d$ ga teng, d oʻtkazgich eni.

Oʻng tarafga yurayotgan manfiy zaryadli zarralar oqimi, chap tarafga yurayotgan musbat zaryadlangan zarralar oqimiga teng. Lekin bu fakti Xoll effekti farqlab beradi. 20-5-rasmda koʻringanidek musbat zaryadlangan zarralar chapga yurayotganda pastga itariladi va shunga koʻra pastki yuza yuqorisiga qaraganda musbat zaryadlangan boʻladi. 60-5a-rasmda shu harakatning teskarisi berilgan. Xoll effektidagi elektr yurgazuvchi kuch manfiy zarralarni oʻng tomonga harakatlantiradi, musbat “kovaklar” esa p tipdagi yarim oʻtkazgichdagidek harakatlanadi.

Xoll effekti V ga toʻgʻri proporsional va magnit maydonni hisoblashda ishlatilishi mumkin. Buni hisoblaydigan qurilma Xoll koʻrsatgichi deb nomlanadi. Agar V maʼlum boʻlsa Xoll effekti orqali elektronlarning koʻchish tezligini topish mumkin.

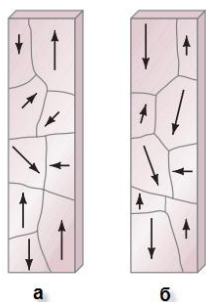


59-rasm



60-rasm

61-rasm



Temirning magnitlanmagan parchasi (61.a rasm) tasodifiy joylashgan domenlardan tashkil topgan. Har bir domen kichik magnit hisoblanadi; vektorlar magnitlanish yoʻnalishini koʻrsatadi, yani vektor uchi N qutb boʻladi. Doimiy magnitda (61.b rasm) domenlar bir yoʻnalishda tartiblangan buladi. Magnit magnitlanmagan temir parchasidan kuchli magnit maydonda joylashtirish orqali tayyorlanadi.

Temir magnit uzoq vaqt magnitlangan holatda saqlanadi va “doimiy magnit” deb aytiladi. Lekin, agar siz magnitni polga tashlam yuborsangiz yoki uni bolgʻa

bilan ursangiz, siz domenlarni tartiblantirasiz va magnit magnetizmning hammasini yoki bir qismini yo`qotadi. Doimiy magnitni qizdirish magnetizmning yo`qolishiga sabab bo`ladi, temperatura oshgani uchun tartibsizlanishga intilgan domen atomlarning tasodifiy issiqlik harakati oshadi. Yuqorida takidlangan temperatura Kure temperaturasi (temir uchun 1046 K) deyiladi, bu holatda magnit maydon yo`qoladi.

**Tokli konturni magnit maydonda ko`chirishda bajarilgan ish.**  $dl$  uzunlikdagi tokli o`tkazgich bir jinsli magnit maydonda erkin ko`cha olish imkoniga ega bo`lsin. Bunday tajribani amalga oshirish uchun ikki metall sterjenni tok manbaiga ulaylik. Sterjenlar ustiga ko`ndalang qilib joylashtirilgan  $dl$  uzunlikdagi o`tkazgichdan konturning qo`zg`aluvchi qismi sifatida foydalanish mumkin.

Bu tokli o`tkazgichga chizma tekisligiga perpendikulyar ravishda yo`nalgan magnit maydon tomonidan ta`sir etuvchi Amper kuchining qiymati:

$$dF = IBdl \quad (119)$$

bo`ladi. Bu kuchning yo`nalishi dl elementning kuchi yo`nalishi bilan mos tushganligi uchun bajarilgan ish

$$dA = dF \cdot b = IBdl \cdot b \quad (120)$$

Bu ifodadagi dF – kontur yuzining dS o`zgarishi tufayli kontur yuzini teshib o`tayotgan magnit oqimining o`zgarishidir.

$$dA = I(dF_2 - dF_1) \quad (121)$$

Magnit maydonda tokli berk konturni ko`chirishda bajarilgan ish, shu konturdan o`tayotgan tok kuchi (I) bilan kontur yuzi orqali o`tuvchi magnit oqim o`zgarishi $(dF_2 - dF_1)$ ning ko`paytmasiga teng bulib, bu munosabat ixtiyoriy shakldagi tokli berk konturning har qanday magnit maydondagi turli ko`chishlari uchun ham o`rinli.

Nazorat savollari

1. Magnit maydonning tokli o`tkazgichga ta`siri. Amper kuchi.
2. Tokli o`tkazgichni magnit maydonda ko`chirishda bajarilgan ish.
3. Magnit maydonni tokli o`tkazgichga ta`sir kuchi momenti.
4. Tokli o`tkazgichninglarning o`zaro ta`siri.
5. Tokli o`tkazgichning magnit maydonda aylanish tezligi
6. Magnit maydonni zaryadlangan zarraga ta`siri. Lorens kuchi.
7. Xoll effekti

**Elektromagnit induksiya. Faradey va Lens qonuni Magnit maydon energiyasi.
Elektromagnit maydon uchun Maksvell tenglamalari. Elektromagnit
to'liqlar. Tebranish konturi**

Zanjirda elektr toki mavjud bo'lishi uchun E.YU.K. bo'lishi kerak. Shuning uchun induksion tokning paydo bo'lishi konturda ma'lum induksiya elektr yurituvchi kuch paydo bo'lishini ko'rsatadi. Faradey tajribalari natijalarini analiz qilib, ingliz fizigi Jeyms Maksvell yopiq konturda paydo bo'layotgan induksiya elektr yurituvchi kuchi kontur orqali o'tayotgan magnit induksiyasi oqimining o'zgarish tezligiga teng degan hulosaga keldi, ya'ni

$$E_{ind} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Bu Faradey-Maksvell qonuni bo'lib, elektromagnit induksiyaning asosiy qonunining matematik ifodasidir.

O'zinduksiya hodisasi. Istalgan konturdan oqayotgan elektr toki I shu kontur-
ni kesib o'tuvchi magnit oqimi F ni vujudga keltiradi. Agar I o'zgarsa F ham
o'zgaradi, demak konturda E.YU.K. hosil bo'ladi. Bu hodisa o'zinduksiya hodisasi
deyiladi. Konturda o'tayotgan tok tufayli vujudga kelayotgan magnit oqimi tok ku-
chiga proporsional, ya'ni

$$\Phi = LI$$

Buni elektromagnit induksiyaning asosiy qonunini ifodasiga qo'ysak, quyidagi
hosil bo'ladi:

$$\varepsilon_{ind} = \frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$$

Demak, o'zinduksiya E.YU.K. tokning o'zgarish tezligiga proporsional bo'lib, in-
duktivligi 1 Genri bo'lgan konturdan o'tayotgan tok kuchi 1 sek. da 1 Amperga
o'zgarsa, konturda 1 Volt o'zinduksiya e.yu.k. vujudga keladi.

Magnit maydon energiyasi. Qarshiligi R , induktivligi L bo'lgan solenoid
E.YU.K e bo'lgan tok manбайдan iborat zanjirni ko'rib chiqaylik. Avval solenoid
 L ni batareya e ga ulaymiz. Zanjirda I tok hosil bo'lib, solenoid atrofida magnit
maydoni hosil bo'ladi. Agar solenoidni batareyadan uzib uni R qarshilikka ulasak,
hosil bo'lgan zanjirda bir qancha vaqt davomida kamayib boruvchi tok o'tib tura-
di. Bu tokni dt vaqtda bajargan ishi

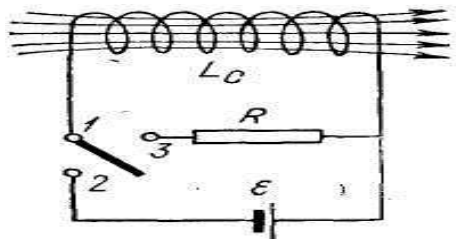
$$dA = \varepsilon Idt = - \frac{d\Phi}{dt} Idt = -Id\Phi$$

bunda
u holda

$$d\Phi = LdI$$

$$dA = -LIdI$$

Zanjirda magnit maydoni yo`qolayotgan vaqt davomida bajarilgan ish



$$A = -\int_I^0 LIdI = \frac{LI^2}{2}$$

62 -rasm

Bu ish bajarilganda solenoid bilan bog`liq bo`lgan magnit maydon yo`qoladi. Demak magnit maydon energiyasi

$$W_M = \frac{LI^2}{2}$$

ifoda bilan aniqlanishi lozim. Ma`lumki solinoidning induktivligi  $L = \mu_0 n^2 V$ , solinoid o`zagidagi magnit maydon kuchlanganligi $H = In$, bundan L va I larni bu ifodalarini hisobga olib (3) ni quyidagi ko`rinishda yozish mumkin.

Elektromagnit maydonni vujudga kelishi. Maksvell siljish toki tushunchasini qo`llab XIX asr ohirlarida elektromagnit maydon nazariyasini yaratdi. Bu nazariya ikki postulatga asoslanadi.

1. O`zgaruvchan magnit maydon tufayli uyurmaviy elektr maydon vujudga keladi (elektromagnit induksiya hodisasi).
2. O`zgaruvchan elektr maydon tufayli uyurmaviy magnit maydon vujudga keladi (magnito-elektrik induksiya hodisasi).

Kondensator plastinkalari orasida o`zgaruvchan elektr maydon vujudga keltiraylik, yuqoridagi postulatlarga asosan, birlamchi elektr maydon kuchayib borayotgan vaqtda o`zgaruvchan elektr maydonni vujudga keltiradi. Vujudga kelgan o`zgaruvchan magnit maydon o`z navbatida uyurmaviy elektr maydonni vujudga keltiradi. Demak, elektr maydon magnit maydonni, magnit maydon esa elektr maydonni vujudga keltiradi va hakazo. Shu tariqa fazoda bir-birini vujudga keltiruvchi elektr va magnit maydonlar ketma-ket sodir bo`laveradi. Bu maydonlar o`zaro bir-biri bilan uzviy bog`langanligi uchun umumiy maydonni elektromagnit maydon deb ataladi. Tabiatda «sof» elektr maydon yoki «sof» magnit maydon sodir bo`lmaydi. Chunki agar bir sanoq tizimidagi kuzatuvchi qo`zsalmas elektr zaryad tufayli vujudga kelayotgan elektr maydonni qayd qilsa, bu tizimga nisbatan harakatda bo`lgan ikkinchi sanoq tizimidagi kuzatuvchi uchun zaryad harakatlanayotgan bo`ladi.

Demak «sof» maydon tushunchasi nisbiy harakterga ega. Biror sanoq tizimidagi «sof» elektr maydon yoki sof magnit maydon boshqa sanoq tizimida elektr va magnit maydonlar yig'indisi, ya'ni elektr magnit maydon tarzida namoyon bo'ladi.

Elektromagnit maydon uchun Maksvell tenglamalari. Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasi asosini uning nomi bilan ataladigan to'rtta tenglama tashkil etadi. Qo'zg'almas zaryad q o'z atrofidagi fazoda elektr maydon vujudga keltiradi. Bu maydon potensial maydondir. Ma'lumki potensial kuchlarning yopiq yo'lda bajargan ishi nolga teng. Shuning uchun bu maydon kuchlanganlik vektori E_q ning ixtiyoriy berk kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi nolga teng

$$\oint_e E_{qe} dl = 0$$

Elektr maydon fazoning vaqt davomida o'zgarib turuvchi magnit maydon mavjud bo'lgan barcha nuqtalarida ham vujudga keladi. Bu maydon uyurmaviy elektr maydondir. Uyurmaviy elektr maydon kuchlanganligi E_V ning chiziqlari doimo berk.

E_V Vektorining ixtiyoriy berk kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi noldan farqli bo'lib quyidagiga teng

$$\oint_e E_{B_l} dl = - \int_S \left(\frac{\partial B}{\partial t} \right)_n dS$$

Shuning uchun natijaviy elektr maydon kuchlanganligini $E = E_q + E_B$ deb belgilab,

$$\text{quyidagini hosil qilamiz: } \oint_e E_e dl = \oint_e E_{q_l} dl + \oint_e E_{B_l} dl = - \int_S \left(\frac{\partial B}{\partial t} \right)_n dS$$

Bu ifoda Maksvellning birinchi tenglamasi bo'lib elektr maydonning faqat elektr zaryadlarigina emas, balki vaqt bo'yicha o'zgaruvchi magnit maydoni ham hosil qilishini ko'rsatadi.

2). Ma'lumki magnit maydon kuchlanganlik vektorining ixtiyoriy berk kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi shu kontur o'rab olgan barcha makroskopik toklarning algebraik yig'indisiga teng, ya'ni

$$\oint_e H_e dl = \Sigma I = \int_S j dS$$

Umumiy holda magnit maydon o'tkazuvchanlik toki va siljish toki tufayli vujudga kelgan magnit maydonlarning yig'indisidan iborat, ya'ni

$$j_{\text{тўли}} = j_{\text{ўтк}} + I_{\text{силл}} \quad I_{\text{силл}} = \frac{\partial D}{\partial t}$$

buni e'tiborga olib, magnit maydon kuchlanganlik vektorining ixtiyoriy berk kontur bo'yicha sirkulyasiyasi uchun quyidagini hosil qilamiz:

$$\oint_e H_e dl = \int_S \left(I_{ymk} + \frac{\partial D}{\partial t} \right) dS$$

Bu ifoda magnit maydonini faqat o'tkazuvchanlik toki emas, balki o'zgaruvchan elektr maydoni ham hosil qilishini ko'rsatadi.

3. Elektr induksiya vektori D ning ixtiyoriy berk sirt orqali oqimi shu sirt ichidagi barcha erkin zaryadlarning algebraik yig'indisiga teng

$$\oint_S D_n dS = \sum q$$

Berk sirt ichida uzluksiz ravishda joylashgan zaryadlarning hajmiy zichligini ρ bo'lsa, u holda yuqoridagi ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$\oint_S D_n dS = \int_V \rho dV$$

Bu Maksvellning uchinchi tenglamasi.

4. Magnit maydon qanday usul bilan vujudga keltirilganligidan qat'iy nazar magnit induksiya chiziqlari doimo berk bo'ladi.

$$\oint B_n dS = 0$$

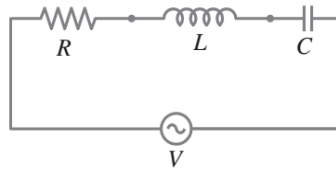
Bu ifoda magnit maydon induksiya vektori uchun Gauss teoremasi bo'lib, Maksvellning to'rtinchi tenglamasi deb yuritiladi.

Maksvell tenglamalari Nyuton va termodinamikaning bosh qonunlari kabi katta ahamiyatga egadir.

Elektromagnit tebranishlar. Tebranish konturi. Elektromagnit tebranishlarni kuzatish uchun elektr tebranish konturidan foydalaniladi. Bunda elektr maydon energiyasi magnit maydon energiyasiga va aksincha magnit maydon energiyasi elektr maydon energiyasiga aylanishi imkoniga ega bo'ladi. Elektr maydon kondensator qoplamalari orasida, magnit maydon esa induktivligi L bo'lgan solenoid yordamida vujudga keltiriladi.

Kondensatorni tok manbaiga ulasak, qoplamalar orasida energiyasi $W = \frac{q^2}{2C}$ ga teng bo'lgan elektr maydoni hosil bo'ladi.

Kondensatorni tok manбайдan uzib, L g`altakka ulasak kondensator razryadlanaboradi, g`altak atrofida esa magnit maydoni vujudga keladi. Magnit maydon energiyasi $W = \frac{1}{2}LI^2$



63 -rasm

Bu jarayon davomida kondensator qoplamalaridagi q zaryad, kondensatoridagi U kuchlanish va g`altak o`tuvchi I tok kuchi davriy o`zgarib turadi, ya`ni tebranadi. Tebranishda elektr va magnit maydoni energiyalari o`zaro almashinib turadi. Bunday tebranishlar elektromagnit tebranishlar deyiladi.

Vaqt o`tishi bilan kondensator qoplamalari orasidagi kuchlanish, kondensatordagi zaryad miqdori va g`altak orqali o`tuvchi tok kuchi garmonik qonun bilan o`zgaradi. Bu tebranishlarning siklik chastotasi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

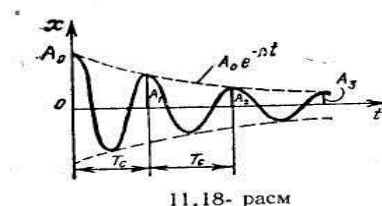
So`nuvchi elektromagnit tebranishlar. har qanday real tebranish konturi aktiv qarshilikka ega bo`ladi. Shuning uchun kondensatorning razryadlanish jarayonida elektr maydon energiyasining faqat bir qismi magnit maydon energiyasiga aylanadi, huddi shuningdek, kondensatorni qayta zaryadlanishda magnit maydon energiyasining bir qismi elektr maydon energiyasiga aylanadi, qolgan qismlari esa aktiv qarshilikda Joule issiqlik sifatida ajralib chiqadi.

Tebranishlar so`nuvchi bo`lganda kondensatordagi zaryadning tebranish qonuni va konturning tebranish chastotasi mos ravishda quyidagi ifodalar bilan beriladi:

$$q = q_m \cdot e^{-\beta t} \cos(\omega_c t + \varphi)$$

$$\omega_c = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

Bu erda, ω_c so`nuvchi tebranishlarning siklik chastotasi deb ataladi.



64-rasm

O`zgaruvchan tok. Kvazistasionar toklar.

Om qonuni hamda undan kelib chikadigan Kirhgof qonunlari o`zgarmas tok uchun aniklangan edi. Lekin ular o`zgarish tezligi juda tez bo`lmagan o`zgaruvchan tok va kuchlanishning oniy qiymati uchun to`g`riligicha qoladi. Elektromagnit g`alayonlar zanjir bo`ylab yorug`lik tezligida tarqaladi. Agar g`alayonlanishni zanjirning eng uzoq nuqtasiga uzatish uchun zarur bo`lgan vaqt ichida tok kuchi juda kam o`zgarsa, u holda tok kuchining oniy qiymati zanjirning butun kesimi buylab amalda birday bo`ladi. Shunday shartlarga buysunadigan toklar kvazistasionar toklar deyiladi. Davriy o`zgaradigan toklar uchun kvazistasionarlik sharti quyidagicha yoziladi:

$$\tau = \frac{l}{c} \ll T,$$

bu erda T- uzgarish davri.

Zanjir o`lchami tahminan 3 m bo`lganda $T=10^{-8}$ sek bo`ladi. Shunday qilib, tebranish davri $T \approx 10^{-6}$ sek (bu 106 gc chastotaga mos keladi) bulgunga qadar bunday zanjirdagi tokni kvazistasionar tok deyish mumkin. Sanoat chastotasidagi ($\omega = 50$ gc) tok ~ 100 km uzunlikdagi zanjir uchun kvazistasionardir.

Kvazistasionar toklarning oniy qiymatlari Om qonuniga buysunadi. Bino-barin, bu toklar uchun Kirhgof qoidalari ham urinlidir.

Induktivlik va sigimga ega bulmagan R qarshilikning (bunday qarshilikni, odatda aktiv karshilik deyiladi) ikki uchiga $U = U_m \cos \omega t$

qonun buyicha o`zgaruvchi kuchlanish berilgan bo`lsin, bunda U_m - kuchlanishning amplituda qiymati. Kvazistasionarlik sharti bajarilganda karshilikdan utayotgan tok Om qonuni buyicha topiladi:

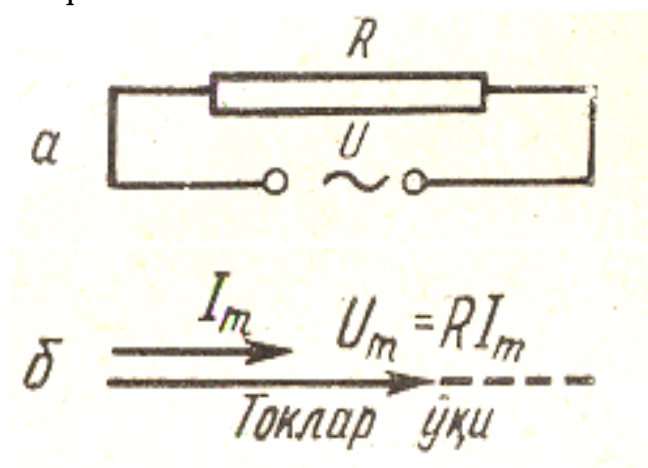
$$i = \frac{U}{R} = \frac{U_m}{R} \cos \omega t = I_m \cos \omega t.$$

Shunday qilib, tok kuchi va kuchlanishning amplituda qiymatlari orasida quyidagicha munosabat mavjud:

$$I_m = \frac{U_m}{R}.$$

Agar o`zgaruvchan tok va kuchlanishni vekgor diagrammalar yordamida tasvirlasak (huddi garmonik tebranishlarda qilingani kabi ular orasidagi munosabat yanada yaqqolroq ko`rinadi. Ihtiyoriy yunalish tanlaymiz va bu yunalishni toklar

deb ataymiz (116 - b rasm) - Shu yunalish buyicha I_m uzunlikdagi tok vektorini joylashtiramiz. Qaralayotgan holda tok va kuchlanish sinfaz uzgargani sababli kuchlanish vektori ham toklar uki yunalishida buladi; uning uzunligi $R I_m$ ga teng bo`ladi. Tok yoki kuchlanish vektorlarining yigindisi ushbu zanjirning vektor diagrammasini tashkil qiladi.

