

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

TOSHKENT KIMYO-TEXNOLOGIYA INSTITUTI

«FIZIKA VA ELEKTROTEXNIKA» KAFEDRASI

Qosimjonov M.O., Ernazarov SH.N.

FIZIKADAN MA'RUZALAR MATNI

1 – QISM

**(MEXANIKA, MOLEKULYAR FIZIKA,
ELEKTROSTATIKA VA O'ZGARMAS TOK)**

Toshkent - 2006 yil

Tuzuvchilar: Qosimjonov M.O., Ernazarov SH.N.

Ma'ruzalar matni fizika kursining mexanika, molekulyar fizika, elektrostatika va o'zgarmas tok bo'limlariga bag'ishlangan. Ushbu ma'ruzalar matniga kiritilgan mavzular mexanik hodisalar, gaz qonunlari, elektrostatik maydon va o'zgarmas tok qonunlarini talabalar tomonidan o'zlashtirishlarida zarur qo'llanma bo'lib hisoblanadi. Ma'ruzalar matni 18 ta ma'ruza mavzularidan iborat. Bunda har bir ma'ruza bo'yicha o'rganiladigan mavzular nomi, ularning mazmuni, mohiyati hamda shu mavzuga tegishli chizmalar va matematik formulalar keltirilgan. Shu bilan birga har bir ma'ruza mavzusi oxirida tayanch so'z va iboralar, nazorat savollari keltirilgan. Ma'ruzalar matni oxirida foydalanilishi zarur bo'ladigan adabiyotlar ro'yxati berilgan.

Mazkur ma'ruzalar matni oliy texnika o'quv yurtlari, shu jumladan, kimyo-texnologiya yo'nalishi bo'yicha ta'lim oluvchi bakalavrlar uchun mo'ljallangan.

**Taqrizchi: Toshkent Davlat Texnika Universiteti
professori f-m.f.d. Risboev A.S.**

«Fizika va elektrotexnika» kafedrasining majlisida chop etishga tavsiya qilingan (4-sonli bayonnoma, 12.10.2005 yil). Institut o'quv-uslubiy kengashi majlisida (1-sonli bayonnoma, 20.10.2005 yil) tasdiqlangan.

M u n d a r i j a

1 - Ma'ruza. Moddiy nuqta.Sanoq sistemasi. Radius-vektor va trayektoriya tushunchalari. Tezlik va tezlanish. Moddiy nuqtaning aylana bo'ylab harakati. Burchak tezlik va burchak tezlanishi.....	4
2 - Ma'ruza. Nyutonning birinchi qonuni. Inertsial sanoq sistemasi. Nyutonning ikkinchi va uchinchi qonunlari.....	9
3 - Ma'ruza. Tabiatda kuchlar: elastiklik, ishqalanish va og'irlik kuchlari. Gravitatsion maydon. Butun olam tortishish qonuni.....	11
4 - Ma'ruza. Impuls.Impulsning saqlanish qonuni.Mexanik ish va energiya. Kinetik va potentsial energiya. Energiyaning saqlanish qonuni. Quvvat.....	17
5 - Ma'ruza. Aylanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasi. Kuch momenti. Jismning inertsia momenti. Impuls momenti va uning saqlanish qonuni. Aylanma harakat qilayotgan jismning energiyasi.....	23
6 - Ma'ruza. Garmonik tebranishlar va ularning tenglamalari. Fizik va matematik mayanitklar. Garmonik tebranishlar energiyasi.....	29
7 - Ma'ruza. To'lqin jarayoni. Bo'ylama va ko'ndalang to'lqinlar. To'lqin tenglamasi. Fazaviy va guruhli tezliklar.....	33
8 - Ma'ruza. Termodinamik parametrlar. Ideal gaz qonunlari. Ideal gazning holat tenglamasi. Gaz bosimining molekulyar-kinetik nazariyasiga oid tenglamasi.....	37
9 - Ma'ruza. Erkinlik darajasi. Ideal gaz ichki energiyasi. Termodinamikaning birinchi qonuni. Ideal gazning issiqlik miqdori va sig'imi. Adiabatik jarayon.....	43
10-Ma'ruza. Gaz molekullari tezligining absolyut qiymatlari bo'yicha taqsimoti. Maksvell taqsimoti. Barometrik formula. Boltsman taqsimoti.....	49
11-Ma'ruza. Qaytar va qaytmas jarayonlar. Termodinamikaning ikkinchi qonuni. Karno aylanma jarayoni. Issiqlik mashinasining foydali ish koefitsenti (F.I.K.).....	54
12-Ma'ruza. Real gazlar. Van-der-Vaals tenglamasi. Kritik holat. Real gazlarning ichki energiyasi. Joule-Tomson effekti.....	60
13-Ma'ruza. Elektr maydon. Kulon qonuni. Elektr maydon kuchlanganligi. Maydonlarning superpozitsiya printsipi. Kuchlanganlik chiziqlari.....	65
14-Ma'ruza. Elektr maydon ishi. Potentsial. Elektr maydon kuchlanganligi va potentsial orasidagi bog'lanish. Ekvipotentsial sirtlar.....	69
15-Ma'ruza. Kuchlanganlik vektorining oqimi. Gauss teoremasi. Ba'zi elektrostatik maydonlar uchun Gauss teoremasining tadbiqui.....	72
16-Ma'ruza. Elektrostatik maydonda o'tkazgich. Zaryadlarning taqsimlanishi. Elektr sig'im. Kondensatorlar. Elektrostatik maydon energiyasi.....	75
17-Ma'ruza. Elektrostatik maydondagi dielektrik. Elektr maydonda dielektriklar polyarizatsiyasi. Segnetoelektriklar.....	80
18-Ma'ruza. O'zgarmas tok. Tok kuchi va zichligi. Om qonuni. Elektr yurituvchi kuch. Kirxgof qoidalari. Tokning ishi va quvvati.....	84
Adabiyotlar.....	88