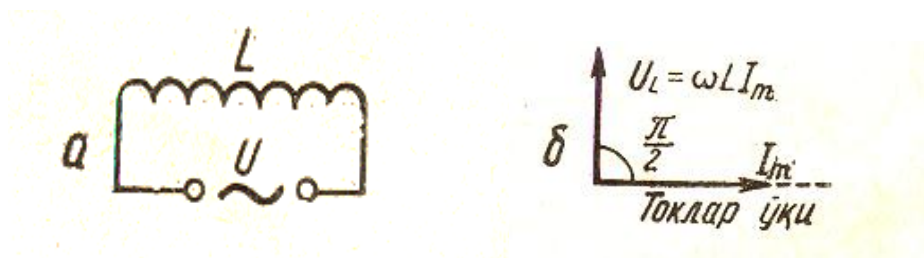


116-rasm

Induktiv galtakdan o`tuvchi o`zgaruvchan tok

Qarshiligi va sigimi hisobga olmaydigan darajada kichik bulgan L induktivlikning (masalan, galtakning) uchlariga o`zgaruvchan kuchlanish beraylik .

Induktivlikdan o`zgaruvchan tok o`ta boshlaydi, natijada galtakda uzinduksiya e. yu. k. hosil bo`ladi .



O`zgaruvchan tok zanjirida induktiv g`altak

$$\varepsilon_s = -L \frac{di}{dt}$$

(L induktivlik i tokka bog`liq emas deb faraz qilamiz). Om qonuni tenglamasi quyidagicha yoziladi ($R = 0$, potentsiallar farqi U ga teng, $E_{12} = E_s$):

$$U_m \cos \omega t - L \frac{di}{dt} = 0,$$

bundan

$$L \frac{di}{dt} = U_m \cos \omega t.$$

Qaralayotgan holda tashqi kuchlanishning hammasi L induktivlikka quyilgan. Demak,

$$U_L = L \frac{di}{dt}$$

kattalik induktivlikdagi kuchlanish tushishidir.

tenglamani $di = \frac{U_m}{L} \cos \omega t dt$ ko'rinishida yozamiz. Buni integrallasak,

$$i = \frac{U_m}{\omega L} \sin \omega t + \text{Const}$$

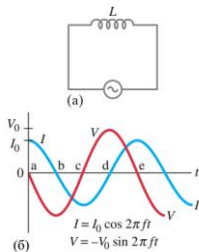
Ravshanki, tokning o'zgarish tashkil etuvchisi yuk; shuning uchun $\text{const} = 0$. Shunday qilib,

$$i = \frac{U_m}{\omega L} \sin \omega t = I_m \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right),$$

$$\text{bunda } I_m = \frac{U_m}{\omega L}.$$

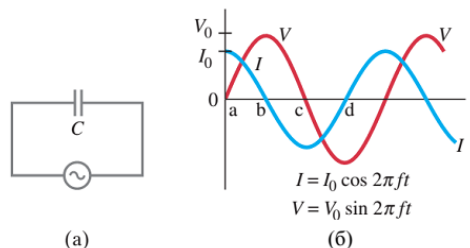
ohirgi ifodani Ohm qonuni bilan solishtirib quyidagini olamiz:

$$X_L = \omega L$$

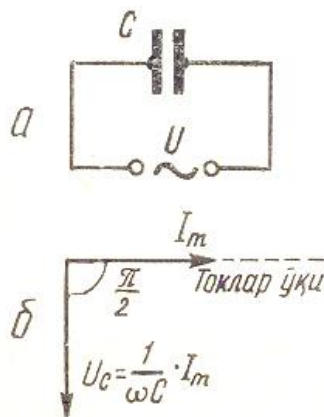


Bu kattalik reaktiv induktiv qarshilik yoki qisqacha induktiv qarshilik deb ataladi. Agar L ni genri hisobida, ω ni esa sek-1 hisobida olsak, X_L kattalik Ohm hisobida ifodalanadi. O'zgaruvchan tok zanjirida faqat induktiv g'altak bo'lganda, tok kuchi tebranishlari kuchlanish tebranishlaridan faza bo'yicha $\omega/2$ ga orqada qoladi.

O'zgaruvchan tok zanjirida faqat kondensator bo'lganda, tok kuchi tebranishlari faza bo'yicha kuchlanish tebranishlaridan $\omega/2$ ga oldinda yuradi.



O'zgarmas tok ($\omega=0$) uchun $x_c=\infty$. Shuning uchun o'zgarmas tok kondensatordan o'tolmaydi. O'zgaruvchan tok ($\omega\neq 0$) kondensatordan o'tadi, bunda kondensatorning sig'imi C qancha katta va tokning chastotasi ω qancha yuqori bo'lsa, tokka



ko'rsatiladigan qarshilik shuncha kam bo'ladi.

Kuchlanishlar rezonansi. Aktiv, sig'im va induktiv qarshiliklar o'zgaruvchan tok zanjiriga ketma-ket hollarda kuchlanishlar rezonansini kuzatish mumkin. Kuchlanishlar rezonansi kuzatilganda:

1. Tok kuchi va kuchlanish tebranishlari orasidagi fazalar farqi nolga teng bo'lib qoladi;
2. Zanjirning to'liq qarshiligi minimal qiymatga erishadi;
3. Kondensator va induktiv g'altakdagi kuchlanish o'zining maksimal qiymatiga erishadi.

Nazorat savollari

1. Elektromagnit maydon nima?
2. Elektromagnit maydon uchun Maksvell tenglamalari.
3. Elektromagnit tebranishlar deb nimaga aytiladi?
4. Tebranish konturi.
5. Tomson formulasi.
6. So'nuvchi tebranishlar.
7. Majburiy tebranishlar.
8. Rezonans hodisasi.

OPTIKA

Yorug`likning tabiati. Yorug`lik interferensiyasi. Kogerent to`lqinlar. Yorug`lik difraksiyasi

XVII asrning oxirida yorug`likning tabiati haqida ikkita o`zaro qarama-qarshi nazariya maydonga keldi: bulardan birinchisi, Nyuton yaratgan **korpuskulyar nazariya** va ikkinchisi, Gyuygensning to`lqin nazariyasidir. Yorug`likning korpuskulyar nazariyasiga binoan, yorug`lik juda katta tezlik bilan tarqaluvchi juda kichik moddiy zarrachalar (korpuskulalar) oqimidan iboratdir. Yorug`likning rang taosiri korpuskulalarning o`lchami bilan tushuntirilgan: eng yirik korpuskulalar qizil rangli nurni, eng maydalari esa binafsha rangli nurni hosil qiladi.

Yorug`likning to`lqin nazariyasiga muvofiq yorug`lik elastik muhitdan iborat bo`lgan fazoda katta tezlik bilan tarqaluvchi to`lqindan iborat. Bu nazariyaga muvofiq yorug`likning qaytish va sinish qonunlari barcha to`lqinlar uchun o`rinli bo`lgan qonunlar asosida tushuntiriladi. Yorug`likning rangi uning to`lqin uzunligiga bog`liq. Qizil rangli nurning to`lqin uzunligi ( $\lambda_q=76\cdot 10^{-7}$  m) eng katta bo`lib, binafsha numiki esa ($\lambda_b=38\cdot 10^{-7}$ m) eng kichik. Har ikkala nazariyaga ham baozi yorug`lik hodisalariga oid qonuniyatlarni masalan, yorug`likning qaytish va sinish qonunlarini qoniqarli tushuntirib berdi. Biroq, yorug`likning interferensiyasi, difraksiyasi va qutblanishi singari hodisalarni bu nazariyalar tushuntira olmadi.

XVIII asrning oxirigacha ko`pchilik fiziklar Nyutonning korpuskulyar nazariyasini afzal ko`rib keldilar. XIX asr-ning boshlarida ingliz fizigi Yung va Frenelpning tadqiqotlari tufayli to`lqin nazariya ancha rivojlandi. Gyuygens – Yung - Frenel to`lqin nazariyasi o`sha vaqtda ma`lum bo`lgan barcha yorug`lik hodisalari, shu jumladan, yorug`likning interferensiyasi, difraksiyasi va qutblanishini ham muvaffaqiyatli tushuntirib berdi. 1873 yilda ingliz olimi Maksvell yorug`lik bo`shliqda  $s=3\cdot 10^8$  m/s tezlik bilan tarqaluvchi elektromagnit to`lqindan iborat ekanligini nazariy asoslab berdi. Shunday qilib, yorug`likning elektromagnit to`lqin nazariyasi yaratildi. Bu nazariya G.Gers tajribalarida tasdiqlandi. Yorug`likning tabiati haqidagi to`lqin nazariya rivojlanib, yorug`likning elektromagnit nazariyasiga aylandi.

Biroq XIX asrning oxiriga kelib, to`lqin nazariya bilan tushuntirib bo`lmaydigan tadqiqotlar – fotoeffekt, Kompton effekti, absolyut qora - jismlarning issiqlik nurlanishi va boshqa hodisalar paydo bo`ldi. Ularni 1905 yilda Eynshteyn tomonidan yaratilgan **yorug`likning kvant nazariyasi** tushutirib berdi. Shunday qilib, yorug`likning tabiati haqida yangi nazariya – **kvant nazariyasi** maydonga keldi. Kvant nazariyasi ma`lum maonoda Nyuton korpuskulyar nazariyasini qayta

tikladi. Biroq, fotonlar korpuskulalardan farq qiladi: barcha fotonlar yorug`lik tezligiga teng tezlik bilan harakatlanadi va foton tinch holatda massaga ega emas. Keyinchalik kvant nazariyasi ham Bor, Shredinger, Dirak va boshqa olimlar tomonidan yanada rivojlantirildi.

Shunday qilib, (elektromagnit) to`lqin va korpuskulyar (kvant) nazariya bir-birini rad etmaydi, balki bir-birini to`ldiradi, bu bilan yorug`lik hodisalarining **ikki yoqlama xarakterini** aks ettiradi.

Yorug`likning tabiati

Optika grekcha "opticos" - ko`raman, degan so`zdan olingan bo`lib, fizikaning bu bo`limida yorug`likning tabiati, yorug`lik hodisalaridagi qonuniyatlar va yorug`lik bilan moddalarning o`zaro ta`siriga doir jarayonlar o`rganiladi.

Jismga tushayotgan yorug`lik nuri unda turli hil o`zgarishlarni ivujudga keltiradi. Masalan: jismni isishi, bo`yalgan jismlar ranglarini o`zgarishi, kimyoviy reaksiyalarni vujudga kelishi va hakazo. Bularni hammasi yorug`likni energiyatashishini ko`rsatadi. Fazoda energiyani yo harakatlanayotgan jismlar, yo muhitda tarqalayotgan to`lqinlar ko`chirishi mumkin bo`lgani tufayli yorug`lik nurlanishi yo mayday zarralar oqimi, yo biror muhitdagi to`lqin jarayonidan iborat bo`lishi mumkin.

Fotometrik kattaliklar. Optikaning yorug`lik manbalarining xarakteristikasilari yorug`lik nurlanishi bilan energiyaning ko`chishi va sirtlarning yoritilganligini o`rganadigan qismi fotometriya deyiladi.

Xar qanday yorug`lik nurlanishi yorug`lik energiyasi bilan xarakterlanadi. Yorug`lik energiyasi yorug`lik oqimi, ravshanlik, yorinlik yorug`lik kuchi va yoritilganlik deb ataluvchi fizik kattaliklar bilan xarakterlanadi.

Yorug`lik oqimi: yorug`lik manbaining nurlanish oqimi deb, vaqt birligi ichida hamma yunalishda nurlanayotgan yorug`lik energiyasiga miqdor jixatdan teng bo`lgan fizik kattalikka aytiladi, ya`ni

$$\Phi = \frac{W}{t}, \text{ W-yorug`lik energiyasi}$$

Biror sirtga tushay otgan nurlanish oqimi shu sirtning S yuziga uning fazodagi va vziyatiga va nurlanish manbaigacha bo`lgan masofaga bog`liq.

Yorug`lik kuchi: Manbaning yorug`lik kuchi deb bir birlik fazoviy burchak ostida chiqayotgan yorug`lik oqimiga miqdor jihatdan teng bo`lgan fizik kattalikka aytiladi

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \text{ -fazoviy burchak}$$

SI tizimida yorug`lik kuchining birligi kandela (lotincha sham demakdir).

Yorug`lik oqimining SI tizimidagi o`lchov birligi

$$[\Phi]=[I]\cdot[\Omega]=1\text{kd}\cdot1\text{crp}=1\text{ lyumen}$$

1 lyumen deb, yorug`lik kuchi 1kandelaga teng bo`lgan nuqtaviy yorug`lik manbaidan 1steradian fazoviy burchak ostida nurlanadigan yorug`lik oqimiga aytiladi.

Yorug`lik manbaining ravshanligi  $R$  deb, manba sirtining yuza birligiga perpendkulyar yo`nalishda chiqayotgan yorug`lik kuchiga miqdor jixatdan teng bo`lgan fizik kattalikka aytiladi, $R=\frac{I}{S}$

Inson ko`zi qayd qiladigan eng kam ravshanlik  $10^{-6}\text{kd/m}^2$ . Ravshanlik  $10^5\text{kd/m}^2$  dan ortiq bo`lsa, ko`zda og`riq seziladi va ko`z zararlanishi mumkin.

Yoritilayotgan sirtning bir birlik yuzaga mos kelgan yorug`lik oqimiga miqdor jihatdan teng bo`lgan fizik kattalikka yoritilganli deyiladi.

$$E=\frac{\Phi}{S}$$

Birligi lyuks. 1 lyuks deb, har bir kvadratmetriga 1 lyumenyorug`lik oqimi tekis tushgan sirtining yoritilganligiga aytiladi. Nuqtaviy yorug`lik manbai hosil qilayotgan sirtning yoritilganligi yorug`lik kuchi 1ga va manbadan sirtgacha bo`lgan masofaga bog`liq bo`ladi. Agar nuqtaviy yorug`lik manbai sferaning markazida bo`lsa, bu sferaning $S=4\pi R^2$ yuziga teng bo`lgan ichki sirtining yoritilganligi/

$$E_0=\frac{\Phi}{S}=\frac{4\pi I}{4\pi r^2}=\frac{I}{r^2}$$

Bu yoritilganlikning birinchi qonunini matematik ifodasi bo`lib unga asosan sirtning yoritilganligi manbaning yorug`lik kuchiga to`g`ri proporsional bo`lib manbadan yoritilayotgan sirtgacha bo`lgan masofaning kvadratiga teskari proporsionaldir.

Yoritish texnikasida o`qish, chizish, tikish va xakoza ishlar uchun korhonaning ma`lum bir tekisligi yoki ma`lum bir joyida yoritilganlik qanday bo`lishi, kerak masala juda muximdir.

Mexnat muhofazasi inspeksiyasining yo`l - yo`riqlarida korhonaning kerakli yoritilganligi Lyukslar hisobida aniqlab beriladi.

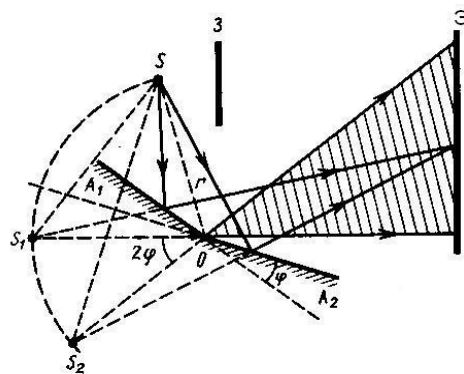
Yorug`lik to`lqinlarini monohromatikligi va kogerentligi. Bir hil to`lqin uzunlikka ega bo`lgan (bir hil chastotali) ya`ni bir hil rangdagi yorug`lik nuri monohromatik nur deyiladi.

Tebranish chastotalari bir hil bo`lib, fazalar ayirmasi o`zgarmas bo`lgan yorug`lik to`lqinlar kogerent to`lqinlar deyiladi. Har hil atom boshqa atomlarga bog`liq bo`lmagan holda kogerent nurlanishchi qaradi. Alohida atomning nurlanish chiqarish vaqti 10^{-8} sekund chamasi davom etadi. To`lqinlar tizmasining uzunligi  $L$  yorug`lik to`lqinlarning tezligi  $c$  ni atomning nurlanish vaqti  $\tau = 10^{-8}$  c ga ko`paytmasiga teng.

$$L = c \cdot \tau = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 10^{-8} \text{ s} = 3 \text{ m}$$

L ni kogerentlik masofasi, atomning nur chiqarib turish vaqti t esa kogerentlik vaqti deyiladi. Kogerent manbalarni hosil qilishning ko`p tarqalgan ikki usuli mavjud

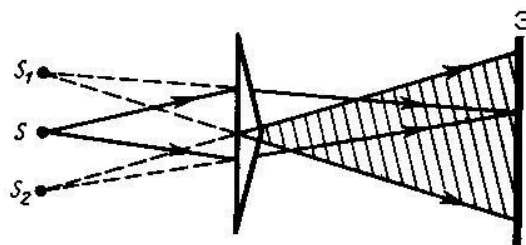
**Frenel ko`zgulari.** 1. Bir-biriga yondashgan ikkita yassi OM va ON ko`zgular shunday joylashganki, ularning qaytaruvchi sirtlari 180° ga yaqin burchak hosil qiladi. Shuning uchun α burchak juda kichikdir



1-rasm.

1. Frenel biprizmasi. Bir butun shishi bo`lagidan umumiy asosga ega bo`lgan ikkita prizma yasalgan bo`lib, ularning sindirish burchagi 0 juda kichik

$$s_2^2 - s_1^2 = 2xd,$$



2-rasm.

Yorug`lik interferenciyasi. Yorug`lik murakkab hodisadir: ba`zi hollarda u o`zini elektromagnit to`lqin kabi tutadi, boshqa hollarda esa, mahsus zarralar(fotonlar) oqimi kabi tutadi. Dastlab yorug`likning to`lqin tabiati bilan bog`liq bo`lgan hodisalarni ko`rib chiqamiz.

Ma`lumki elektromagnit to`lqinda to`lqin tarqalishiga perpendikulyar yo`nalishida ikki vektor- elektrmaydon kuchlanganligi (E) va magnet maydon kuchlanganligi vektorlari (H) tebranadi. Tajribalar ko`rsatadiki, yorug`likning fiziologik foto kimyoviy, foto elektrik va boshqa tasirlarini elektr vektorning tebranishlari vujudga keltiradi. Shuning uchun yorug`lik vektori haqida gapirganimizda asosan elektrmaydon kuchlanganligi vektorini ko`zda tutamiz. Yorug`lik vektori amplitudasi modulini  $A$  harfi bilan belgilaymiz. Bir hil chastotali ikkita to`lqin qo`shilganda fazoning biror nuqtasida bir hil yo`nalgan

$$x_1 = A_1 \cos(\omega t + \alpha_1)$$

$$x_2 = A_2 \cos(\omega t + \alpha_2)$$

Tebranishlarni uyg'otyapti, deb faraz qilaylik berilgan nuqtadagi natijaviy tebranish amplitudasi quyidagi formuladan topiladi

$$A^2 = A_1^2 + 2A_1A_2 \cos(\alpha_2 - \alpha_1)$$

To'lqinlar kogerent bo'lmaganda $\alpha_2 - \alpha_1$ uzluksiz ravishda o'zgaradi va har qanday qiymatni bir hil ehtimol bilan qabul qila oladi. Shu sababli $\cos(\alpha_2 - \alpha_1)$ ning vaqt bo'yicha o'rtacha qiymati nolga teng. Bu holda

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2$$

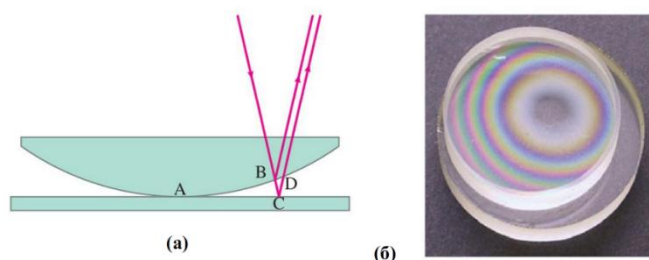
Yorug'lik intensivligi 1 (ya'ni to'lqinining tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar maydonchanning yuza birligi orqali o'tadigan vaqt bo'yicha o'rtacha Yorug'lik oqimi) Yorug'lik to'lqini amplitudasining kvadratiga proporsional $I \sim A^2$ bo'lgani uchun kogerent to'lqinlar ustma-ust tushgandagi intensivligi har bir to'lqin alohida hosil qiladigan intensivliklarni yig'indisiga teng bo'ladi, degan hulosaga kelimiz.

$$I = I_1 + I_2$$

to'lqinlar kogerent bo'lganda $\cos(\alpha_2 - \alpha_1)$ ning qiymat vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi, lekin fazoning har bir nuqtasida o'z qiymati bo'ladi, ya'ni

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\alpha_2 - \alpha_1)$$

fazoning qaysi nuqtalari uchun $\cos(\alpha_2 - \alpha_1) > 0$ bo'lsa I o'sha joylarda $I_1 + I_2$ dan va qaysi nuqtalarida $\cos(\alpha_2 - \alpha_1) < 0$ bo'lsa, I o'sha joylarda $I_1 + I_2$ dan kichik bo'ladi. Shunday qilib monohoramatik kogerent Yorug'lik to'lqinlari ustma-ust tushganda Yorug'lik oqimining fazoda qayta taqsimlanishi ro'y beradi, natijada fazoning



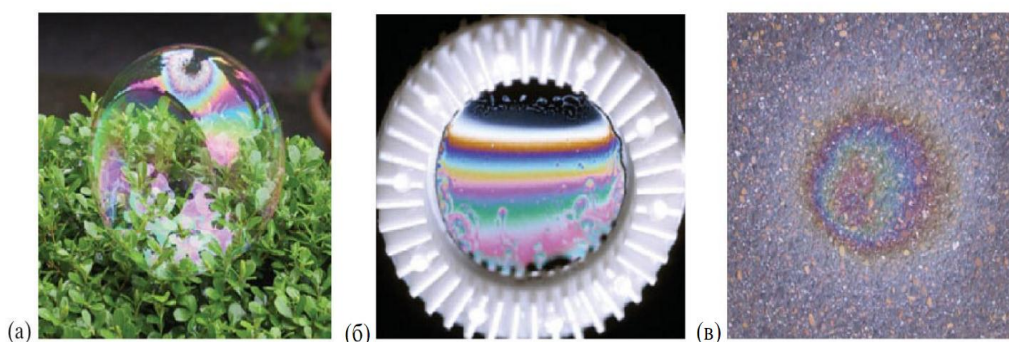
3-rasm

ba'zi joylarida intensivlikning maksimumlari (yorug' soha) boshqa joylarda - minimumlari (qorong'u soha) vujudga keladi. Bu hodisa Yorug'lik interferensiyasi deb ataladi.

$I_1=I_2$ bo'lganda to'lqinlar interferensiyasi aynisa yaqqol ro'yobga chiqadi.

Ikki nurdan kuzatiladigan interferensiyon manzara. Yorug'likning tabiiy manbalari nokogerent bo'ladi. Bir manbadan chiqayotgan to'lqinni ikki qismga ajratib (Yorug'likning qaytishi yoki sinishi yordamida), Yorug'likning kogerent to'lqinlarini hosil qilish mumkin. Agar bu ikki to'lqinni harhil optikaviy yo'llarni bosib o'tishga majbur qilsak, so'ng ularni bir-biriga ustma-ust tushirsak, interferensiya kuzatiladi.

Agar qo'shiluvchi to'lqinlarning yo'llar farqi butun to'lqin uzunligiga karrali bo'lsa, bunday nuqtalarda interferensiyon maksimum kuzatiladi. Agar qo'shiluvchi to'lqinlarning yo'llar farqi toq to'lqin uzunligiga karrali bo'lsa, bunday nuqtalarda interferensiyon minimum kuzatiladi.



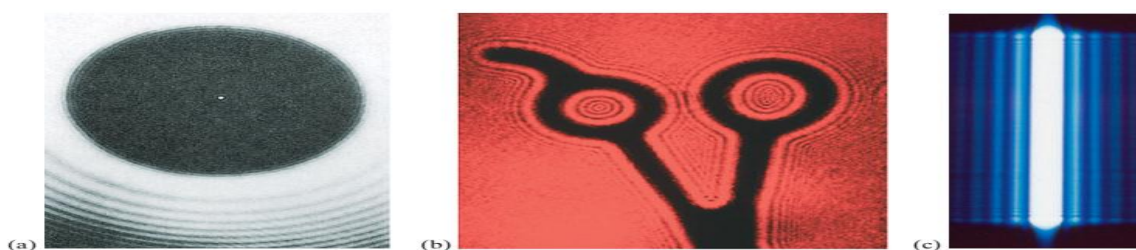
4-rasm

Yorug'lik difraksiyasi. Gyuygens prinsipi. Yorug'lik to'lqinlarining to'siqlarni aylanib o'tib geometrik soya sohasiga burilish hodisasi Yorug'lik difraksiyasi deyiladi. To'lqin uzunligi to'siq o'lchami bilan o'lchovdosh kattaliklar bo'lganda, ya'ni $\lambda \approx d$ da kuchli difraksiya kuzatiladi.

To'lqinlar difraksiyasi hodisasi Gyuygens prinsip yordamida tushuntirilishi mumkin. Gyuygens prinsipiga binoan to'lqin etib borgan har bir nuqta ikkilamchi to'lqinlar uchun markaz bo'lib hizmat qiladi, bu to'lqinlarning o'rab olgan egri chiziq keyingi momentdagi to'lqin frontining vaziyatini beradi. Frenel Gyuygens prinsipini ikkilamchi to'lqinlar interferensiyasi haqidagi tushuncha bilan to'ldirdi.

Difraksiya hodisasi ikki hil bo'ladi. Agar Yorug'lik manbai va kuzatish nuqtasi P nuqtaga boruvchi nurlar deyarli parallel dastani hosil qilsa, Fraungofer difraksiyasi yoki parallel nurlardagi difraksiya kuzatiladi. Aks ?olda Frenel difraksiyasi kuzatiladi.

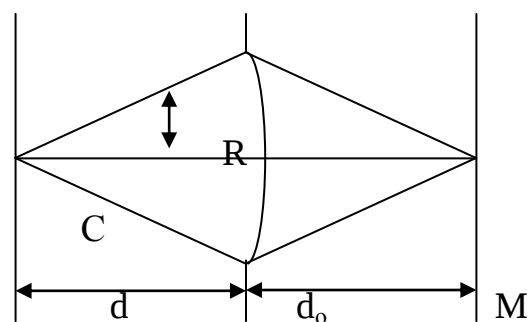
Doiraviy teshikdan hosil bo`ladigan Frenel difraksiyasi. Sferik Yorug`lik to`lqinining yo`liga R radiuslidoiraviy teshigi bo`lgan shaffof mas to`siq qo`yamiz.



5-rasm

Ekranni shunday joylashtiramizki, C Yorug`lik manbaidan tushirilgan perpendikulyar teshikning markaziga to`ri kelsin.

Teshikning R radiusi d va d_0 uzunliklardan juda kichik bo`lganda,  $d$  ni  $C$  manbadan to`siqqacha bo`lgan masofaga teng deb,  $d$  ni esa to`siqdan M nuqttagacha bo`lgan masofaga teng deb hisoblash mumkin. Agar d va d_0 masofalar



6-rasm

$$r_0 = \sqrt{ab \cdot \frac{m\lambda}{a+b}}$$

shartni qanoatlantirsa, teshik P nuqta uchun aniqlangan Frenel zonalaridan tўppa-tўғri birinchi m tasini ochiq qoldiradi. Ochiq Frenel zonalarining soni

$$m = \frac{r_0^2}{\lambda} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$$

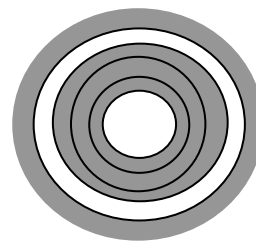
M nuqtadagi tebranish amplitudasi

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots + A_m$$

Frenel zonalarining soni - juft yoki toq son ochiq bo`lishiga harab,  $M$  nuqtaning o`zida intevsivlik maksimumga yoki minimumga erishadi. Misol uchun bu son 3

ga teng bo'lsin. U holda difraksiyon manzaraning markazida intensivlikning maksimumi hosil bo'ladi (rasm).

Demak doiraviy teshikdan hosil bo'ladigan difraksiyon manzara navbatma-navbat joylashgan yorug' va qoramtir konsentrik halalardan iborat bo'ladi. Manzaraning markazida yo yorug' (m-toq son), yo qora (m-juft) dog' bo'ladi.

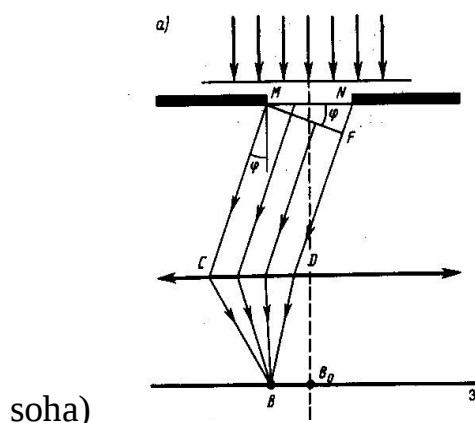


7-rasm

Tirqishdan hosil bo'ladigan Fraungofer difraksiyasi

Kengligi a ga teng bo'lgan BC tirqishga parallel nurlar dastasi tushayotgan bo'lsin. Tirqish uzunligi $1 \gg a$. Tirqish orasiga nurlarni bosh fokal tekislikda to'plovchi linza o'rnatilgan. Tirqishga etib keluvchi to'lqin frontining har bir nuqtasi barcha tomonga tarqaluvchi tebranishlarning manbaidir. Dastlabki yo'nalishdan φ burchakka burilib ketuvchi nurlar linzaning fokal tekisligidagi ekranning B nuqtasiga yig'iladi. B nuqtadagi interferensiyaning kattaligi MCB va NDB nurlar orasidagi Δ optik yo'l farqiga va Yorug'lik to'lqinining uzunligi λ ga bog'liq $MF/MN = \sin \varphi$ $NF = \Delta$ $MN = a$ u holda $\Delta = a \sin \varphi$ to'lqin sirtning ochiq qismini bir hil kenglikdagi $2k$ ta zonaga ajratish mumkin.

Agar zonalar soni juft bo'lsa, $a \sin \varphi = \pm 2k(\lambda/2)$ $k=0,1,2,3$ bo'lib difraksiya minimumlari kuzatiladi (qorong'i soha). Agar zonalar soni toq bo'lsa $a \sin \varphi = \pm (2k+1)\lambda/2$ $k=0,1,2,3, \dots$ difraksiya maksimumlari kuzatiladi (yorug' soha)



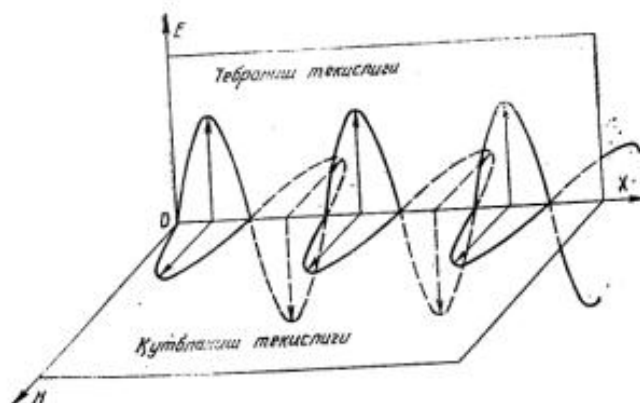
8-rasm.

Nazorat savollari

1. Monoxromatik nur.
2. Kogerent nur xaqida tushuncha.
3. Kogerent nurlarining hosil qilish usullari.
4. Yorug`lik interferensiyasi.
5. Optik yo`l uzunligi va farqi.
6. Interferensiya maksimum va minimum sharti.
7. Yupqa pardalarda interferensiya maksimum va minimum sharti.
8. Yorug`lik interferensiyasini qo`llanilishi.
9. Interferometrlar.
10. Ko`p nurli interferensiya qanday hosil qilinadi.
11. Yorug`lik difraksiyasi nima.
12. Difraksiya yuz berishi uchun qanday shart bajarilishi kerak.
13. Gyuygens prinsipi.
14. Frenel-Gyuygens prinsipi
15. Frenel zonalari.
16. Doiraviy teshikdan hosil bo`ladigan Frenel difraksiyasi.
17. Fraungofer difraksiyasi.
18. Bitta tirqishda kuzatiladigan difraksiya maksimum va minimum shartlari.

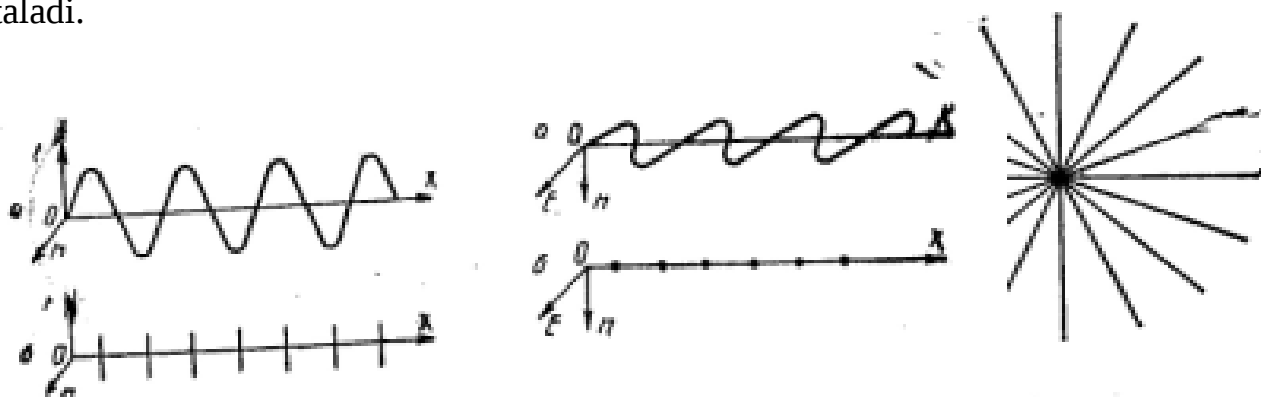
Yorug`likning qutblanishi. Yorug`likning qaytishida va sinishida qutblanish. Bryuster qonuni. Yorug`likning anizotrop muhit orqali o`tishi, ikkilanma nur sindirish. Vavilov-Cherenkov nurlanishi

Yorug`lik nurlari to`lqin uzunliklari ($0.40 \div 0.75$)* 10^{-6} m intervaldagi ko`ndalang elektromagnit tebranishlarning tarqalish yo`nalishlaridir. Quyosh yoki shamdan tarqalayotgan yorug`lik nurlari deganda shu manbaning atomlari (elementlari “nurlangich”lar) dan chiqayotgan yorug`lik to`lqinlarning aralashmasi tushiniladi.



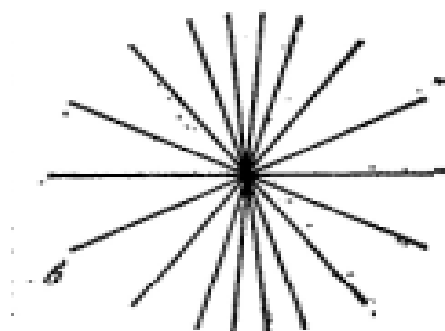
9-rasm

Yorug`lik manbayining o`lchamlari qaynchalik kichik bo`lmasin, baribir undagi “nurlangichlar” soni nihoyatda ko`p bo`ladi. Boshqacha aytganda, har onda manbadagi milliardlab atomlar to`lqin nurlantirishni tugallasa, milliardlab atomlar esa to`lqin chiqarishni bowlaydi. Agar bu elementar elektromagnit to`lqinlar ichidan ixtiyoriy bittasini ajratsak, uni nur yo`nalishiga perpendikulyar hamda o`zaro perpendikulyar bo`lgan E va H vektorlarning tebranishlkari sifatida tasavvur qilishimiz kerak (9-rasm). bunda E vektor tebranadigan tekislikni tebranish tekisligi va H vector tebranadigan tekislikni qutblanish tekisligi deb ataladi.



10-rasm.

Lekin, tasvirni yaqqollashtirish maqsadida elektromagnit to`lqin faqat E vektorning tebranishlari sifatida aks ettirish odat tusiga kirgan (10-a rasmga



q.). Biz ham shunga amal qilaylik. 10-a rasmda tasvirlangan yorug`lik to`lqinlar, ya`ni E vektorlarning tebranishlari faqat bitta tekislikda sodir boladigan yorug`lik to`lqinlar yassi kutiblangan yorug`lik deb ataladi. demak, tabiiy yorug`lik manbaining alohida atomidan bir nurlanishg jarayonida chiqarilgan yorug`lik to`lqin yassi qutblangan yorug`likka yorqin misol bola oladi. Keyingi rasmlarda tebranish tekisligi vhezma tekisligi bilan mos tushadigan yassi qutblangan yorug`likning OX yo`nalishiga perpendikulyar o`tkazilgan bir qator chiziqchalar bilan tasvirlaymiz ( 10-b rasm). Tebranish tekisligi chizma tekisligiga perpendikulyar bo`lgan yassi qutblangan yorug`likni esa OX yo`nalishidagi bir qator nuqtalar bilan tasvirlaymiz (10-b rasm).

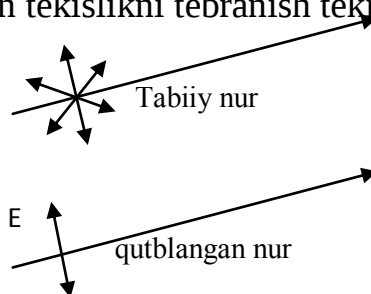
Yuqoridagi mulohazalar tabiiy yorug`lik manbaining alohida atomi bir nurlanish jarayonida chiqaradigan to`lqin chizmasi uchun urinli. Nurlanish jarayoni taxminan 10^{-8} si davom etadi. Bunda chiqariladigan to`lqin chizmasining uzunligi 3 metr chamasida bo`ladi. Shundan so`ng atom to`lqining yangi chizmasini nurlantirishi mumkin. Lekin bu chizmadagi E vektorning yo`nalishi oldingi chizmaniki bilan bog`liq bo`lmaydi. Tabiiy yorug`lik manbaidagi turli atomlar nurlantirayotgan to`lqinlarining E vektorlari esa turlicha yo`nalishlarga ega bo`lib barcha yo`nalishlar teng ehtimollidir. Masalan, yorug`lik nuri manbadan ko`zatuvchi tomon tarqalayotgan holda “nurlangich” lardan tarqalayotgan to`lqinlar E vektorlarning biror ondagi fotografiyasi (hayoliy) 10-a rasmdagidek bo`ladi bunda yorug`likni tabiiy yorug`lik yoki qutblanmagan yorug`lik deb ataydi. Umuman, tabiiy yorug`likni barcha yo`nalishlardagi yassi qutblangan yorug`liklarning aralashmasi sifatida tasavvur qilsa ham bo`ladi.

Agar yorug`lik tarkibida biror yo`nalishdagi tebranishlar boshqa yo`nalishlardagi etbranishlarga qaraganda ko`proq bo`lsa, qisman qutblangan yoruglik bilan ish tutayotgan bo`lamiz (10-b rasm). Qisman qutblangan yorug`likni tabiiy va yassi qutblangan yorug`liklarning aralashmasi sifatida tasavvur qilish mumkin.

Yorug`likni qutblanishi. Polyarizator va analizator. Malyus qonuni

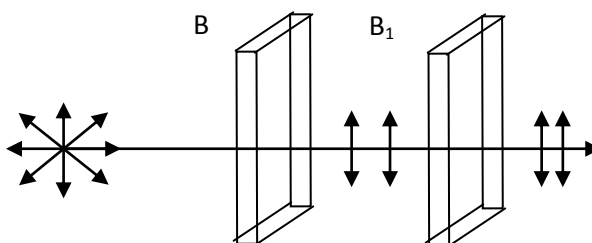
Yorug`likning qutblanish hodisasi Yorug`lik nurini ko`ndalang elektromagnit to`lqin ekanligini tasdiqlaydi. Tabiiy Yorug`lik nurida uni tarqalish yo`nalishiga perpendikulyar bo`lgan barcha yo`nalishlarda Yorug`lik vektorining (elektr maydon-kuchlanganligi vektori-E) tebranishlari sodir bo`ladi va bu tebranishlarning birontasi ham boshqa tebranishlar oldida afzallikka ega bo`lmaydi.