1 - Ma'ruza

Moddiy nuqta. Sanoq sistemas. Radius-vektor va trayektoriya tushunchalari. Tezlik va tezlanish. Moddiy nuqtaning aylana bo'ylab harakati. Burchak tezlik va burchak tezlanishi

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

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

Radius – vektor va trayektoriya tushunchasi. Koordinatalar boshidan kuzatilayotgan nuqtaga o'tkazilgan Z vektorning koordinata o'qlaridagi proeksiyalari nuqtaning koordinatalariga mos ravishda tengdir, ya'ni $r_x = x$; $r_y = y$ va $r_z = z$. Agar nuqtaning fazodagi o'rnini 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.

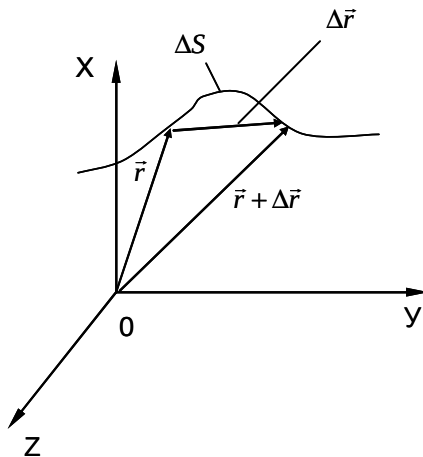
Harakat qilayotgan jismning berilgan vaqt oralig'idagi harakat trayektoriyasi deganda, shu oralig'dagi vaqtning har qanday qiymatlarida kuzatilayotgan jismning fazodagi o'rinlarini ifodalovchi nuqtalarning o'zaro qo'shilishidan iborat bo'lgan chiziqni tushuniladi.

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 trayektoriya bo'yicha harakatlanayotgan bo'lib, biror t vaqtda uning fazodagi o'rnini $\vec{r}$ radius-vektor orqali va oradan Δt vaqt o'tgandan so'ng, ya'ni $t + \Delta t$ da nuqtaning fazodagi o'rnini $\vec{r} + \Delta \vec{r}$ radius-vektor orqali ifodalansin (1.1- rasm.) Demak, radius-vektor Δt 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 Δt 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. Yukorida ta'kidlab o'tilganlarni matematik usulda quyidagicha yozish mumkin:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \vec{v} \quad (1.1)$$

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



1.1- rasm

Demak, biror trayektoriya bo'yicha harakatlanayotgan jismning istalgan nuqtadagi tezlik vektori trayektoriyaning shu nuqtasiga o'tkazilgan urinma bo'yicha yo'nalgan bo'lar ekan.