Agar Yorug`lik vektorining tebranishlari faqat bitta tekislikda yuz berayotgan bo`lsa, bunday Yorug`likni yassi (yoki to`?ri chizili) ?utblangan deb yuritiladi. Yorug`lik vektori tebranayotgan tekislikni tebranish tekisligi deb ataladi.



11-rasm

Yassi qutblangan Yorug`likni tabiiy Yorug`likdan polyarizatorlar (qutblagichlar) deb ataluvchi asboblarda olish mumkin.

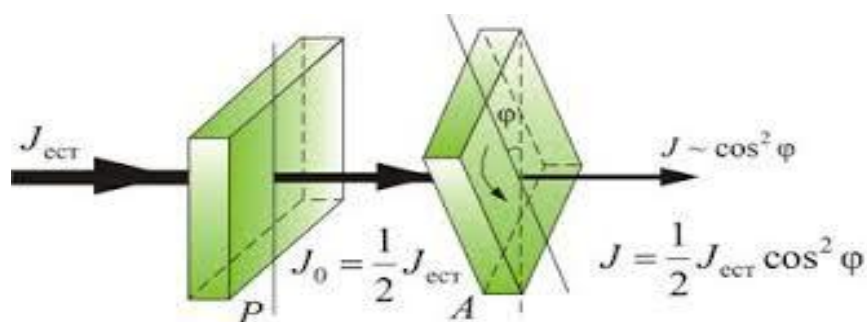


12-rasm

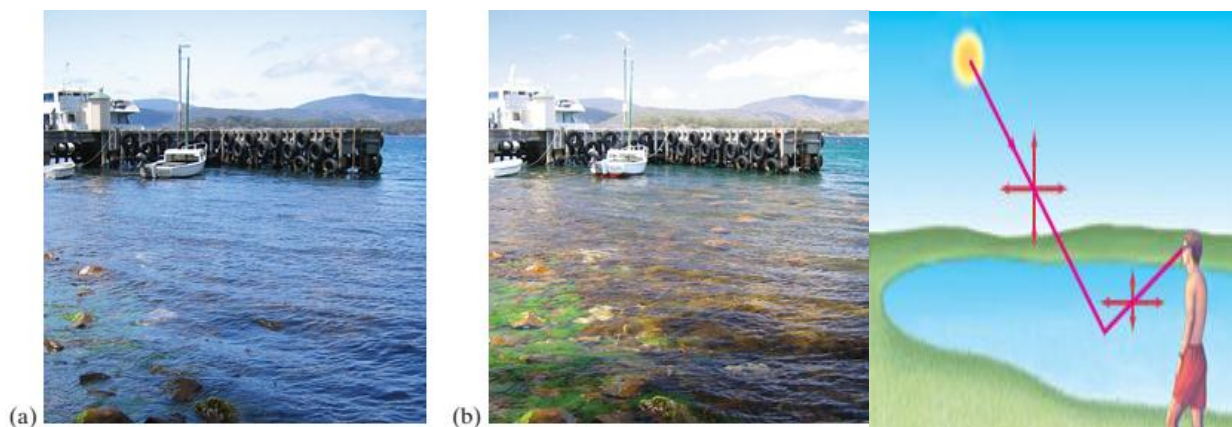
Toʻlqinning qutblangan yoki qutblanmaganligini aniqlash uchun moʻljallangan bu B_1 asbobni analizator deyiladi. Polyarizatorlarga Yorugʻlik vektorining amplitudasi E_0 boʻlgan nur tushayotgan boʻlsin $E=E_0\cos\alpha$. Yorugʻlik intensivliklarining nisbati amplitudalar kvadratlari nisbatlariga proporsional boʻlgani uchun

$$\frac{I}{I_0} = \frac{E^2}{E_0^2} = \cos^2\alpha$$

yoki $I=I_0\cos^2\alpha$



13-rasm



14-rasm

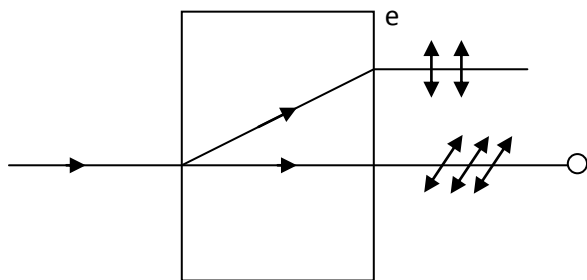
Bu Malyus qonunining matematik ifodasi boʻlib bu qonunga asosan analizatoridan oʻtgan Yorugʻlik intensivligi polyarizatoridan oʻtgan Yorugʻlik intensivligini analizator va polyarizator tekisliklari orasidagi burchak kosinusini kvadratiga koʻpaytmasiga teng.

Yorug`likning qaytishda va sinishda qutblanishi. Bryuster qonuni. Agar Yorug`lik nurining ikkita dielektrikni ajratib turuvchi chegaraga (masalan, shisha plastinka sirtiga) tushish burchagi nolga teng bo`lmasa, qaytgan va singan nurlar qisman qutblangan bo`ladi. qaytgan nurda tushish tekisligiga perpendikulyar tebranishlar ko`proq bo`ladi (nuqtalar), singan nurda esa tushish tekisligiga parallel tebranishlar ko`proq bo`ladi (ikki tomonida strelka). Yorug`likning tushish burchagining tangensi dielektrikning absolyut sindirish ko`rsatkichiga teng bo`lsa qaytgan nur to`liq qutblanadi.

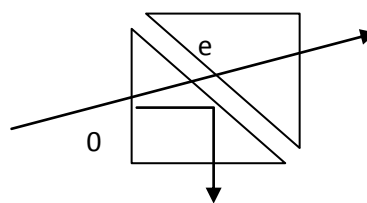
$$\operatorname{tg} i_B = n$$

Bu munosabat Bryuster qonuni nomi bilan yuritiladi i_B burchak Bryuster burchagi yoki to`la qutblanish burchagi deb ataladi. Yorug`lik Bryuster burchagi ostida tushganda qaytgan va singan nurlar o`zaro perpendikulyar bo`ladi

Ikkilanma nur sindirishdagi qutblanish. Yorug`lik nuri ba`zi kristallardan o`tganda ikkita nurga ajraladi. Bu ikkilanma nur sindirish deb nom olgan hodisa island shpati ( $\text{Ca CO}_3$ - kalsiy karbonat tuzi) uchun 1670 yilda Daniyalik fizik Erazm Bartolomin tomonida kuzatilgan edi. Ikkilanma nur sindirish vaqtida nurlardan biri odatdagi sinish qonuniga bo`ysinadi va tushuvchi nur hamda normal bilan bir tekislikda yotadi. Bu nur (normal) oddiy nur deb ataladi va O bilan belgilanadi. Nurlarning ikkinchisi g`ayrioddiy (anomal) nur deb ataldi uni  $e$  harfi bilan belgilanadi va u uchun sindirish ko`rsatkichi tushish burchagining o`zgarishi bilan o`zgaradi. hatto Yorug`lik normal bo`yicha tushganda ham g`ayrioddiy nur, umuman qaytganda, dastlabki yo`lidan og`di. Nikol prizmasi deb ataladigan polyarizator juda keng tarqalgan. U island shpati prizmalarini Kanada balzami bilan yopishtiriladi. Bunda Kanada balzamini sindirish ko`rsatkichi n bo`lib $n < n_0$ shartni qanoatlantirishi kerak.



15-rasm.



16-rasm.

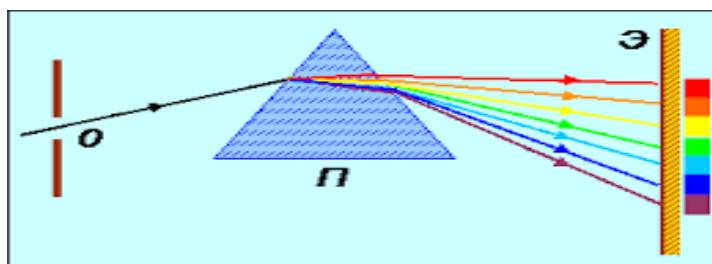
Yorug`lik disperisiyasi. Normal va anomal dispersiya. Moddaning absolyut sindirish ko`rsatkichini Yorug`lik to`lqinining chastotasi (ω)yoki uzunligiga (λ)bog`liqligi bilan yuzaga keluvchi hodisalarga Yorug`lik disperciyasi deb ataladi. Bu bog`liqlik $n=f(\omega)$ yoki $n=f(\lambda)$ funksiyalar bilan ifodalanadi.

I. Nyuton 1672 yilda birinchi bo`lib Yorug`lik disperciyasini eksperemental tekshirdi.



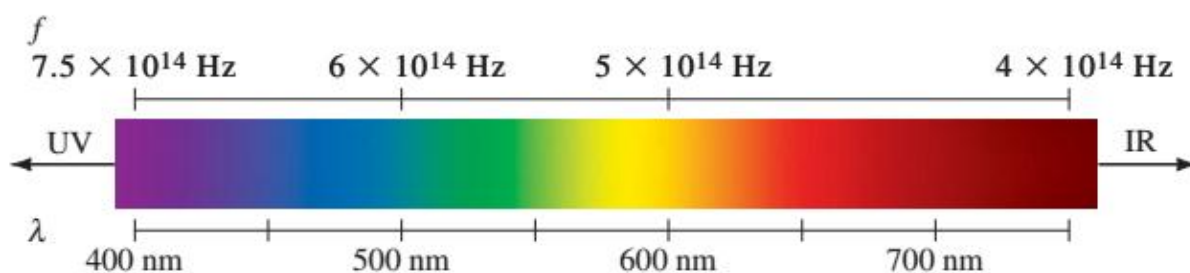
17-rasm

Tajribada prizma orqali o`tgan oq Yorug`lik nuri to`lqin uzunligiga bog`liq ravishda qizildan binafshagacha rangdagi Yorug`liklarga ajralgan, ya`ni nurlanish spektrini hosil qilgan.

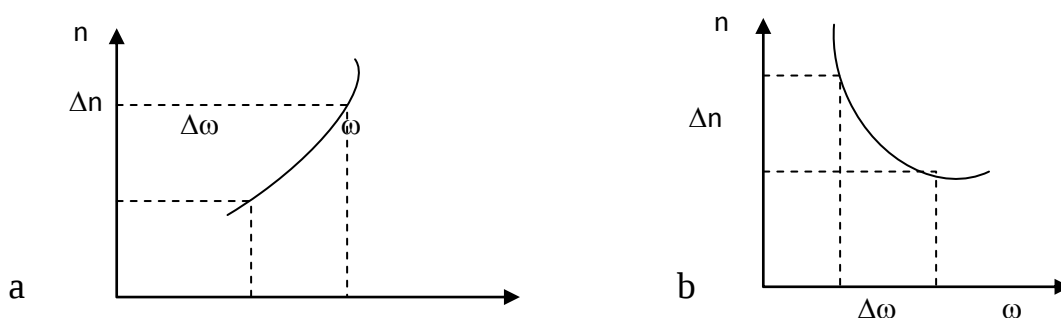


18-rasm

Biror chastota intervali $\Delta\omega$ da sindirish ko'rsatkichi Δn ning o'zgarishini harakterlovchi $\Delta n/\Delta\omega$ kattalik modda disperciyasi o'lchovi deb ataladi. Chastota ortishi bilan moddaning sindirish ko'rsatkichi ortib borsa, ya'ni $\Delta n/\Delta\omega > 0$, bo'lsa, normal dispersiya deyiladi. Agar chastota ortishi bilan moddaning sindirish ko'rsatkichi kamaysa, ya'ni $\Delta n/\Delta\omega < 0$ bo'lsa, anomal dispersiya deyiladi.



19-rasm.



20-rasm.

Dispersiya hodisasini tushuntirish uchun Yorug'likni elektromagnit to'lqin deb, modda tuzilishini esa elektron nazariya asosida tasavvur qilish etarli. Maksvell nazariyasiga asosan elektromagnit to'lqinning tarqalish tezligi

$$g = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

$$n = \frac{c}{g} = \sqrt{\epsilon\mu}$$

Agar moddaning birlik hajmdagi atomlar soni N bo'lsa, u holda elektron nazariyaga ko'ra sindirish ko'rsatichi quyidagiga teng bo'ladi:

$$n = \sqrt{1 + \frac{N \frac{e^2}{m}}{\varepsilon_0 (\omega_0^2 - \omega^2)}}.$$

Bu formula asosida n ning qiymatlarini ω ga bog'liligi shuni ko'rsatdiki muhitning sindirish ko'rsatgichi n to'lqin chastotasiga monand ravishda ortib boradi.

Yorug'lik biror moddadan o'tganda unda yutiladi. Tajriba ko'rsatadiki, Yorug'lik intensivligining dl masofada o'zgarishi $Dl = -\chi Idl$

χ - yutilish koefficienti bo'lib yutuvchi modda hususiyatiga bog'liqdir. «-» ishora intensivlik kamayishni ko'rsatadi. Yorug'likning yutuvchi ?atlamga kirish paytdagi intensivligi I_0 ga teng bo'lsa moddaning l ?alinlikdagi ?atlamidan o'tgan Yorug'likning I intensivligini quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$I = I_0 e^{-\chi l}$$

Bu Buger qonuni deb ataladi. Bu qonunga asosan Yorug'lik intensivligi yutuvchi moddada eksponencial kamayadi.

Yorug'likning sochilishi. Reley qonuni

Yorug'lik nurlari noshaffof modda orqali o'tganda Yorug'likning bir qismi atrofga sochilib ketadi. Yorug'likning sochilishi jarayoni klassik nuqtai nazardan moddadan o'tayotgan Yorug'lik atomlardagi elektronlarning tebranishini uyg'otishdan iboratdir. Tebranayotgan elektronlar hamma yo'nalish bo'ylab tarqalayotgan ikkilamchi to'lqinlarning manbai bo'lib qoladi. Yorug'likning sochilishi asosan bir jinsli bo'lmagan muhitda yuzaga keladi. Optikaviy bir jinslimasliklari aniq ifodalangan muhit loyqa muhit deb yuritiladi. Ularga: 1) Tutun, ya'ni gazlardagi muallif holda yurgan mayda zarralar;

2) Tuman gazlarda muallaq holda yurgan suyulikning mayda tomchilari;

3) Suyuqlikda muallaq suzib yuruvchi qattiq zaralardan hosil bo'lgan suspenziyalar;

4) Sadaf, copol, sutdek oppoq shisha kabi qattiq jismlar kiradi.

Agar bir jinslimasliklari o'lchovi Yorug'lik to'liqin uzunligidan kichik ($\sim 0,1 \lambda$ atrofida) bo'lsa sochilgan Yorug'lik intensivligi I Yorug'lik to'liqin uzunligining to'rtinchi darajasiga teskari proporsional, ya'ni

$$I \approx \omega^4 \approx \frac{1}{\lambda^4}$$

Bu bog'lanish Reley qonuni nomi bilan yuritiladi. Ba'zan loyqa muhit deb atalishi mumkin bo'lmagan suyulik va gazlar ham Yorug'likni ma'lum bir darajada sochadilar. Molekular sababchi bulgan Yorug'likning bu tur sochilish molekulyar sochilish deb ataladi. Osmonning havo rang tusda ko'rinishi molekulyar sochilish bilan tushuntiriladi.

Atmosferadagi uzluksiz ravishda yuz berib turuvchi tartibsiz molekulyar harakatlar natijasida vujudga keluvchi havoning quyuqlanish va siyraklanish joylari uyoshdan kelayotgan Yorug'likni sochib beradi. Bunda $I \sim 1/\lambda$ qonunga asosan havo rang va ko'k nurlar sari va qizil rangdagi nurlarga nisbatan kuchliroq sochilib osmoni havo rang qilib ko'rsatadi. Quyosh gorizontdan pastda turganda, undan bevosita tarqalayotgan nurlar katta qalinlikdagi sochuvchi muhitdan o'tishi natijasida uzun to'liqlar bilan boyiydi. Shu sababli osmon erta tongda qizgish rangga bo'yalgan ko'rinadi.

Doppler effekti. To'liqin manbai va kuzatuvchining o'zaro yaqinlashish yoki uzoqlashish vaqtida qayd qilinadigan to'liqin chastotasi (uzunligi)ning o'zgarishi Doppler effekti deb ataladi.

$$v = v_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{g_0}{c}} / \sqrt{1 + \frac{g_0}{c}}$$

Manba va kuzatuvchining bir-biriga nisbatan harakatlanish tezligi g_0 Yorug'likning vakuumdagi tezligi c dan ancha kichik ($g_0 \ll c$) bo'lganda ifoda taqriban quyidagi shaklda yoziladi:

$$v = v_0 \left(1 - \frac{g_0}{c} \right)$$

Doppler effektidan zarralar, samoviy jismlar harakatini o'rganishda hamda harakatlanuvchi ob'ektlar uzoqligini radiolakasion o'lchashlarda keng foydalaniladi.

Vavilov-Cherenkov nurlanishi

S.I.Vavilov rahbarligida ishlayotgan P.A.Cherenkov 1934-yilda nurlanishning yangi turini kashf etdi. Keyinchalik, bu nurlanish Vavilov-Cherenkov effekti deb nom oldi. Cherenkov o'z tajribalarida gamma-nurlar suyuqlik orqali o'tganda havo rang tusdagi kuchsizgina nurlanish vujudga kelayotganini payqadi. Maxsus tajribalar asosida nurlanishning vujudga kelishiga gamma-nurlar bilvosita sababchi ekanligi, ya'ni gamma nurlar suyuqlik atomlaridan urib chiqargan tez harakatlanuvchi elektronlar kuzatilayotgan nurlanishni vujudga keltirishi aniqlandi. Lekin, bu nurlanish elektronlar tormozlanishining maxsuli emas, chunki kuzatilayotgan nurlanishning intensivligi elektronlar tormozlanishi natijasida vujudga kelishi mumkin bo'lgan nurlanish intensivligidan bir necha marta ortiq edi.

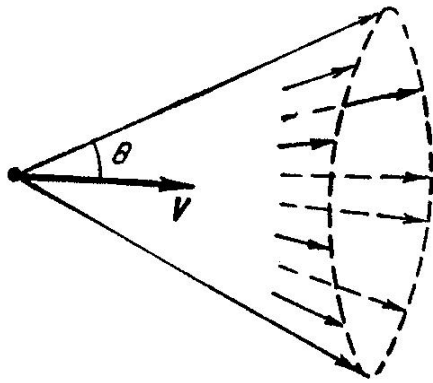
Bu hodisaning nazariyasini 1937-yilda I.E.Tamm va I.M.Frank yaratdi. 1958-yilda Cherenkov, Tamm va Franklarning ishlari Nobel mukofoti bilan taqdirlandi.

Vavilov-Cherenkov nurlanishi kuzatilayotgan hollarda electron tezligi yorug`likning tezligidan katta ekanligiga nazariyatda alohida e`tibor berildi. Dastlab, bu fikr nisbiylik nazariyasiga zid bo`lib ko`rinadi. Lekin, aslida nisbiylik nazariyasi yuqoridagi fikrga mutlaqo qarshi emas. Nisbiylik nazariyasiga asosan zaryadlangan zarra doimo yorug`likning vakuumdagi tezligi  $c$  dan kichik tezlik bilan harakatlanishi lozim. Haqiqatdan, electron vakuumda yorug`lik tezligidan katta tezlik bilan harakatlana olmaydi. Shuning uchun ham vakuumda Vavilov-Cherenkov nurlanishi kuzatilmaydi. Lekin, sindirish ko`rsatkichi  $n$  bo`lgan muhitda vaziyat o`zgacha. Bunday muhitda yorug`likning fazoviy tezligi $u=c/n$. bu tezlik c dan kichik, chunki $n>1$. shuning uchun jismdan o`tayotgan electron yorug`likning shu jismdagi tezligi u dan katta (lekin, yorug`likning vakuumdagi tezligi  $c$  dan kichik, albatta) tezlik bilan harakatlanishi mumkin. Boshqacha aytganda elektronning jismdan o`tayotgandagi tezligi v uchun quyidagi

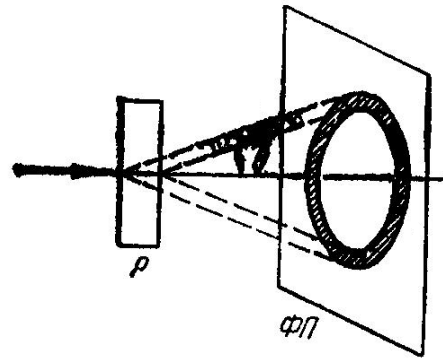
$$c > v > \frac{c}{n}$$

shart bajarilgandagina Vavilov-Cherenkov nurlanishi kuzatiladi. Masalan, suvga joylashtirilgan ^{60}Co izotopidan tarqalayotgan yuqori energiyali beta-zarralarning tezligi $0.8 \cdot c$ g teng. Suvda yorug`likning tarqalish tezligi esa  $0.75 \cdot c$  gat eng. Shuning uchun bu holda Vavilov-Cherenkov nurlanishi kuzatiladi. Bu nurlanish barcha yo`nalishlar bo`yicha emas, balki o`qi elektronning harakat yo`nalishi bilan mos tushgan konusning yasovchilari bo`ylab kuzatiladi (3.7-rasm). Nurlanish burchagi θ ning qiymati

$$\cos \theta = \frac{c}{n \cdot v}$$



21-rasm



22-rasm

munosabatdan aniqlanadi. Haqiqatdan, elektronlar dastasining yo`nalishiga perpendikulyar ravishda rangli fotoplyonka joylashtirsak (23.8.rasm) P jismdan chiqayotgan nurlanish fotoplyonkada havo rang halqacha hosil qiladi. Vavilov-Cherenkov nurlanishining vujudga kelish mexanizmi quyidagicha: biror muhitda harakatlanayotgan zaryadli zarraning elektr maydoni bu zarra yo`lidagi muhit atomlarining chetki elektronlarini yadroga nisbatan siljitishi tufayli elektr dipollari vujudga keladi. Zarra bu soxadan otib ketgach dipole normal holatga qaytib elektromagnit to`lqin nurlantiradi. Dipolar nurlanayotgan elementar to`lqinlar o`zaro kogerent bo`lib, ularning interferensiyasi tufayli munosabat bilan aniqlanuvchi yo`nalishdan boshqa barcha yo`nalishlardagi nurlanish so`nadi. Shuning uchun tajribada faqta zaryadli zarra zarra trayektoriyasi bilan θ burchak hosil qilib tarqalayotgan nurlanish kuzatiladi. Vavilov-Cherenkov nurlanishi yuqori energiyali zarralarning tezliklarini o`lchashda keng qo`llanilmoqda.

Nazorat savollari

1. Yorug`lik dispersiyasi.
2. Nima uchun yorug`lik prizmadan o`ganda spektrga ajraladi.
3. Normal dispersiyani tushuntiring.
4. Anomal dispersiya nima.
5. Havoning va shaffaning rangini tushuntiring.

6. Yorug`likning yutilishi. Buger qonuni.
7. Yorug`likning sochilishi. Reley qonuni.
8. Dopler effekti.
9. Vavilov-Cherenkov nurlanish.
10. Tabiiy va qutblangan yorug`lik nuri.
11. Polyarizator va analizator.
12. Malyus qonuni.
13. Qutblanish darajasi
14. Yorug`likning qaytishda va sinishda qutblanishi. Bryuster qonuni
15. Ikkilanma nur sindirishdagi qutblanish. Polyaroidlar.
16. Optik anizotropiyani su`niy ravishda hosil qilish.

Issiqlik nurlanishi. Absolyut qora jism uchun issiqlik nurlanish qonunlari

Tabiatda elektromagnit nurlanishning eng keng tarqalgan turi issiqlik nurlanishi bo`lib, u moddaning atomlari va molekulalarining issiqlik harakati energiyasi hisobiga hosil bo`lib, yaoni moddaning ichki energiyasi hisobiga hosil bo`lib, nurlanayotgan jismning sovishiga olib keladi. Issiqlikning nurlanishida energiya taqsimoti temperaturaga bog`liq: past temperaturada issiqlik nurlanishi, asosan, infraqizil nurlanishidan, yuqori temperaturalarda ko`rinadigan va ultrabinafsha nurlanishdan iborat.

Har qanday jism o`z nurlanishi bilan birga atrofdagi jismlar chiqarayotgan nur energiyasining bir qismini yutadi. ***Bu jarayon nur yutish deyiladi. Biror yuza orqali o`tayotgan F oqim deb vaqt birligi ichida shu yuzadan o`tayotgan nurlanish energiyasi tushuniladi.***

$$\Phi = \frac{dW}{dt} \quad (1)$$

Nurlanish oqimi F biror plastinkaga tushayotgan bo'lsin. Bu oqim qisman qaytadi (F_q), qisman jismda yutiladi (F_{yu}), qolgani jismdan o'tadi (F_o), yaoni

$$\Phi_k + \Phi_{yo} + \Phi_y = \Phi \quad (2)$$

$F_q/F = \rho$ - jismning nur qaytarish qobiliyati;

$F_{yu}/F = a$ - jismning nur yutish qobiliyati;

$F_o/F = d$ - jismning nur o'tgazish qobiliyati;

Bu belgilardan foydalanib (2) ni quyidagicha yozamiz:

$$\rho + a + d = 1 \quad (3)$$

Nisbatan qalinroq bo'lgan jismlar uchun $D=0$, u holda (3) quyidagi ko'rinishni oladi.

$$\rho + a = 1 \quad (4)$$

Tajribalarni ko'rsatishicha ρ va a ning qiymatlari λ va T larning funksiyasidir

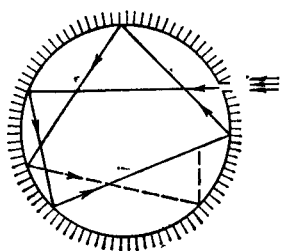
$$\rho_{\lambda,T} + a_{\lambda,T} = 1 \quad (5)$$

Umuman, $\rho_{\lambda,T}$ va $a_{\lambda,T}$ larning qiymatlari 0 dan 1 gacha o'zgaradi,

1) $\rho_{\lambda,T} = 1$, $a_{\lambda,T} = 0$ nur to'la qaytariladi (absolyut oq jism).

2) $\rho_{\lambda,T} = 0$, $a_{\lambda,T} = 1$ nur to'la yutiladi (absolyut qora jism).

Tabiatda absolyut oq jism ham, absolyut qora jism ham bo'lmaydi. Har qanday jism tushayotgan nurlanishning bir qismini yutsa, qolgan qismini qaytaradi. Farqi shundaki, ba'zi jismlar ko'proq qismini yutib ozrog'ini qaytarsa, boshqa

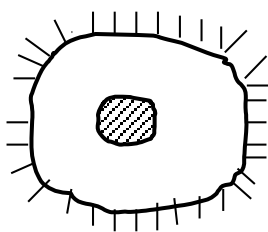


jismlar aksincha ko'prog'ini qaytarib, ozrog'ini yutadi. Masalan, qorakuya uchun $\lambda = 0,40 \div 0,75$ mkm sohada $a_{\lambda,T} = 0,99$.

Nur yutish qobiliyati hamma to'lqin uzunliklart uchun bir xil va birdan kichik bo'lgan jism kulrang jism deb ataladi.

$$a_{\lambda,T} = a_T = \text{const} < 1 \quad (24.6)$$

Odatda, o'zining xussiyatlari bilan absolyut qora jismdan kam farq qiladigan Mixelson taklif etgan modeldan foydalaniladi. Bunday model juda kichik teshigi bo'lgan berk kovak idishdan iborat. Ixtiyoriy to'lqin uzunlikdagi nur teshik orqali kovakka kirib qolgach, uning ichki devoridan ko'p marta qaytib, nur energiyasining bir qismi yutiladi, natijada nur energiyasining juda kichik ulushigina kovakdan qaytib chiqishi mumkin. Shuning uchun bunday modelning nur yutish qobiliyati 1 ga juda yaqin bo'ladi.

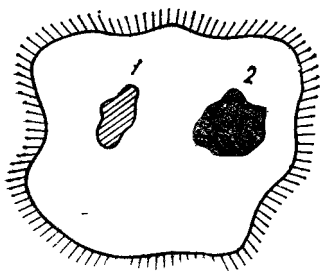


17.2 – rasim.

Bu modelda nur qaytarish va nur yutish qobiliyatidan tashqari T temperaturadagi jismning birlik sirtidan birlik vaqtda nurlanayotgan elektromagnit to'lqinlarning energiyasini ifodalaydigan kattalik – T temperaturadagi jismning

23-rasm

nur chiqarish qobiliyati yoki energetik yoqlinligi (e_t orqali belgilanadi va Vt/m^2 , (J/m^2s) bilan o'lchanadi) degan tushuncha kiritiladi. Bundan tashqari, λ to'lqin uzunlikli, T – temperaturadagi jism nur chiqarish qobiliyati $ye_{\lambda,t}$ dan foydalaniladi. Absolyut qora jism nur chiqarish qobiliyati $Ye_{\lambda,t}$ bilan belgilanadi.



24.2 – rasim

Issiqlik nurlanishi boshqa turdagi nurlanishlardan o'zining bir xususiyati bilan farq qiladi T temperaturadagi jism issiqlik o'tkazmaydigan qobiq bilan o'ralgan deb faraz qilaylik. Jism chiqargan nurlanish qobiqqa tushib undan bir yoki bir necha marta qaytadi va yana jismga tushadi. Jism bu nurlanishni qisman yoki to'la yutadi. Qisman yutsa, qolgan qismini yana qobiqqa qaytaradi. Shuning uchun jism vaqt birligi ichida qancha energiya chiqarsa, shuncha energiya yutadi va jismning temperaturasi o'zgarmaydi. Bu holatni **muvozanatli holat** deyiladi. Shu sababdan issiqlik nurlanishini **muvozanatli nurlanish** deb yuritiladi. Endi qobiq ichida 2 ta bir xil temperaturadagi jism bo'lsin. Agar jismlardan biri ko'proq yutayotgan bo'lsa,

bu jismning temperaturasi ortib ketadi. Buning evaziga 2 – jismning temperaturasi kamayib ketishi kerak. Lekin bu termodinamikaning 2 – qonuniga ziddir.

Kirgofning integral qonuni: har qanday jismning muayyan temperaturadagi to`la nur chiqarish va nur yutish qobiliyatining nisbati o`zgarmas kattalik bo`lib, u ayni temperaturadagi absolyut qora jismning to`la nur chiqarish qobiliyatiga teng.

Agar ikkala jism oralig`iga  $\lambda$  dan  $\lambda+d\lambda$  gacha to`lqin uzunlikdagi nurlanishni o`tkazib, qolganlarini qaytarib yuborgan filptr joylashtirsak Kirxgofning differensial qonunini olamiz

$$\frac{e_{\lambda,T}}{a_{\lambda,E}} = E_{\lambda,T} \quad (7)$$

Ixtiyoriy jismning nur chiqarish va nur yutish qobiyaliyatlarining nisbati bu jismning tabiatiga bog`liq bo`lmay, barcha jismlar uchun to`lqin uzunlik va temperaturaning universal funksiyasidir va u absolyut qora jismning nur chiqarish qobiliyati $Ye_{\lambda,t}$ ga tengdir.

Issiqlik nurlanish nazariyasining eng asosiy vazifasi absolyut qora jism uchun $Ye_{\lambda,t}$ ning ko`rinishni topishdir.

Absolyut qora jismning to`la nur chiqarish qobiliyati temperaturaning 4 darajasiga proporsioanldir

$$E_T = \sigma T^4 \quad (8)$$

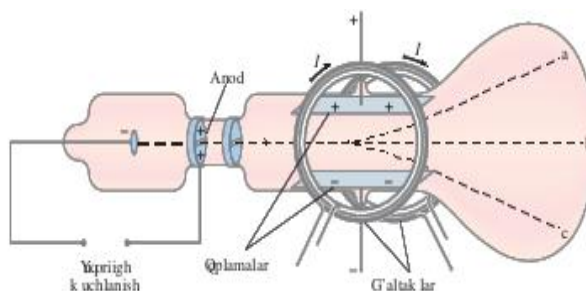
bunda σ - Stefan – Bolpsman doimiysi ($\sigma=5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Vt/m}^2\text{k}^4$) (24.9) ifoda ***Stefan – Bolpsman qonuni deb ataladi.***

XX asr boshlarida fiziklar olamida ikkinchi ilmiy revolyutsiya boshlandi, bu kvant nazariyasi edi. Kvant nazariyasi 1900 yillarda M. Plank tomonidan ilgari surila boshlagan.

Elektronning kashf qilinishi

Yigirmanchi asr oxirlariga kelib razryadlangan gaz orqali zaryadli zarralarni harakati o`rganila boshlandi. 24-4 rasmda gaz-razryad trubkasi ko`rsatilgan, shisha

balonda elektrodlar joylashgan bo`lib, gaz bilan to`ldirilgan. Elektrodlar orasiga yuqori kuchlanish berilsa, katod va anod orasida chaqnash sodir bo`ladi. Bu chaqnashni katoddan chiqqan nurlar- katod nurlari hosil qiladi. Katod nurlari zaryadlangan manfiy zarracha bo`lib musbat qoplama tomonga og`adi.



24-rasm

Katod nurlari zaryadning massaga nisbati (e/m) qiymatini, 1987 yil J.J. Tomson (1856-1940) 24-4 rasmda ko`rsatilgan qurilma yordamida aniqlagan. Bu qurilmadagi parallel qoplamalarga kuchlanish berilgan bo`lib, ular elektr maydon $\vec{E}$ hosil qiladi, ikkita juft g`altaklar esa magnit maydon  $\vec{B}$  hosil qiladi. Agar  $\vec{E} = \vec{B} = 0$  bo`lsa, katod nurlari o`z eunalishidan og`maydi. Agar faqat elektr maydon ta`sir qilsa, katod nurlari musbat zaryadli qoplama tomonga qarab og`adi, faqat magnit maydon bulsa katod nurlari pastga qarab og`adi. Bu kuzatuvlar natijasida zaryadlangan zarrachalar manfiy ekanligi ma`lum bo`ladi. Zaryadlangan zarra-chaga ta`sir qiluvchi kuch bu Lorens kuchi bo`lib  $F = eB\vartheta$  formula orqali aniqla-nadi. Bu yerda  $e$  – katod nurlari zaryadi,  $\vartheta$  – katod nurlari tezligi. Elektr maydon bo`lmasa nurlar egri chiziqli harakatlanib, Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan $F = ma$ kuch ta`sir etadi.

$$eB\vartheta = m \frac{\vartheta^2}{r}$$

Bundan $\frac{e}{m} = \frac{\vartheta}{Br}$ kelib chiqadi.

Aylana radiusi, magnit maydon induksiyasini va tezlik ϑ ni aniqlab,

$$\vartheta = \frac{E}{B}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{E}{B^2 r}$$

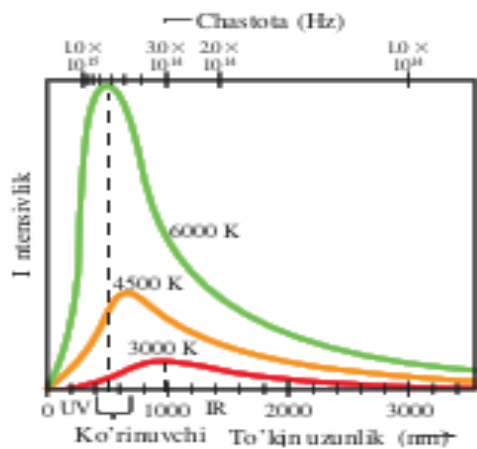
$\frac{e}{m} = 1.76 \times 10^{11} \text{ C/kg}$ tengligi aniqlangan. Katod nurlarini elektronlar deb atashdi. Elektronlar manfiy zaryadli zarralar bo'lib ularni o'lchash mumkin. J.J. Tomson elektronlar atomning tarkibiy qismiga kirishini isbotladi, ularni ion emasligini aniqladi va moddaning elektron nazariyasini rivojlantirdi.

Elektron zaryadini aniqlash

Tomsonning ta'kidlashicha elektron atom emas, u atomning tarkibiy qismidir. 1897 yilda Robert A. Millikan (1868-1953) kondensator qoplamlari orasida, muvozanatda turgan zaryadlangan yog` tomchisiga ogirlik kuchi va elektr maydon kuchlari ta'sir qiladi. Bu kuchlarni tenglashtirish orqali, $q = \frac{mg}{E}$ dan, elektron zaryadi $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ va massasi $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ aniqlandi. O'lchashlar va tajribalar asosida elektron zaryadi kvantlangan, diskret qiymatlar qabul qiladishini aniqlandi.

XIX asr oxirlarida qizigan jismdan chiqayotgan yorug`lik nurlarining spektri

noma`lum edi. Nurlanish intensivligi absolyut temperaturaning to`rtinchi darajasiga to`g`ri proporsionaldir. Yuqori temperatura (1000K) da jism o`zidan infra qizil nurlar chiqara boshlaydi. Nurlangan nur to`lqin uzunligi uzluksiz spektr hosil qiladi. 25-rasmda chastota va to`lqin uzunlikning intensivlikka bogliqligi berilgan. Temperatura ortgan sari



25-rasm.

chastota va intensivlk orta boradi. Nurlanish to`lqin uzunligi va absolyut temperatura orasida quyidagi munosabat mavjud:

$$\lambda_p T = 2.90 \times 10^{-3} m \cdot K \quad (9)$$

(24-10) formula **Vin qonuni** deyiladi.

M. Plank (1858-1947) nazariyasiga ko`ra, molekulalar tarkibidagi tebranayotgan atomlar istalgan energiyani qabul qilmaydi, tebranish chastotasi nurlanish energiyasiga bog`liq bo`ladi

$$E = hf . \quad (10)$$

Bu yerda h – Plank doimiysi deyiladi. Uning qiymati $h = 6.67 \times 10^{-34} J \cdot s$ ga teng. Tebranayotgan molekula energiyasi butun songa proporsional bo`ladi

$$E = nhf, n = 1, 2, 3, \dots \quad (11)$$

Bu yerda n -kvant soni deyiladi. Bu g`oya Plankning kvant gepotezasi deyiladi. Kvant gepotezasiga kora tebranayotgan atom yoki molekula energiyasi

uzluksiz emas ya'ni kvanlangan xolda bo'ladi. Eng kichik $E = hf$ _ kvant energiya-si deyiladi.

Nazorat savollari

1. Issiqlik nurlanish. Absolyut oq, absolyut qora jismlar
2. Kirxgof qonuni. Jismning nur chiqarish va yutish qobiliyatlari.
3. Reley-Jins formulasi.
4. Stefan-Bolsman qonuni.
5. Vin qonuni.
6. Plank formulasi.
7. Optikaviy pirometriya. Pirometr turlari va ularni ishlashi.

Yorug'likning kvant hossalari. Fotoeffekt. Yorug'likning bosimi

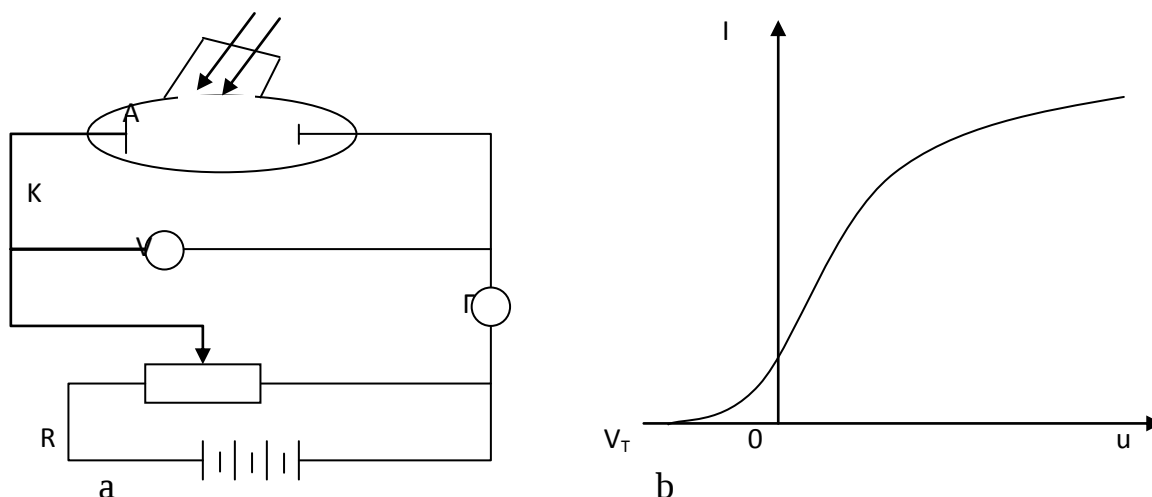
Fotoeffekt va uning qonunlari. Moddadan Yorug'lik ta'sirida elektronlarning uchib chiqish hodisasiga fotoeffekt deyiladi. Bu hodisani 1887 yilda G.Gerc ochgan. 1888-1889 yillarda Moskva universitetining professori A.G. Stoletov fotoeffektni atroflicha o'rganib, quyidagi qonuniyatlarni aniqladi:

Yorug'lik ta'sirida ajralib chiqqan zaryadlar manfiy ishoraga ega bo'ladi.

1. Ultrabinafsha nurlar eng ko'p ta'sir ko'rsatadi.
2. Jismdan chiqqan zaryad miqdori unga yutilgan Yorug'lik energiyasiga proporsional.