Matematika kursidan ma'lumki, (1.1) formula asosida tezlik vektorini radius-vektoridan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosila ko'rinishida yozish mumkin, ya'ni

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (1.2)$$

1.1-rasmdan ko'rinadiki, berilgan t uchun, Δt uzluksiz kamayib borsa, $\Delta \vec{r}$ ning moduli ΔS ga intiladi va (1.1) formulaga asosan tezlik vektorining modulini quyidagicha yozish mumkin:

$$|\vec{v}| = v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1.3)$$

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

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (1.4)$$

(1.4) formuladagi o'rniga uning (1.2) munosabatdagi ifodasini keltirib qo'ysak,

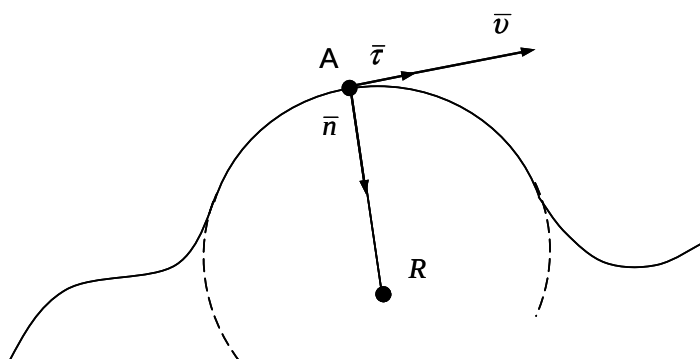
$$a = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} \quad (1.5)$$

hosil bo'ladi.

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

Moddiy nuqtaning harakat traektoriyasi egri chiziqdan iborat bo'lgan umumiy xolni ko'rib chiqaylik. Trayektoriyada ixtiyoriy ravishda biror A nuqtani tanlab (1.2-rasm), shu nuqta orqali egrilik doyrasini 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 $\bar{n}$ egrilik radiusi bo'ylab yo'nalgan bo'lsin.



1.2 – rasm

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

$$\vec{v} = v \bar{\tau} \quad (1.6)$$

A nuqta moddiy nuqta deb qaralishi mumkin bo'lgan jismning biror vaqt fazodagi o'rnini ko'rsatadi. Vaqt o'tib borishi bilan A nuqta traektoriya bo'ylab ko'cha boshlaydi va shunga mos ravishda $\bar{\tau}$ vektorining yo'nalishi ham o'zgarib boradi. Buni e'tiborga olgan xolda (1.6)ni (1.4)ga keltirib qo'yib quyidagini yozish mumkin:

$$\bar{a} = \frac{d(v \cdot \bar{\tau})}{dt} = \bar{\tau} \frac{dv}{dt} + v \frac{d\bar{\tau}}{dt} \quad (1.7)$$

(1.7) formuladan ko'rinadiki, tezlanish vektori ikkita tashkil etuvchining yig'indisidan iborat ekan: birinchisi (birinchi xad) 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 xarakterlovchi tezlanish. Shuning uchun tezlanish vektorining bu tashkil etuvchilarini mos ravishda urinma (tangensial) tezlanish $\bar{a}_t$ va markazga intilma (normal) tezlanish $\bar{a}_n$ deb ataladi. (1.7) ni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

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

(1.8)

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

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} \quad \text{va} \quad a_n = \frac{v^2}{R} \quad (1.9)$$

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 trayektoriyasi 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 $v = v_0 + at$ 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:

$$S = v_0 t \pm \frac{at^2}{2} \quad (1.10)$$

Moddiy nuqtaning aylana bo'ylab harakati.

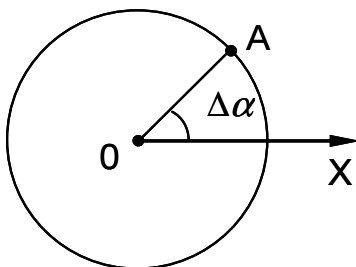
Burchak tezlik va burchak tezlanishi

Burchak tezligi va burchak tezlanish. Moddiy nuqta harakatining traektorisi aylana shaklida bo'lsa, bunday harakat aylanma harakat deb ataladi. Agar OA 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

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (1.11)$$

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

$$ds = v dt$$



1.3 - rasm

bunda r - $\vec{OA}$ radius-vektorning uzunligi. Yuqoridagi formuladan $d\varphi$ elementar burchakka burilish uchun:

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

ni (1.10) ga keltirib qo'yamiz va chiziqli hamda burchakli tezliklar orasidagi quyidagi munosabatni olamiz: $v = \omega r$ (1.12)

Aylana buylab tekis harakat uchun (1.12) 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 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ yoki $\omega = 2\pi\nu$ (1.13)

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 ω ga o'zgargan bo'lsa, burchakli tezlanishning shu vaqt oralig'idagi o'rtacha qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (1.14)$$

Burchakli tezlanishi berilgan t vaqtdagi qiymatini

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} \quad (1.15)$$

kurinishda yozib, (1.12) ni (1.15) ga keltirib qo'ysak quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$\varepsilon = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (1.16)$$

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

TAYANCH SO'Z VA IBORALAR

Kinematika, moddiy nuq'ta, radius vektor, traektoriya, tekis harakat, tezlik, o'rtacha tezlik, tezlanish, burchak, radian, burilish burchagi, aylanma harakat, aylanish davri, aylanish chastotasi, chiziqli tezlik, burchak tezlik, burchak tezlanish.

Nazorat savollari

1. Moddiy nuqtaga ta'rif bering.
2. Sanoq sistemasi deb nimaga aytiladi.
3. Traektoriya, ko'chish va yo'l deb nimaga aytiladi.
4. Tezlik qanday fizik kattalik.
5. Tezlanishni tushintiring.
6. Tezlik va tezlanish birliklari qanday aniqlanadi.
7. Siljish masofasi va radius vektor o'zgarishi qanday.
8. Tekis aylanma harakat deb qanday harakatga aytiladi.
9. Tekis o'zgaruvchan harakat deganda nimani tushinasiz.
10. Burchak tezligi deb nimaga aytiladi.
11. Burchak tezlanishi qanday aniqlanadi.
12. Chiziqli tezlik va burchak tezligi orasida qanday bog'lanish bor.
13. Chiziqli tezlik va burchak tezlanish vektori qanday aniqlanadi.

2 – Ma'ruza

Nyutonning birinchi qonuni. Inertsial sanoq sistemasi.

Nyutonning ikkinchi va uchinchi qonunlari

Bugungi kungacha olib borilgan kuzatishlar katta massali jismlar yorug'lik tezligiga nisbatan juda kichik tezliklarda harakatlanayotgan holldarda Nyuton qonunlari xaqiqatni juda to'g'ri aks ettirishini ko'rsatadi. Nyuton qonunlariga asoslangan mexanika Nyuton mexanikasi yoki klassik mexanika deb ataladi.

Nyutonning birinchi qonuni quyidagicha ta'riflanadi: har qanday jism o'zining tinch xolatini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakat xolatini unga boshqa jismlar tomonidan ta'sir ko'rsatilib, uning shu xolatini o'zgartirishga majbur qilmaganlaricha saqlaydi.

Berilgan jism bilan atrofdagi boshqa jismlarning bir biriga ko'rsatayotgan ta'sirini yoki turli xil tashqi maydonlarning shu jismga ko'rsatayotgan ta'sirini miqdor jixatdan harakterlovchi fizik kattalik kuch deb ataladi.

Berilgan sanoq sistemasiga nisbatan Nyutonning birinchi qonuni bajarilsa, bunday sistema inertsial sanoq sistema, aks xolda noinertsial sanoq sistema deyiladi. Inertsial sanoq sistemaga nisbatan tinch xolatda turgan yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatda bo'lgan har qanday sanoq sistema inertsial sanoq sistemadir.

Dinamikaning ikkinchi qonunini Nyuton quyidagicha ta'riflagan: harakat miqdorining o'zgarishi harakatlantiruvchi kuchga proporsional va shu kuch ta'siri yuz berayotgan to'g'ri chiziq yo'nalishi bo'yicha sodir bo'ladi.