Fotoeffekt natijasida chiqarilgan elektronlar elektr maydon ta'sirida A anod tomon harakatlanadi. Natijada zanjirda fototok vujudga keladi. Fototokning elektrodlar orasidagi U kuchlanishga bog'liqligini ko'rsatuvchi egri chiziq volt-amper harakteristika deyiladi. Uncha katta bo'lmagan kuchlanishlarda fototok to'yinishga erishadi. Fotoeffektning quyidagi 4 ta qonuni uning hususiyatlarini to'la harakterlaydi.

1. Fotokatodga tushayotgan Yorug'likning spektral tarkibi o'zgarmas bo'lsa, fototokning to'yinish qiymati Yorug'lik oqimiga to'g'ri proporsional $I_t = Y\Phi$.



26-rasm

2. Fotokatoddan ajralib chiqayotgan fotoelektronlar boshlang'ich tezliklarning maksimal qiymati to'liqin uzunligiga bog'liq ravishda o'zgaradi. Yorug'lik ta'sirida fotokatoddan chiqayotgan elektronlarning maksimal tezliklari quyidagi munosabatdan topiladi..

$$\frac{1}{2} m g_{\max}^2 = e V_T$$

bunda, m -elektron massasi, e -elektron zaryadi, V_T -tokni nolga aylantiradigan potentsiallar ayirmasi..

3. Har bir fotokatod uchun biror «qizil chegara» mavjud bo'lib undan kattaroq to'liqin uzunlikli Yorug'lik ta'sirida fotoeffekt vujudga kelmaydi, fotokatod materialining kimyoviy tabiatiga va sirtning holatiga bog'liq

$$\lambda_{\kappa} = \frac{C}{\nu_k}$$

4. Yorug'likning fotokatodga tushishi bilan fotoelektronlarning xosil bo'lishi oarsida sezilardi vaqt o'tmaydi.

Fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasi. Fotoeffektning faqat birinchi qonunini to'liqin nazariya asosida tushuntirish mumkin. Lekin ikkinchi va uchinchi qonunlarni to'liqin nazariya tushuntirishga ojizlik qiladi. xaqiqatdan ham to'liqin nazariyaga asosan, fotokatodga tushayotgan Yorug'likning intensivligi ortgan sari ajralib chiayotgan fotoelektronlarning energiyalari ham ortishi lozim edi. Tajribalarning ko'rsatishicha, fotoelektronlarning energiyasi Yorug'lik intensivligiga mutlaqo bog'liq emas.

Yorug'likning fotokatodga tushishi bilan fotoelektronlarning hosil bo'lishi o'zaro sezilarli vaqt o'tmaydi.

Fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasi. 1905 yilda A. Eynshteyn agar M. Plank tahmin qilganidek Yorug'lik h n kvant (porsiya) tarzida chiqarilgani kabi huddi o'shanday porsiyalar bilan yutiladi deb qaralsa fotoeffektning hamma qonunlarini oson tushuntirish mumkin deb ko'rsatdi. Bu g'oyaga asosan metall sirtiga tushayotgan Yorug'lik oqimini Yorug'lik kvantlari (ya'ni fotonlar) oqimi deb tasavvur qilinadi.

Eyshteyn fotoeffektga energiyani saqlanish qonunini qo'lladi. Foton bilan elektronning ta'sirlashuv jarayonida fotonning $h\nu$ energiyasi elektronga o'tadi. Demak, ta'sirlashuvga qadar Yorug'lik kvanti tarzida namoyon bo'layotgan energiya ta'sirlashuvdan so'ng elektronning energiyasiga aylanadi. Agar bu energiya etarlicha katta, ya'ni $h\nu > A_{\phi}$ bo'lsa ($A_{\phi} = e\phi$ - elektronlarni metalldan chiqish ishi, ϕ - chiqish potentsiali), metalldan elektron ajralib chiqadi. Energiyani olgan qismi esa metalldan tashqariga chiqib olgan elektron (ya'ni fotoelektron) ning maksimal kinetik energiyasi sifatida namoyon bo'ladi.

$$h\nu = A_{\phi} + \frac{m v_{\max}^2}{2}$$

Bu ifoda fotoeffekt uchun Eyshteyn tenglamasi deb ataladi.

Foton va uning harakteristikalari. Issiqlik nurlanish, fotoeffekt hodisalarini yorug'likning "elementar zarrasi" – foton to'g'risidagi tassavur asosida tushuntiriladi. Bayon etilgan hulosalar ustida mulohazalar yuritilganda yorug'lik energiya "ya'ni elektromagnit energiya" ana shu fotonlarda mujassamlangan, degamni fikr asos qilib olindi. Foton energiyasi va tebranish chastotasi orasidagi bog'lanish $E = h\nu$. Energiya va massaning ekvivalentlik qonuni $W = mc^2$ dan foydalanib, fotonning massasini aniqlaymiz

$$m_{\phi} = \frac{h\nu}{c^2} \quad (12)$$

ga teng bo'ladi. Ikkinchi tomondan, har qanday zarraning massasi uning tezligi bilan nisbiylik nazariyasi keltirib chiqargan:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (13)$$

munosabat orqali bog'langan. Bu ifodadan ko'rinib turibdiki zarra harakatlanmayotgan ($v = 0$) xolda uning massasi m_0 ga teng. Odattada ana shu tinch-

likdagi massa tajribalarda o'lanadi. Chunki aksariyat hollarda $v \ll c$. zamonaviy fizika katta tezlikla bilan harakatlanayotga zarra uchun (6.6) munosabat to'g'riligini isbotlaydi. U holda yorug'lik fotoni uchun (13) ni qanday tushinish lozim?

$$m_0 = m \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (14)$$

ko'rinishda yozib olaylik. Yorug'lik uchun $v=c$ ning qiymati esa chekli kattalik. Shuning uchun (14) ifoda asosida fotonning tinchlikdagi massasi m_0 ning qiymati 0 ga teng bo'lishi kerak degan hulosaga kelinadi. boshqacha qilib aytganda, yorug'lik foton "to'xtab qolsa" uning barcha xususiyatlari ham yo'qoladi: massasi ham, energiyasi ham nolga teng boladi. Umuman fotonning "to'xtashi" deganda uni biror jism tomonida yutulishi nazarda tutiladi. To'xtash jarayonida fotoning energiyasi (va unga ekvivalent bo'lgan massa) yutuvchi jismga o'tadi. Natijada yutuvchi jism energiyasi ham massasi ham ortadi.

Demak, yorug'lik fotonining boshqa zarralar (masalan, elektron, atom, molekula, va hakoza) dan farqlanuvchi mahsus xususiyati shundan iboratki, foton tinchlikda massaga ega bo'lmaydi. Foton faqat harakatlanish jarayonida massaga va energiyaga ega bo'ladi, va uning tezligi yorug'lik tezligi (c) ga teng.

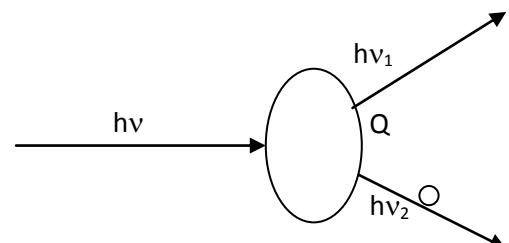
Kompton effekti. Yorug'likning foton tabiati Kompton effekti deb atalgan hodisada yorqin namoyon bo'ladi. 1923 yilda A.Kompton rentgen nurlarining turli moddalarda sochilishini o'rganib, sochilgan nurlar tarkibida birlamchi to'lqin uzunligi bilan bir qatorda, undan kata to'lqin uzunlikka ega bo'lgan nurlarning ham borligini sezgan. Tajribalarda tushayotgan va sochilgan nurlar to'lqin uzunliklarining farqi birlamchi to'lqin uzunlikka ham, sochuvchi modda tabiatiga ham bog'liq bo'lmay sochilish burchagiga bog'liq bo'lib quyidagi qonuniyatga bo'ysinishi aniqlandi. Bu effektga energiya va impulsni saqlanish qonunlarini tatbiq etish mumkin,

$$h\nu + m_0c^2 = h\nu_1 + mc^2 \quad (15)$$

bunda m_0 -elektronning tinch xolatdagi massasi, m -elektronni to'qnashuvdan keyingi

massasi bo'lib

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

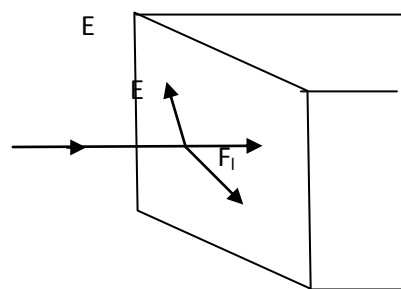


U holda (25.4) formuladan $\Delta\lambda = \frac{2h}{m_0c} \sin^2 \frac{Q}{2}$

Bu formulada $K = \frac{h}{m_0c}$ bo'lib Kompton to'liqin uzunligi deyiladi va elektron uchun $K=2,425 \cdot 10^{-10}$ sm, proton uchun $K=1,32 \cdot 10^{-13}$ sm.

Yorug'lik bosimi. Lebedev tajribasi. Maksvell nazariyasiga asosan, jism sirtiga tushayotgan xar qanday elektromagnit to'liqin shu jismga bosim beradi. Yassi Yorug'lik to'liqini metall sirtiga normal ravishda tushayotgan bo'lsin

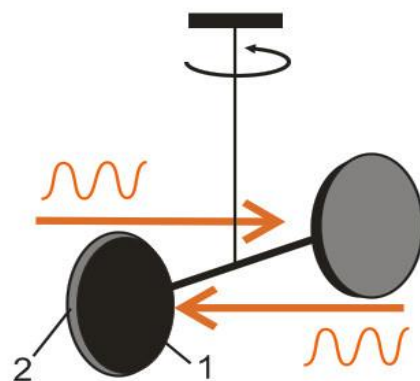
Yorug'likning elektr maydoni ta'sirida metall sirtiga yaqin joylashgan elektron maydonga teskari yo'nalishda harakatga kela boshlaydi. Huddi shu momentda Yorug'lik to'liqinining magnit maydoni tomonidan harakatlanayotgan elektronga Lorenc kuchi (F_l) ta'sir qiladi. Bu kuch metall sirtiga perpendikulyar ravishda uning ichiga arab yo'nalgan.



Yoritilayotgan metall sirtining birlik yuziga ta'sir etadigan Lorenc kuchlarining yiqindisi Yorug'lik bosimini xarakterlaydi.

Maksvell nazariyasi asosida o'tkazilgan hisoblar Yorug'lik bosimi $p=w(1+\rho)$ (25.6) ga tengligini ko'rsatadi. Bunda w -sirtga tushayotgan Yorug'lik dastasi energiyasining xajmiy zichligi, ρ -sirtning Yorug'lik qaytarish koefficienti.

Yorug'lik bosimini birinchi bo'lib 1900 yilda P.N. Lebedev tajribada aniqladi. Bu tajriba quyidagicha. Osongina buri-ladigan parrakning qanotlaridan biri qoraytiril-gan, ikkinchisi esa yaltiroq qilib yasalgan Tajribalarda Yorug'likning yaltiroq qanotga be-radigan bosimi (P_y) oraytirilgan anotga beradigan bosimi (P_q) dan ikki marta katta bo'lib chiqdi. Bu natija Maksvellning nazariy hulosasiga mos keladi, ma'lumki ideal yaltiroq sirt uchun $\rho=1$ shuning uchun (25.6) asosan



$$P_y = w(1+\rho) = 2w \quad (16)$$

Yorug'likning bosimining P.N. Lebedev tajribasida aniqlangan qiymati (25.6) formula asosida hisoblangan qiymatiga yaqin bo'lib chiqdi.

Nazorat savollari

1. Tashqi fotoeffekt va uning qonunlar.
2. Fotoeffekt nazariyasi.
3. Tashqi fotoeffekt uchun Eynshten tenglamasi.
4. Foton va uning xarakteristikasi.
5. Kompton effekti.
6. Yorug'lik bosimi. Lebedev tajribasi.

ATOM FIZIKASI

Atomning yadroviy modeli. Bor postulatları. Atom yadrosining tarkibi va asosiy xarakteristikaları. Yadrolarning bog'lanish energiyasi

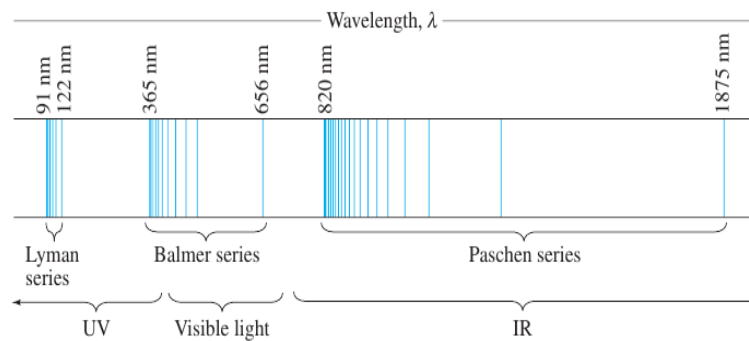
Ma'lumki, atom (yunoncha bo'linmasi zarra) - kimyoviy elementning barcha xususiyatlarini o'zida saqlagan eng kichik zarradir. Molekula esa muayyan moddaning hamma kimyoviy xossalriga ega bo'lgan eng kichik bo'lagidir. Atom chiqargan spektr chizig'lardan iborat bo'ladi. Shu munosabat bilan atomlar chiqargan spektr chizig'li spektr deb nomlangan va

$$\omega = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

formula bo'yicha hisoblash mumkinligini ko'rsatadi. Bunda $R=2,07 \cdot 10^{16}$ rad/s bo'lib Ridberg doimiysi deyiladi. Vodorod atomi spektridagi hamma chiziqlar chastotalarini quyidagi umumlashgan Balmer formulasi bilan ifodalasa bo'ladi.

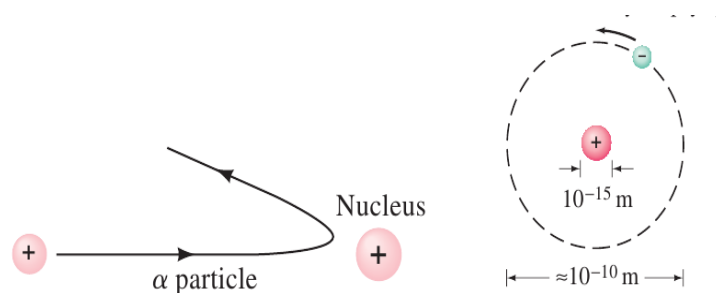
$$\omega = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

m ning qiymati esa Layman seriyasi uchun 1. Balmer seriyasi uchun 2. Pashen seriyasi uchun 3. Breket seriyasi uchun 4. Pornud seriyasi uchun 5 ga teng.



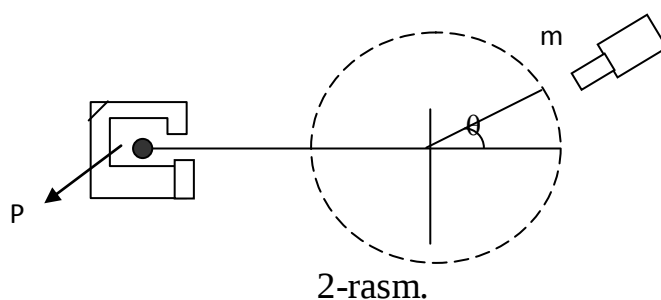
Yakkalangan atom chiqararayotgan spektr harakterini tushuntirish uchun nurlanayotgan atomdagi elektron garmonik tebranma harakat qiladi va demak, muvozanat holat atrofida $\mathbf{f} = -\mathbf{k}\mathbf{r}$ ko'rinishdagi kvazielastik kuch bilan tutib turiladi deb faraz qilish lozim edi (r-elektronni muvozanat holatdan chetlanishi).

1903 yilda Tomson atomning shunday bir modelini taklif qildiki, unga asosan atom musbat elektron bilan bir tekis to'ldirilgan sferadan iborat bo'lib, ichida elektron joylashgan bo'ladi, sferaning yig'indi musbat zaryadi elektron zaryadiga teng bo'lib, atom bir butun holatda neytraldir. Keyingi o'tkazilgan tajribalar bu modelning yaroqsiz ekanligini ko'rsatadi. hozirgi vaqtda bu model faqat atomlar tuzilishi haqidagi tasavvurlarning taraqqiyoti zanjiridagi bo'laklardan biri sifatida tarixiy ahamiyatga ega. Atom tuzilishi haqida aniq tasavvur beruvchi birinchi tajriba 1911 yilda ingliz fizigi E.Rezerford tomonidan amalga oshirildi.



1-rasm

Yetarlicha katta kinetik energiyali massiv zarralar bilan biror modda atomlarini bombardimon qilinsa, energiya hisobiga ular atom bacriga kirib, uni parchalashi mumkinligidan Rezerford atom tuzilishini aniqlashda foydalanadi. U atomlarni α -zarralar bilan bombardimon qilish kerak degan hulosaga keldi. Tajriba



quyidagicha amalga oshirildi. Qo'rg'oshin parchasidagi kavak ichiga P radioaktiv modda kiritilgan bo'lib, u α -zarralar o'tganlarida boshlangich harakat yo'nalishidan turli θ burchakka og'gan. Sochilgan α burchakka oqgan. Sochilgan sulfid surtilgan E ekranga borib urilib hosil bo'lgan ssintillyაციyalarini (yorug'lik chag'nashlarni) M mikroskop orqali kuzatiladi. Mikroskop bilan ekranni sochuvchi zar markazidan o'tuvchi o'q' atrofida aylantirish va istalgan θ burchak ostida o'rnatish mumkin edi.

Ma'lum miqdordagi α -zarralar juda katta (deyarli 180gradusgacha bo'lgan) burchaklarga sochilishi malum boldi. Rezerford 1911 yilda atomning yadro modelini taklif qildi. Rezerford tasavvuri bo'yicha atom markazida Ze musbat zaryadli, o'lchami 10-14m dan oshmaydigan, og'ir yadro joylashgan va yadro atrofida katta tezlikda aylanuvchi Z dona elektronlar sistemasidan iborat. Atomning deyarli hamma massasi yadroda mujassamlangan. Rezarford bu tasavvurlarga asoslanib, α -zarralarning sochilishi nazariyasini ishlab chiqdi va sochilgan zarralarning θ burchak qiymatlari bo'yicha taqsimlanish formulasini keltirib

$$\frac{dN_0}{N} = nd \left(\frac{Ze^2}{m_\alpha g^2} \right) \frac{d\Omega}{\sin^4 \frac{\theta}{2}}$$

d-zarning qalinligi, n-birlik hajmdagi, atomlar soni,

9- α - zarra boshlangich tezligi, $m\alpha$ - α - zarra massasi, $d\Omega$ - fazoviy burchak, $\frac{dN_0}{N}$ - sochilgan α - zarralar nisbiy soni. Demak α - zarralarning sochilishi bo'yicha o'tkazilgan tajribalarning natijasi Rezerford taklif etgan atomning yadro modeli foydasiga hal bo'ladi. Lekin yadro modeli klassik mehanika va elektrodinamika qonunlariga zid bo'lib chiqdi. Harakatsiz turgan zaryadlar sistemasi turg'un holatda bo'la olmagan uchun Rezerford atomning statik modelidan voz kechib, elektronlar yadro atrofida berk traektoriya hosil qilib harakat qiladi deb tahmin qilishga majbur bo'ldi. Lekin bu holda elektron tezlanish bilan harakatlanadi, shu munosabat bilan klassik elektrodinamikaga asosan u uzluksiz ravishda elektromagnit (yorug'lik) to'lqinlarini nurlab turishi lozim.

Nurlanish jarayoni energiya sarflash yo'li bilan sodir bo'ladi va demak, ohirida elektron yadroga tushishi kerak.

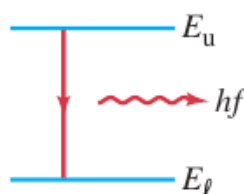
Bor postulatlar. Atomning yadro modeli klassik mehanika va elektrodinamika bilan birgalikda atomning turgun ekanligini ham atom spektrining harakterini ham tushuntirib bera olmadi. Yuz bergan bu ahvoldan qutilish yo'lini 1913 yilda Daniyalik fizik Nilʼs Bor quyidagi ikki postulatda atomni yadro modelini tushuntirib berdi:

Klassik mehanika nuqtai nazardan mumkin bo'lgan cheksiz ko'p elektron orbitalaridan faqat ba'zi kvant shartlarni qanoatlantiruvchi diskret orbitalargina mavjud bo'la qoladi. Bu orbitalardan birida turgan elektron, u tezlanish bilan qarakat qilishga qaramay, elektromagnit to'lqinlar (yorug'lik) chiqarmaydi.

Elektron bir turg'un (stacionar) holatdan ikkinchi bir turg'un holatga o'tganda, nurlanish $h\nu$ yorug'lik energiya kvanti shaklida yutiladi yoki chiqariladi. Yorug'lik kvantining kattaligi o'sha elektronning kvant sakrashi yuz bergan turg'un holatlarga tegishli energiyalarning ayirmasiga teng bo'ladi, ya'ni

$$h\nu = E_n - E_m$$

nurlanish chastotasi $\nu = \frac{E_n}{h} - \frac{E_m}{h}$ ga teng bo'ladi.



3-rasm

Vodorod atomi uchun Bor nazariyasi

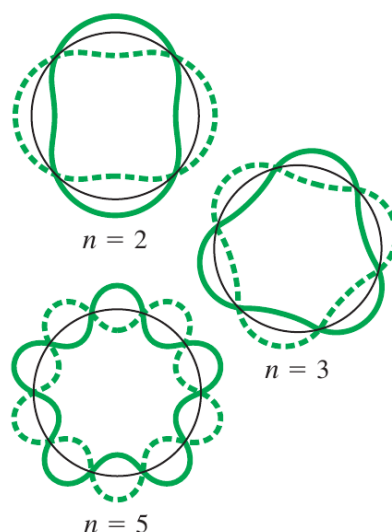
Bor elektronning mumkin bo'lgan hamma orbitalardan faqat impuls momenti Plank doimiysi h ni 2π ga bo'linganiga karrali bo'lganlarigina mavjud bo'la oladi degan farazni ilgari surdi.

$$m_e v r = n \hbar \quad (n=1,2,3,\dots) \quad (1)$$

bunda n -bosh kvant son. Atom yadrosi maydonida haraktlanayotgan Z zaryadli elektronni qarab chiqaylik.

$Z=1$ da bunday sistema vodorod atomiga tegishli bo'lib, Z ning boshqa qiymatlarida esa vodorodsimon ionga, ya'ni bitta elektronidan boshqa hamma elektronni tashqariga chiqarilgan Z tartib nomerli atomga tegishli bo'ladi. Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan m_e elektron massasining v^2/r markazga intilma tezlanishga bo'lgan ko'paytmasi Kulon kuchiga tenglashishi lozim

$$m_e \frac{v^2}{r} = \frac{Ze^2}{r^2} \quad (2)$$



4-rasm

(2) dan v ni yo'qotib

$$r_n = \frac{\hbar^2}{m_e Z e^2} \cdot n^2 \quad (3)$$

Demak atomdagi elektron orbitalarining radiusi faqat qator diskret qiymatlarni qabul qiladi Vodorod atomining birinchi orbitasi ($Z=1, n=1$) uchun

$$r_1 = \frac{\hbar}{m_e Z e^2} = 0,529 \text{Å} \quad (4)$$

Atomning ichki energiyasi elektronning kinetik energiyasi (yadro harakatsiz) va elektronning yadro bilan oʻzaro taʼsir energiya (potensial energiya) larining yigʻindisidan iborat

$$E = \frac{m_e v^2}{2} - \frac{Z e^2}{r} \quad (5)$$

(2) dan

$$\frac{m_e v^2}{2} = \frac{Z e^2}{2r}$$

Demak,

$$E = \frac{Z e^2}{2r} - \frac{Z e^2}{r} = -\frac{Z e^2}{2r} \quad (6)$$

p ning (26.3) dan olinadigan qiymatini nazarda tutib, atomning ichki energiyasining yoʻl qoʻyilgan qiymatlariga ega boʻlamiz

$$E_n = -\frac{m_e e^4 Z^2}{2 \hbar^2 n^2} \quad (7)$$

Vodorod atomi n holatdan m holatga oʻtganda $\hbar \omega = -\frac{m_e e^4}{2 \hbar^2} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ kvant chiqariladi.

Chiqarilgan yorugʻlik chastotasi $\omega = \frac{m_e e^4}{2 \hbar^3} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ boʻladi.

Shunday qilib, Balmerning umumlashgan formulasiga keldik. Ridberg doimiysi

uchun $R = \frac{m_e e^4}{2 \hbar^3}$ hosil boʻladi. $E_n = -(13.6 \text{ eV}) \frac{Z^2}{n^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$

m_e , e , h larni qiymatlarini qo'ysak Ridberg doimiysining eksperimental aniqlangan qiymati ($R=2,07 \cdot 10^{16} \text{ рад/с}$) bilan to'g'ri kattalik kelib chiqadi.

Bor nazariyasi nemis olimi A. Zommerfeld tomonidan mukammallashtirilgan. Bu nazariyada Bor orbitalari aylana emas, balki ellips shakliga ega ekanligi ko'rsatiladi. Bu esa Bor nazariyasi masalasini ko'p atomlar masalasiga aylantirishga imkon berdi.

Atom yadrosining tarkibi va asosiy harakteristikasi

1932 yilda rus fizigi D.D.Ivanenko va nemis fizigi V.Geyzenberg bir-birlaridan mustail ravishda atom yadrosi ikki hil elementar zarra proton va neytronlardan tashkil topgan degan fikrga keldilar. Bu zarralar nuklonlar deb ataladi. Proton musbat zaryadlangan zarra bo'lib uning zaryadi elektron zaryadiga teng. $q_p=q_e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, massasi esa $m_p=1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

Yadro tarkibida protondan tashqari zaryadsiz ($q_n=0$) neytron (n) mavjud

bo'lib uni massasi proton massasiga deyarli teng. Yadrodagi nuklonlar ya'ni proton va neytronlar yig'indisi $A=Z+N$ - bilan belgilanib, yadroning massasi soni deyiladi.

Z- yadrodagi protonlar,

N- yadrodagi neytronlar soni.

Z- Mendeleevning elementar davriy sistemasidagi himiyaviy elementning tartib nomeri bo'lib u yadroning zaryadini aniqlaydi.

Tajribalarda yadroning shakli sferaga yaqinligi va bu sferaning radiusi yadroning massa sonining $1/3$ darajasiga proporsional ekanligi aniqlangan. Yadro moddaning zichligini esa taqribiy ravishda quyidagicha aniqlash mumkin.

$$\rho_y = \frac{m_y}{V_y} = \frac{A \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}}{\frac{4}{3} \pi R_y^3} = 1,8 \cdot 10^{17} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Demak yadro moddaning zichligi yadro tarkibidagi nuklonlar soniga bog'liq emas. Uning qiymati shu qadar kattaki, yadroviy modda zichligidek zichlikka ega bo'lgan jismdan yasalgan, radiusi 200 metr chamasidagi sharning massasi Erning massasiga teng bo'ladi.

Tartib nomeri bir hil, massa soni har hil bo'lgan elementning yadrolarini izotoplar deyiladi: ${}_1\text{H}^1$; ${}_1\text{H}^2$; ${}_1\text{H}^3$; ${}_8\text{O}^{16}$; ${}_8\text{O}^{17}$; ${}_8\text{O}^{18}$;

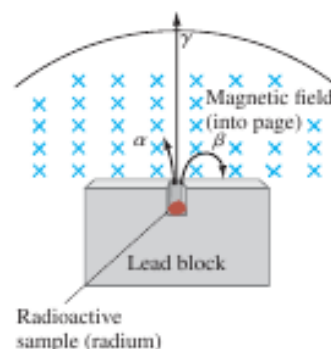
Yadroning m_n massasi uning tarkibiga kiruvchi hamma zarralar massalarining yig'indisidan hamisha kichik. Chunki nuklonlar birikib yadro hosil qilganda nuklonlarning o'zaro bog'lanish energiyasi ajralib chiqadi.

Yadroning bog'lanish energiyasi E_{bog} yadro tarkibidagi nuklonlarni ajratish va uning bir-biri bilan deyarli ta'sir qilishmaydigan masofaga uzoqlashtirish uchun bajarish zarur bo'lgan ishga teng.

$$E_{\text{bog}} = c^2 \left\{ \left[Zm_p + Nm_n \right] - m_n \right\} \cdot C^2$$

Tabiiy radioaktivlik. Yadrolarni bo'linishi. Termoyadroviy reaksiyalar

Radioaktivlikni birinchi marta 1896 yilda Fransuz olimi Bekkerl kuzatgan. Uran va uning birikmalari o'z-o'zidan chiqargan nurlar jismlardan parron o'tgan, fatoplastinkaga ta'sir qilgan, havoni ionlashtirgan. Keyinchalik radioaktivlikni Per Kyuri va Mariya Kyuri Skladovskayalar har tomonlama tekshirdilar.



5-rasm

Beqaror himiyaviy element izotoplarining elementar zarralar yoki yadrolar chiqarib o'z-o'zidan boshqa element izotopiga aylanishi radioaktivlik deyiladi. Bunday aylanishlar:

1) α - yemirilish; 2) β - yemirilish; 3) protonli radioaktivlik va 4) og'ir yadrolarning spontan ravishda bo'linishi jarayonlarida sodir bo'ladi. Tabiiy sharoitlardagi izotoplarda bo'ladigan radioaktivlik tabiiy radioaktivlik deyiladi. Yadro reaksiyalari vositasida olinadigan izotoplarning radioaktivligi sun'iy radioaktivlik

deyiladi. Sunʼiy va tabiiy radioaktivlik orasida farq yoʻq. Radioaktiv emirilish qonuni: $N = N_0 e^{-\lambda T}$ formula bilan ifodalanadi.

Bunda N_0 - boshlangʻich paytdagi emirilmagan atomlar soni, N - biror t paytdagi emirilmagan atomlar soni, λ - radioaktiv moddaga harakterli boʻlgan konstanta, u emirilish doimiysi deyiladi.

Boshlangʻich paytdagi atomlar miqdorining yarmi emirilishiga ketadigan vaqt moddaning yarim emirilish davri (T) deyiladi va quyidagi shartdan aniqlanadi:

$$\frac{1}{2} N = N_0 e^{-\lambda T} \quad N = \frac{N_0}{2}$$

Bundan

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

hozirgi vaqtda maʼlum boʻlgan radioaktiv moddalarning yarim emirilish davri $3 \cdot 10^{-7}$ sekundan tortib $5 \cdot 10^{15}$ yilgacha boradi.

Radioaktiv emirilish natijasida hosil boʻlgan yadrolar radioaktiv boʻlishi mumkin. Radioaktiv modda uch hil nurlanish manbaidir. Ulardan biri magnit maydoni taʼsirida musbat zaryadi zarralar oqimining oqish yoʻnalishida oqadi, ular α -nurlar deb ataladi. β - nurlar deb atalgan ikkinchi nurlanish avvalgiga teskari yoʻnalishda, yaʼni manfiy zaryadli zarralar oqimi oqadigan yoʻnalishda oqadi.

β - yemirilish uch hil boʻladi.

β^- yemirilish bunda yadrodan elektron chiqadi.

β^+ yemirilishda yadrodan pozitron ajralib chiqadi.

Elektron yutish.

β^- yemirilishda yadrodagi bitta neytron $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$

shema boʻyicha protonga aylanadi. $p \rightarrow n + e^+ + \nu$

ν - neytrino,

$\bar{\nu}$ - antineytrino.

Nihoyat magnit maydon ta'siriga berilmaydigan uchinchi nurlanish γ - nurlar deb

ataladi. γ - nurlar to'liq uzunligi juda qisqa (10^{-3} dan 1A gacha) bo'lgan elektromagnit nurlanish ekanligi aniqlandi.

Emirilayotgan yadrodan α -zarralar (ya'ni ${}^4_2\text{He}$ yadrolar) juda katta (109sm/sek) tezlik bilan uchib chiqadi.

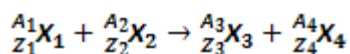
Yadroviy nurlarni qayd qilish usullari

Radioaktiv emirilish paytida chiqariladigan har hil radioaktiv nurlar (α va β -zarralar, γ - nur)ning o'lchamlari ta'xminan juda kichik ya'ni 10^{-15}m bo'lganligi uchun ularni mikroskoplar yoki boshqa oddiy usullar bilan qayd qilish mumkin emas. Radioaktiv nurlarni qayd qilishning har hil usullari ishlab chiqilgan.

1. Fotoemulsiya usuli. 80%-li kumush bromidi kristalchalari (o'lchamlari 10^{-6}m) bo'lgan fotoemulsiyali fotoplastinkadan zaryadli zarralar o'tgan joydagi kumush kristalchalari qorayadi. Ya'ni fotoplastinkada radioaktiv nurlarning harakat traektoriyalari - treklari hosil bo'ladi. Treklarni esa oddiy mikroskoplarda kuza-tiladi. Treklarning o'lchamlarini, zichligini aniqlab radioaktiv zarralarning mas-sasini, energiyasini aniqlash mumkin.

2. Vilson kamerasi. Bu usul to'yingan suv yoki spirt bu'yi bilan to'ldirilgan shisha kamerada radioaktiv zarralarning ?oldirgan izni ya'ni trekining fotosuratini olishga asoslangan. Suratga olingan trek uzunligini, zichligini, uning magnit may-donidagi egrilik radiusini aniqlab zarraning zaryad ishorasini, massasini, ener-giyasini va tezligini topish mumkin.

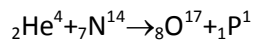
Yadroviy reaksiyalar va saqlanish qonunlari. Ikki yadro yoki yadro bilan zarra bir-biriga 10^{-15} m masofagacha yaqinlashganda yadroviy kuchlarning ta'siri tufayli o'zaro intensiv ta'sirlashadi, natijada yadroviy o'zgarishlar vujudga keladi. Bu yadroviy reaksiya bo'lib u quyidagicha yoziladi:



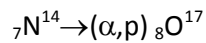
Yadro reaksiyalar paytida energiyaning saqlanish qonuni, massa sonining saqlan-ish qonuni va zaryadning saqlanish qonuni o'rinli bo'ladi.

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4 \qquad Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$$

Birinchi yadro reaksiyasini E.Rezerfod 1919 yilda α -zarralar bilan azot ${}^{14}_7\text{N}$ atom-ini bombardimon qilib hosil qildi. Azot yadrosi o'zidan proton chiqarib kislorod yadrosiga aylanadi.



${}_2\text{He}^4$ -geliy atomining yadrosi, ya'ni musbat zaryadli α -zarradir. Bu yadro reaksiya quyidagi tenglama bilan ham ifodalanadi:



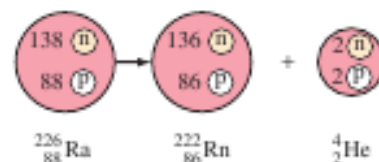
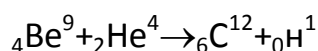
Yadro reaksiyalarida energiya chiqariladi yoki yutiladi. Ajralib chiqqan energiya miqdori reaksiyaning issiqlik effekti deyiladi. hosil bo'layotgan yadro masalari yig'indisi boshlansich yadro masalalari yig'indisidan katta bo'lsa, yadro reaksiyasida energiya yutiladi va uning issiqlik effekti manfiy bo'ladi. hamma yadro reaksiyalari zaryadning, massaning nuklonlar sonining, energiyaning, impulsning, impuls momentining saqlanish qonunlari bajarilishi asosida sodir bo'ladi. Yuqoridagi reaksiyadan zaryadning saqlanish qonuniga asosan:

$$2+7=8+1=9$$

nuklonlar sonining saqlanish qonuniga asosan $4+14=17+1=18$ bo'ladi.

Yadro reaksiyasi natijasida energiya ajralib chiqsa bunday reaksiyani ekzoenergetik reaksiya, energiya yutilgan reaksiyani endoenergetik yadro reaksiyalari deyiladi. Yadrolar strukturasi, zarralarning o'zaro ta'sir mexanizmlarini o'rganishda, hamda amaliy jihatdan yadro energiyalarini olish va har hil element izotoplarini hosil qilishda yadro reaksiyalari katta ahamiyatga ega.

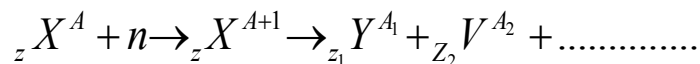
Yadroning bo'linishi. Turli hil element yadrolarini har hil zarralar bilan bombardimon qilib har hil yadro reaksiyalarni hosil qilish mumkin. α -nurlar bilan ${}_{48}\text{Be}^9$ -berilliy izotopini bombardimon qilib neytron hosil qilingan:



6-rasm

Yadrolarga ta'sir qiluvchi zarralarning energiyasi, turlariga bo'linish ravishda yadro reaksiyalari: kichik, o'rta va yuqori energiyali reaksiyalarga bo'linadi. Yadrolarning neytronlar bilan ta'sirlashishida hosil bo'ladigan reaksiyalar kichik energiyali, α -zarralar, protonlar va γ -kvantlar ta'sirida hosil bo'lgan reaksiyalarni o'rta energiyali yadro reaksiyalari deyiladi. Yuqori energiyali yadro reaksiyalarini hosil qilib elementar zarralarning strukturasi, hususiyati o'rganiladi. E.Fermi, CH.Jolio-Kyuri, P.Savich, O.Gan, F.Shtrassman, O.Frishi, L.Maytnerlarning tajribalar va nazariy izlanishlari tufayli o'ttizinchi yillar ohirida (1938 y.) Neytronlar bilan bombardimon qilingan og'ir yadrolar (masalan uran)ni ikki qismga

bo'linishi aniqlandi. Bundan tashari neytronlar, elektronlar va γ -nurlanishlarning ham vujudga kelishi kuzatildi. Bu hodisa yadro bo'linishi deb nom oldi. Neytron biror ${}_Z^AX^A$ yadroga kirgach yangi ${}_Z^{A+1}X^{A+1}$ yadro hosil bo'ladi. U esa ikki yadroga, ya'ni ${}_Z^{A_1}Y^{A_1}$ va ${}_Z^{A_2}Y^{A_2}$ yadrolarga bo'linadi, ya'ni



X yadroni Y va V yadrolarga ajralish imkoniyati energetik nuqtai nazardan

$$Q = (\varepsilon_1 A_1 + \varepsilon_2 A_2) - \varepsilon A$$

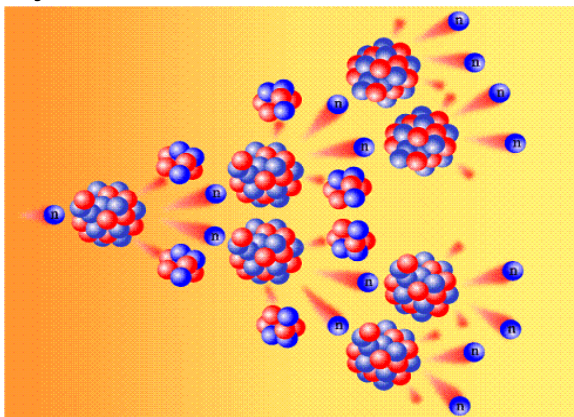
Ifodaning ishorasiga bog'liq bo'lib undagi $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ ba ε lar mos ravishda bo'linish parchalari-E va B hamda H yadrolardagi bitta nuklonga to'g'ri keluvchi bog'lanish energiyalarining qiymatlari. Davriy jadvalning o'rta qismidagi elementlar yadrolari uchun nuklonning yadroga bog'lanishi energiyasi (ε_1 ba ε_2)ning qiymatga jadval ohiridagi og'ir yadrolarniki (ya'ni ε) nisbatan $\sim 0,8$ meV katta bo'lganligi uchun, og'ir yadro (masalan, ${}_{92}^{235}\text{U}$) ikki o'rtaroq yadroga ajralganda $Q \gg A = 0,8$ meV energiya ajralishi mumkin ($1\text{ev} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ j}$).

Og'ir yadrolarning bo'linishi natijasida katta energiya ajralib chiqadi. Masalan bitta uran yadrosini bo'linishi natijasida, ya'ni



yadro reaksiya tufayli 200 meV energiya ajralib chiqadi. 1G uran bo'linishi natijasida esa 800 kg ko'mirni bir paytda yonishi natijasida qancha issiqlik miqdori ajralib chiqsa shuncha issiqlik miqdori ajralib chiqadi.

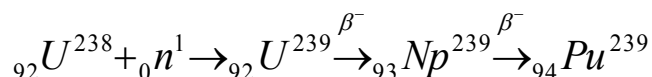
Zanjir reaksiya. Reaktorlar. ${}_{92}^{235}\text{U}$ yadrosi bo'linishi tufayli ajraladigan energiyani tahminan 82-84% bo'linish parchalarining energiyasi tarzida, olgan qismi esa neytronlar (2-3%) γ -nurlanish (5-6%), elektronlar (2-3%) va neytronlar (5-6%) energiyasi sifatida namoyon bo'ladi.