Harakat miqdori deganda Nyuton jism massasini uning tezligiga ko'paytmasini tushungan. Hozirgi kunda "Harakat miqdori" o'rniga $\vec{p} = m\vec{v}$ (2.1) kattalik jism impulsi deb ataladi.

Massa berilgan jism inertligining o'lchovidan iborat kattalikdir. Jism inertligi deganda, har qanday tashqi ta'sirga nisbatan jismning qarshilik ko'rsatuvchanlik yoki tashqi ta'sirga berilmaslik xususiyati tushuniladi. Yuqoridagilarni xisobga olib Nyutonning ikkinchi qonunini quyidagicha ta'riflashimiz mumkin: jism impulsining vaqt bo'yicha o'zgarish tezligi shu jismga ta'sir etayotgan kuchga yoki kuchlarning teng ta'sir etuvchisiga teng:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F} \quad (2.2)$$

(2.1) dan impuls ifodasini (2.2) ga keltirib qo'ysak

$$\frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{F} \quad (2.3)$$

ifodaga ega bo'lamiz. Jism harakatining tezligi yorug'likning vakuumdagi tezligidan juda kichik bo'lgan hollarda, ya'ni klassik mexanika doirasida jism massasi m o'zgarmas kattalikdan iborat deb qaraladi. Bu xolda (2.3) ni quyidagicha yozish mumkin:

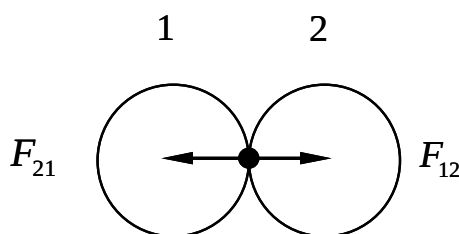
$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}$$

$\frac{dv}{dt}$ - harakat tezlanishi ekanligini e'tiborga olib, yuqoridagi formulani quyidagi

ko'rinishda yozishimiz mumkin: $m\vec{a} = \vec{F}$

Demak, klassik mexanika doirasida Nyutonning ikkinchi qonunini quyidagicha tariflashimiz mumkin: *jismga ta'sir etayotgan kuch jism massasi bilan shu kuch ta'sirida jismning olgan tezlanishining ko'paytmasiga teng.*

Dinamikaning uchinchi qonunini Nyuton quyidagicha ta'riflagan: Ta'sirga hamma vaq teng va qarama-qarshi aks ta'sir mavjud; boshqacha aytganda, ikkita jismning bir-biriga o'zaro ta'sirlari o'zaro teng va qarama-qarshi yo'nalgan".



$$F_{21} = -F_{12}$$

2.1-rasm

Ta'rifda "ta'sir" va "aks ta'sir" iborolari bo'lib, yuzaki qaraganda "ta'sir"- birlamchi va "aks ta'sir" ikkilamchiga o'xshab ko'rinadi. Lekin "ta'sir" va "aks ta'sir" lar o'zlarining fizik tabiati bo'yicha aynan bir xildir. Har qnday ikki jismning bir-biriga ko'rsatayotgan ta'siri o'zarolik harakteriga egadir.

Nyutonning uchinchi qonunini quyidagicha ta'riflash mumkin: moddiy nuqta deb qaralishi mumkin bo'lgan ikki jismning bir-biriga har qanday ta'siri o'zaro ta'sir harakteriga ega bo'lib, ularning bir-biriga ko'rsatayotgan ta'sir kuchlari har doim kattalik jixatidan teng va yo'nalishi jixatidan qarama-qarshidir.

TAYANCH SO'Z VA IBORALAR

Sanoq sistimasi, inirtsia tushunchasi, Nyutonning birichi qonuni, massa, tezlanish, kuch, Nyutonning ikkinchi qonuni, Nyutonning uchinchi qonuni, impuls.

Nazorat savollari

1. Inertsial sanoq sistemasini tushintiring.
2. Nyutonning birinchi qonuni ta'riflang.
3. Impuls deb nimaga aytiladi.
4. Kuch qanday fizik kattalik
5. Nyutonning ikkinchi va uchinchi qonuni ta'riflang.
6. Massa qanday fizik kattalik.
7. Kuch birligi qanday aniqlanadi.

3 – Ma'ruza

Tabiatda kuchlar: elastiklik, ishqalanish va og'irlik kuchlari. Gravitatsion maydon. Butun olam tortishish qonuni

Umuman hozirgi kunda ma'lum bo'lgan hamma kuchlarni to'rt xil asosiy toifaga ajratish mumkin: tortishish kuchlari, elektromagnit kuchlar, qudratli uzaro ta'sir kuchlari (masalan, yadroda zarralarning o'zaro ta'sir kuchlari) va zaif o'zaro ta'sir kuchlari (masalan, elementar zarralarning emirilishida sodir bo'ladigan kuchlar).

Mavjud bo'lgan har qanday jismlar o'zaro tortishib turadi. Jismlar orasidagi tortishish kuchlarining qonuniyatini 1687 yilda Nyuton aniqlagan bo'lib, uni odatda butun olam tortishish qonuni deb ataladi. Bu qonunga ko'ra moddiy nuqta deb qaralishi mumkin bo'lgan har qandai ikki jism massalarining ko'paytmasiga to'g'ri proporsional va oralaridagi masofaning kvadratiga teskari proporsional kuch bilan bir-biriga tortilib turadi. Bu kuchning modulini quyidagicha ifodalash mumkin

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (3.1)$$

bunda γ - tortishish (gravitatsiya) doimiysi bo'lib, uning qiymati $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$ ga teng. (3.1) ni sharsimon shakldagi, bir jinsli, ixtiyoriy massaga ega bo'lgan jismlar uchun ham qo'llash mumkii. Jism bilan yer orasidagi o'zaro tortitish kuchining modulini quyidagicha yozish mumkin

$$F = \gamma \frac{m M_{\text{Yer}}}{R_{\text{Yer}}^2} \quad (3.2)$$

bunda m - Yer sirtidagi jism massasi; M_{Yer} - Yerning massasi, R_{Yer} - Yer sharining radiusi.

Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan m massali jism F_{tor} - tortitish kuchi ta'sirida Yer bilan bog'liq sanoq sistemasiga nisbatan biror tezlanish bilan harakatga keladi:

$$F_{\text{tor}} = ma \quad (3.3)$$

(3.2) va (3.3) ni o'zaro tenglab, Yerning tortish kuchi ta'sirida kuzatilayotgan jismning olgan tezlanishini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$a = \gamma \frac{M_{\text{Yer}}}{R_{\text{Yer}}^2} \quad (3.4)$$

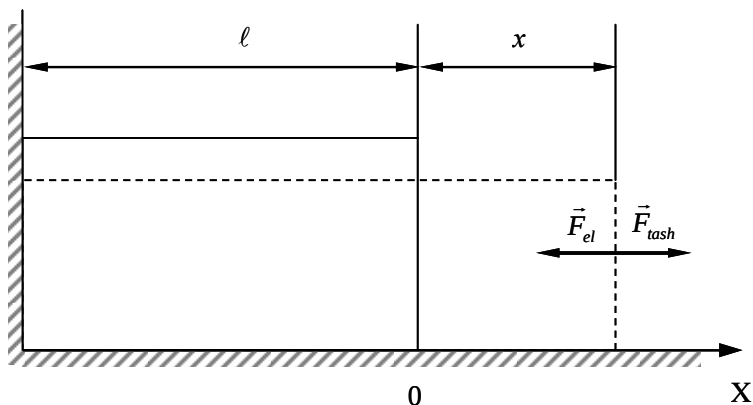
(3.4) formuladagi kattaliklar o'zgarmas qiymatga ega ekanliklarini e'tiborga olsak, jism harakatiga qarshilik ko'rsatuvchi kuchlar mavjud bo'lmagan xollardagi Yer sirtiga yaqin balandliklarda har qanday jism bir xil tezlanish bilan tushadi degan xulosaga kelamiz. Boshqacha aytganda, (3.4) da faqat Yerning tortishish kuchi ta'sirida vujudga kelgan erkin tushish tezlanishidir, shuning uchun uni g orqali belgilaylik, ya'ni

$$g = \gamma \frac{M_{\text{Yer}}}{R_{\text{Yer}}^2} \quad (3.5)$$

Jism og'irligi deganda, tutib turuvchi taglikka yoki osmaga shu jism tomonidan ko'rsatilayotgan $\vec{N}$ ta'sir kuchi tushuniladi. Shuni ta'kidlab o'tish kerakki, $\vec{P}$ jismga qo'yilgan $\vec{N}$ esa taglikka qo'yilgan, lekin jismning harakatsiz xolatida bu kuchlar modul jixatidan bir-biriga teng bo'lib, yo'nalishlari esa qarama-qarshidir.