7 -rasm

har bir yadro bo'linganda tahminan 200 meV ($1\text{meV}=1,6\cdot 10^{-19}\text{j}$) energiya ajraladi. Yadro bo'linishida himiyaviy reaksiyadagidan milionlab marta ko'p energiya ajraladi. Shuning uchun og'ir yadrolarning bo'linish hodisasi kashf qilinishi bilano bu reaksiyada ajraladigan energiyadan foydalanish yo'llari izlana boshlandi. Bo'linish energiyasidan foydalanish imkoniyati amalga oshishi uchun shunday sharoit yaratish lozimki, bu sharoitda reaksiya bir boshlangandan so'ng o'z-o'zidan davom eta olsin, ya'ni reaksiya zanjir harakterga ega bo'lsin, masalan, birinchi yadro bo'linganda ajralib chiqqan 2-3 neytronni har biri o'z navbatida yangi yadrolarni bo'linishiga sababchi bo'ladi. Natijada 6?9 yangi neytronlar vujudga keladi. Bu neytronlar yana boshqa yadrolarni bo'linishiga imkoniyat yaratadi va hokazo. Shu tariqa bo'linayotgan yadrolar va buning natijasida vujudga keladigan neytronlar soni nihoyat tez ortib boradi. Shu tarzda rivojlanadigan jarayon zanjir reaksiyadir. hisoblarning ko'satishicha, birinchi yadro bo'linganida keyin $7,5\cdot 10^{-7}\text{ c}$ o'tgach $10^{24}\cdot 10^{25}$ yadro (shuncha yadro tahminan 1 kg uran tarkibida bo'ladi) reaksiyada qatnashgan bo'ladi.

Demak qisqa vaqt ichida ketma-ket bo'linayotgan yadrolar soni keskin oshib boradi.



Py^{239} ham, huddi γ^{235} kabi sekin neytronlar ta'sirida bo'ladi va ulardan foydalanib zanjir reaksiya amalga oshirish mumkin.

Zanjir reaksiyaning rivojlanish tezligi ko'payish koefficienti k_k ning qiymati bilan harakterlanadi.

Ko'payish koefficienti biror avlod bo'linishlarida vujudga kelgan neytronlar sonini undan oldingi avlod bo'linishlarida hosil bo'lgan neytronlar soniga nisbatidir. Agar $k_k>1$ bo'lsa zanjir reaksiya rivojlanadi. $k_k<1$ bo'lsa reaksiya so'nadi. $k_k=1$ bo'lganda reaksiya bir me'yorda davom etadi.

Bo'linuvchi modda massasining qiymati $m<m_{kr}$ bo'lgan holda neytronlarning ko'payish koefficienti $K_k<1$ bo'ladi, shuning uchun zanjir reaksiya amalga oshmaydi. $m>m_{kp}$ bo'lganda $K_k>1$ bo'ladi natijada zanjir reaksiya rivojlanadi.

Boshqariladigan bo'linish zanjir reaksiyalarini amalga oshirish uchun o'llaniladigan qurilmani yadroviy reaktor (atom reaktori) deb ataladi.

Fan va tehnika qo'llanilishiga harab yadro reaktorlari quyidagi asosiy gruppalariga bo'linadi:

Ilmiy tadiot ishlari.

Yadro energetikasi.

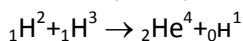
Himiyaviy va biologik ob'ektlarni nurlantirish.

Izotoplar olish va h.k.z.

Zamonaviy reaktorlarda bo'linuvchi modda sifatida ^{235}U izotop bilan boyitilgan tabiiy urandan foydalaniladi.

Zanjir reaksiya boshqarilmaydigan tarzda amalga oshishi atom bombaning portlash jarayonida sodir bo'ladi. Atom bomba portlaganda juda qisqa vaqt ichida nihoyat darajada katta energiya ajralib chiqanligi uchun portlash zonasida issiqlik bir necha million gradusga etadi. Bunday issilik ta'sirida portlash zonasidagi moddalar bug'ga aylanadi. O'ta qizigan sharsimon gaz tez kengayishi natijasida juda kuchli zarb to'liqini vujudga keladi va o'z yo'lida ob'ektlarni emiradi va kuydiradi.

Termoyadroviy reaksiyalar. hisoblashlarning ko'rsatishicha faqat og'ir yadrolarni bo'linishi tufayligina emas, balki juda engil yadrolarni biriktirish (yadrolar sintezi) usuli bilan ham yadroviy energiyadan foydalanish mumkin ekan. Masalan, deyteriy va tritiyni sintezidan α -zarra va neytron hosil bo'ladi; ya'ni



bu reaksiya energiyasi

$$Q = [m_{H_2} + m_{H_3}] - (m_{He_4} + m_n) c^2 \approx 17.6 \text{ Mev}$$

Bunda har bir nuklonga to'g'ri keladigan energiya 3,5 Mev. Ma'lumki ^{235}U ning bo'linishida ajraladigan energiyaning bitta nuklonga mos keladigan energiyasi 0,85Mev.

Yadrolar sintezi yuqori temperaturalarda sodir bo'lganligi uchun uni termoyadroviy reaksiya deb ham ataladi.

H^2 (deyteriy) va H^3 (tretiy) yadrolarining $\sim 10^7\text{K}$ haroratda ham etarlicha intensiv birikishi kuzatiladi. Bu qadar yuqori harorat yulduzlarda, jumladan quyoshda mavjud. Quyosh nurlanishining spektrida vodorod, geliy, uglerod, azot va kisloroddan iborat. Quyosh energiyasi uning tarkibidagi yadrolarning sintezi, ya'ni termoyadroviy reaksiyalar tufayli ajraladi.

Olimlar sun'iy ravishda termoyadroviy reaksiyani amalga oshirish usulini topdilar. Buning uchun termoyadroviy reaksiyada qatnashishi lozim bo'lgan modda (masalan H^2 va H^3 aralashmasi) ichida atom bomba portlatilsa bas. Atom bomba portlaganda g'oyat qisqa vaqt ichida harorat $\sim 10^7\text{K}$ ga etib, deyteriy va tritiy birikadi, bunda energiya ajralib chiqishi yanada kuchliroq portlashtarzida namoyon bo'ladi.

Portlashda vodorod izotoplari qatnashganligi uchun bu qurolga vodorod bomba deyiladi. Neytron bomba deb ataluvchi qurolga esa yadroviy sintez reaksiyasi amalga oshishi uchun talab qilinadigan sharoit detonatorlik vazifasini bajaruvchi

bombani portlatish yo'li bilan emas, balki boshqa usullar yordamida vujudga keltiriladi. Yadroviy sintez reaksiyasida ajralib chiqadigan energiyaning asosiy qismi (~80%) neytronlarning energiyasi sifatida namoyon bo'ladi. Shuning uchun neytron bomba portlaganda vujudga keladigan zarb to'liq anchagina kuchsiz lekin nurlanish dozasi nihoyat kuchli bo'ladi. Neytronlar muhit atomlarning elektron obilari bilan bivosita ta'sirlashmaydi. Lekin muhit atomlarining yadrolari bilan ta'sirlashuvi tufayli zaryadli zarrachalar, γ -kvantlar va radioaktiv yadrolar hosil bo'ladi. Shuning uchun odam organizmiga neytronlarning ta'siri tirik to'qimalarning atom va molekulalarining ionlashtirishdan iborat bo'ladi.

Ionlarning aktivligi o'zgacha bo'lganligi uchun sog' organizmda salbiy ta'sir ko'rsatuvchi himiyaviy birikmalar vujudga keladi. Yadroviy nurlanish, hususan neytronlar ta'sirida ba'zi murakkab molekulalar, birinchi navbatda ilik, so'ngra on hosil bo'lish jarayoni, ayniqsa, markaziy nerv sistemasining to'qimalari zararlanadi, ovqat hazm qilish yo'li va jinsiy a'zolarining hujayralari ham shikastlanadi. Hozirgi paytda «Tokaman» magnit o'rqli toroidal kamera yordamida halharo hamkorlik asosida boshqariladigan termoyadroviy reaksiyani amalga oshirish bo'yicha izlanishlar olib borilmoqda.

Elementar zarralar. Elementar zarralar materiyaning eng kichik zarrachalari bo'lib ular maydonlar bilan o'zaro ta'sir etganda o'zini mustaqil tuta oladilar. Elementar zarralarga: elektron, proton, neytron, foton, mezonlar, giperonlar, neytron va ularning ba'zilarining antizarralari kiradi.

Elementar zarralarni o'rganishdagi eng muhim qurol katta energiyaga ega bo'lgan kosmik nurlanishlar va tezlatgichlardir. Kosmik fazoni to'ldiruvchi yuqori energiyali stabil mikrozarralarga kosmik nurlar deyiladi. Kosmik nurlar birlamchi va ikkilamchi bo'ladi. Birlamchi kosmik nurlar asosan protonlardan iborat, bo'lib ularni energiyalari (10^{10} - 10^{19})ev. Bu kosmik nurlar Er atmosferasiga etib kelib ikkilamchi kosmik nurlarni vujudga keltiradi. Odatda 20 km dan quyiroq balandliklarda kosmik nurlar, asosan ikkilamchi nurlanishdan iborat bo'ladi. Ikkilamchi nurlanish zarrachalar jalasidan iborat bo'lib bu jala 1928 yilda akademik Skobelsin tomonidan Vilson kamerasi yordamida aayd qilingan. Dirak nazariyasiga asosan jala tarkibida musbat zaryadlangan elektron-pozitron mavjudligi isbot qilindi.

Pozitron elektronga harama-qarshi zarradir. Elementar zarralarning hozirgi zamon nazariyasiga asosan hamma elementar zarralar o'zlarining harama-qarshi juftlariga ega, masalan, elektron-pozitron, neytrino-antineytrino, proton-antiproton, neytron-antineytron. Agar ikki juft, ya'ni elektron-pozitron o'zaro to'qnashsa, bir-birini emiradi (anniglyaciyalanadi), natijada ikkala zarraning tinchligidagi massasiga to'g'ri keluvchi energiya ajralib chiqadi.

Zamonaviy tezlatigichlarda zarralarni yuqori energiyalargacha tezlatish imkoniyati elementar zarralarni o'rganishga keng sharoitlar yaratib beradi. Antiproton va antineytronlarni kashf etilishi sinhrofazotonda yuqori energiyali protonlar oqimini hosil qilish bilan bog'liq. 1932 yilda elektronning antizarrasi pozitron kuzatilgandan so'ng, barcha elementar zarralarning antizarralari ham bo'lishi lozim, degan fikr fizikada mustahkam o'rin oldi. 1955 yilda Semberlen va boshalar amalga oshirgan tajribada antiproton qayd qilindi. Antiproton proton bilan to'nashganda annigilyasiyalanadi. 1956 yilda antineytron kashf qilindi. U nuklon bilan (ya'ni proton yoki neytron bilan) to'qnashganda annigilyasiyalanishi mumkin.

Keyinchalik (1965-1966) eng oddiy yadrolar deyteriy va tritiylarning antiyadrolari antideyteriy va antitritiylar kuzatildi. 1973 yilda antigeliy yadrosi hosil qilindi.

Elementar zarralar asosan, fotonlar leptonlar, mezonlar va barionlar gruppasiga bo'linadi. Fotonlar-elektromagnit nurlanish kvantlari bo'lib, zaryadlangan elementar zarralar bilan o'zaro ta'sir qiladi.

Leptonlar gruppasi neytrino, elektron va myu-mezon (manfiy ion) dan iborat bo'lib ular engil zarralardir. Ular o'z-o'zlari va boshqa zarralar bilan o'zaro ta'sir qilishlari mumkin.

Mezonlar gruppasiga kirgan zarralarning (π mezon, π nol-mezon, ka-mezon, ka-nol mezon, η -mezon) massalari leptonlardan o'irro? lekin barionlarnikidan engilro shuning uchun ularni o'rta massali zarralar deyiladi.

Barionlar gruppasi nuklon va giperon kabi og'ir zarrachalarni birlashtiradi. Barionlar va mezonlar gruppalariga oid zarralarda kuchli o'zaro ta'sir namoyon bo'ladi. ba'zi zarralar bir vaqtning o'zida bir necha o'zaro ta'sirda ?atnashishi mumkin.

E. Fermi 1952 yilda π -mezonlarning protonlarda sochilishini tekshirish jarayonida rezonanslar deb ataladigan zarralarni aniqlagan. Bu tajribada π -mezonlarning sochilish ehtimolligini ularning energiyasiga bog'liqligini ifodalovchi grafikda keskin maksimumlar kuzatiladi.

Hozirgi paytda olimlar ma'lum elementar zarralardan ham elementarro zarralar mavjud emasmikan? Degan savolga javob idirmodalar. Ba'zi nazoriyotcha fiziklarning fikricha tabiatda hali kashf qilinmagan zarralar mavjudki, bu zarralardan hozircha elementar deb atalayotgan zarralar tashkil topgandir.

Hozirgi zamon fizikasining asosiy muammolari. Fizikaning eng muhim fundamental muammolaridan biri elementar zarralar sohasida materiyani o'rgnishdir. Bu sohada 1964 yilda Gell-Man tomonidan taklif etilgan gipoteza

e'tiborga loyi?. Bu gipotezaga asosan barcha mezonlarni, barionlarni va rezonanslarni kvarklar deb nomlangan uch zarra va antikvarklar deb atalgan uch zar-
raning turli kombinაციyalardagi bog'lanishi tarzida vujudga keltirish mumkin.
Agar bu gipoteza tasdiqlansa, hozirgacha ma'lum bo'lgan elementar zarralar mas-
salari spektrini nazariy aniqlash masalasi ham echilmagan. Kvarklar va boshqa
fundamental zarralar massalarining yuqori chegarasi bor-yo'qligi ham aniq emas.
O'zaro tortishishning kvant nazariyasini yaratish sohasidagi masalalar ham
echilmagan.

Astrofizika sohasida ham birqancha muammolar mavjud. Katta zichlik va
bosimlarda neytron yulduz va qora teshik ichidagi materiyaning hlati hozirgacha
aniq emas. Kvazarlar va radio galaktikaning tabiati hamda o'tayangi yulduzlardagi
chaqnashlar va γ nurlarning sochilishi ham muammo bo'lib qolmoda. Termoyadro
reaksiyalarida Quyoshdan kelayotgan neytrinolarning qayd qilingan soni nazariya
bo'yicha hisoblanganidan kamligini tushunib bo'lmaydi. O'tayangi yulduzlardagi
chaqnashlarda hosil bo'ladigan kosmik nurlar (zaryadlangan zarralar)ni tezlatish
mehanizmi va pulsarlarning elektromagnit nurlanishi mehanizmlari ohirigacha
aniqlanmagan. Shu bilan birga koinot evolyuciyasi muammolarini hal qilish endi
boshlandi.

Yadro fizikasi sohasida ham bir qancha muammolar mavjuddir. Bular atoriga
kuchli o'zaro ta'sir nazariyasining yo'qligi hamda nazariy izlanishlar natijasida
aniqlangan atom tartibi 114 dan 126 gacha bo'lgan ko'p yashaydigan elementlarni
eksperimental tasdiqlash kabi masalalar kiradi.

Hal qilinishi zarur bo'lgan masalalardan biri boshqariladigan termoyadro sin-
tezi muammosidir. Deyteriy-tritiyning issiq plazmasi yaratish bo'yicha nazariy va
eksperimental izlanishlar keng miyosda olib borilmoda.

Kvant elektronikasi sohasida bir nechta muammolarni hal qilish zarur. Laz-
erlar bilan moddalarni termoyadro haroratigacha qizdirish kosmosda aloqani amal-
ga oshirish shular jumlasiga kiradi. hal qilinishi lozim bo'lgan asosiy muammolar
atoriga lazer nurlar quvvatini oshirish va to'lqin uzunligini diapazonini ken-
gaytirish hamda rentgen va g-lazerni yaratish kabi masalalardir.

Qattiq jismlar fizikasi sohasidagi muammolarga, mehanik mustahkamlik, is-
siqlikka chidamli, elektrik, optik va magnit xossalari bo'yicha ekstremal (eng past
yoki eng yuqori) xususiyatlarga ega bo'lgan materiallarni yaratish masalasi kiradi.
Yuqori haroratli o'tao'tkazuvchan materiallarni hosil qilish elektr energiyasini
uzoq masofalarga ortiqcha energiya sarflamasdan uzatish imkoniyatini beradi.
Ishonchli va miniatyur yarimo'tkazgichli qurilmalar yaratishning yangi fizik

uslublarini ishlab chiqish zarur yuqori bosimli va o'ta past harortli muhitlarni yaratish uslublari ishlab chiqilishi kerak va hakoza.

Nazorat savollari

1. Atom spektrlari xaqida tushuncha.
2. Atom spektridagi seriyalar.
3. Atomni spektridagi qonuniyatlar.
4. Atomni Tomson modeli.
5. Rezerford tajribalari.
6. Atomni yadro modeli.
7. Bor postulotlari.
8. Atom yadrosi qanday zarralardan tarkib topgan.
9. Yadro massa soni, yadro belgisi.
10. Yadro massasi va bog'lanish energiyasi.
11. Radioaktivlik, α , β , γ -nurlanish.
12. Radioaktiv nurlarni qayd qilish usullari.
13. Yadroviy reaksiyalar
14. Yadroviy reaksiyalarada salanish qonunlari
15. Yadrolarning bo'linishi
16. Zanjir reaksiya
17. Reaktorlar
18. Yadrolar sintezi nima.
19. Termoyadroviy reaksiya.
20. Neytronlar nurlanishi.

MUNDARIJA

Soʻz boshi.....	4
MEXANIKA ASOSLARI. Moddiy nuqta kinematikasi. Moddiy nuqtaning toʻgʻti chiziqli harakati.	7
Moddiy nuqtaning aylana boʻylab harakati. Burchak tezlik va burchak tezlani-shi.....	12
Dinamika asosiy qonunlari.....	19
Energiya va mexanik ish. Mexanik energiyaning saqlanish qonuni.....	33
Impulʼs. Impulʼsning saqlanish qonuni.....	46
Aylanma harakat dinamikasi.....	59
Deformatsiya turlari va Guk qonuni.....	68
Tebranishlar va toʻlqinlar. Garmonik tebranma harakat	70
Tebranma harakat dinamikasi. Matematik.	80
MOLEKULYAR FIZIKA VA TERMODINAMIKA. Molekulyar-kinetik nazari-ya va termodinamikaning asoslari. Gazlar kinetik nazariyasining asosiy tengla-masi.....	97
Termodinamik sistemalar asosi. Ichki energiya. Gazlarning issiqlik sigʻimi. Termodinamikaning 1-qonuni.....	109
Molerulalarning oʻrtacha tezligi.....	124
Real gazlar. Vandervakms tenglamasi. Real gazning ichki energiyasi	133
Elektrostatika. Zaryadning saqlanish qonuni. Kulon qonuni.	150
Elektr maydoni. Elektr maydon kuchlanganlik vektori. Gauss teoremasi va uning tadbiqi.....	160
Elektrostatik maydon kuchlarining bajargan ishi. Elektr maydon potentsiali. Elektr maydon kuchlanganligi va potentsial orasidagi bogʻlanish.	172
Elektr maydonda oʻtkazgichlar va dielektriklar. Elektr sigʻimi va elektr maydon energiyasi.....	183
Oʻzgarmas elektr toki . Om qonuni. Tarmoqlangan elektr zanjirlar. Kirxgov qonunlari.....	194
Turli muhitlarda elektr toki.....	212
Zaryadlanhan zarralar va toklarning magnit maydoni. Magnit maydon induksiyasi va kuchlanganligi.	223
Magnit maydonni tokli oʻtkazgichga taʼsiri. Amper qonuni. Tokli oʻtkazgichni magnit maydonida koʻchirishda bajarilgan ish. Magnit maydoniga kiritilgan zaryadli zarrachaning harakati. Lorens kuchi.....	232
Elektromagnit induksiya. Faradey va Lens qonuni Magnit maydon energiyasi. El-ektromagnit maydon uchun Maksvell tenglamalari. Elektromagnit toʻlqinlar. Te-branish konturi.....	238
OPTIKA. Yorugʻlikning tabiati. Yorugʻlik interferensiyasi. Kogerent toʻlqinlar.	

Yorug`lik difraksiyasi.	247
Yorug`likning qutblanishi. Malyus qonuni. Yorug`likning anizotrop muhit orqali o`tishi, ikkilanma nur sindirish. Vavilov-Cherenkov nurlanishi	254
Issiqlik nurlanishi. Absolyut qora jism uchun issiqlik nurlanish qonunlari.....	268
Yorug`likning kvant hossalari. Fotoeffekt.....	275
ATOM FIZIKASI. Atomning yadroviy modeli. Bor postulatlari. Atom yadrosining tarkibi va asosiy harakteristikalar. Yadrolarning bog`lanish energiyasi.....	280
Tabiiy radioaktivlik. Yadrolarni bo`linishi. Termoyadroviy reaksiyalar.....	287
Yadroviy nurlarni qayd qilish usullari.....	289