Elastiklik kuchlari. Harqanday qattiq jism tashqi kuchlar ta'sirida o'zining shaklini va xajmini o'zgartiradi. Bunday o'zgarish deformatsiya deb ataladi. Tashqaridan qo'yilgan kuchlarning ta'siri to'xtashi bilan yo'qolib ketuvchi deformatsiyalar elastik deformatsiyalar deb ataladi. Kuchlarning ta'siri to'xtagandan so'ng jismda saqlanib qoluvchi deformatsiyalar plastik yoki qoldiq deformatsiyalari deb ataladi.

Deformatsiyaning jarayonida qattiq jismni tashkil etuvchi zarrachalar (molekulalar va atomlar)ning ma'lum qismi bir-birlariga nisbatan siljiydi. Bunday siljishga qattiq jism tarkibidagi zaryadlangan zarrachalar orasidagi elektromagnit kuchlari qarshilik ko'rsatadi. (Zaryadlangan zarrachalar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari elektromagnit ta'sir kuchlari deb ataladi). Natijada deformatsiyanayotgan qattiq jismda son jixatidan tashqaridan qo'yilgan kuchga teng, lekin qarama-qarshi yo'nalishga ega bo'lgan ichki kuch-elastiklik kuchi vujudga keladi. Deformatsiyalarning turlari juda ko'p bo'lib tushunish oson bo'lishi uchun eng sodda deformatsiyalardan birini-bir tomonlama cho'zilish yoki bir tomonlama siqilishni qarab chiqaylik.



3.1 – rasm

Uzunligi l ga, ko'ndalang kesimining yuzi esa S ga teng bo'lgan bir jinsli rezina sterjen stol sirtiga qo'yilgan va uning bir uchi devorga maxkamlangan bo'lsin (3.1-rasm). Agar X o'qining musbat yunalishi bo'yicha sterjen ko'ndalang kesimning yuzaga tik ravishda tashqi $\vec{F}_{tash}$ kuch ta'sir qilsa, sterjenning uzunligi x qiymatga ortadi, ya'ni cho'ziladi. Deformatsiyaning (cho'zilish) jarayonida, sterejenda uni avvalgi xoliga qaytarishga intiluvchi, son jixatidan $\vec{F}_{tash}$ kuchga teng lekin qarama-qarshi yo'nalishga ega bo'lgan $\vec{F}_{el}$ elastiklik kuchi vujudga keladi.

Deformatsiyaning darajasini sterjen uzunligining nisbiy o'zgarishi $\frac{x}{l} = \varepsilon$ orqali belgilanadi. Deformatsiyaga sabab bo'lgan tashqi ta'sir esa ta'sir etuvchi kuchning

sterjen ko'ndalang kesimi yuziga nisbati $\frac{F_{tash}}{S} = \sigma$ orqali aniqlanadi. Tashqi va elastiklik kuchlari son qiymatlari bo'yicha o'zaro teng, yo'nalishlari esa qarama-qarshi ekanligini e'tiborga olib, bu kuchlarning X o'qiga proektsiyalarini quyidagicha yozish mumkin:

$$F_{tash.x} = -F_{el.x} ; \quad \sigma = \frac{F_{el}}{S} \quad (3.6)$$

bunda σ ni mexanik kuchlanish deb atalib, u kuzatilayotgan sterjen ko'ndalang kesimining birlik yuziga to'g'ri keladigan elastiklik kuchini ifodalaydi.

Ingliz olimi Robert Guk tajribalar asosida elastiklik deformatsiyalarda vujudga keluvchi kuchlanish nisbiy cho'zilishga proportsional ekanligini ifodalovchi qonuni yaratadi. Gukning bu qonunini bir tomonlama cho'zilish yoki siqilishdan iborat deformatsiyalar uchun quyidagicha yozish mumkin:

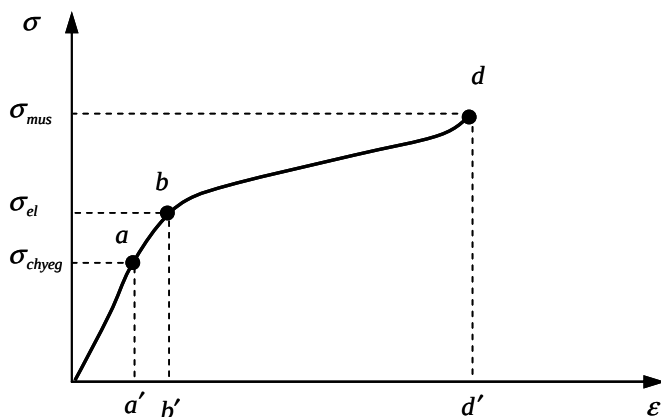
$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3.7)$$

(3.7)dagi E - o'zgarmas kattalik bo'lib, sterjenning qanday materialdan yasalganligiga va uning fizik xolatiga bog'liq. E -ni elastiklik moduli yoki Yung moduli deyiladi. (3.7) ga E - ning ifodasini keltirib qo'yib Yung modulini aniqlash mumkin:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\sigma}{x/l} \quad (3.8)$$

$x = l$ teng bo'lganda nisbiy uzayish $\frac{x}{l} = 1$ bo'ladi va E son jixatdan σ ga teng bo'lib qoladi. Demak, (3.8)dan foydalanib, quyidagi xulosaga kelish mumkin: Yung moduli E son jixatdan sterjen uzunligini ikki marta orttirilganda vujudga keladigan kuchlanishga teng.

Guk qonuniga asosan kuchlanish nisbiy cho'zilishga chiziqli bog'langan ekan. Tajribalar Guk qonuni faqat elastik deformatsiyaning kichik qiymatlarida aniq bajarilishini ko'rsatadi. 3.2-rasmda ba'zi bir metallar uchun kuchlanishnig nisbiy uzayishga bog'liqlik grafigi keltirilgan.

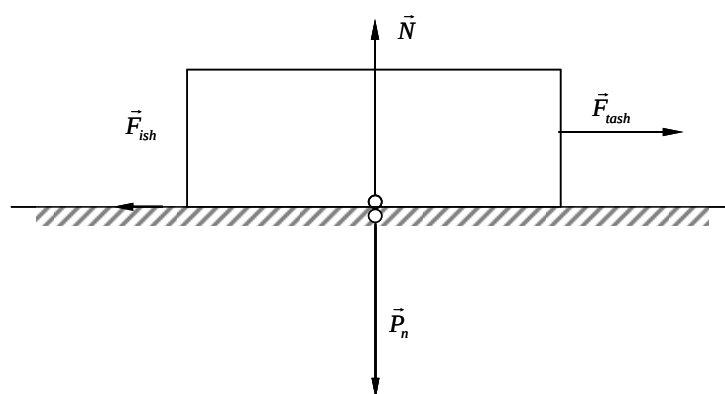


3.2-rasm

Bog'lanishning 0 dan a' gacha qismi to'g'ri chiziqdan iborat bo'lib, nisbiy uzayishining qiymatlari a' dan kichik bo'lgan xollarda Guk qonunining to'la bajarilishini ko'rsatadi. Makromolekulalardan tashkil topgan jismlar - polimerlar

uchun bu bog'lanish mutlaqo o'zgacha harakterga egadir. Makromolekula deb atalishning boisi shundan iboratki, polimerda har bir molekula juda ko'p miqdordagi atomlardan tashkil topgan. Masalan, polipropilen deb ataluvchi polimerning bir dona zanjirsimon molekulasi 10 000 lab polipropilen C_3H_7 molekulalarining bir-biriga qo'shilishidan hosil bo'lgan. Bunday polimerlarning elastik deformatsiyanishidagi nisbiy o'zgarish 600% dan ham yuqori qiymatga ega bo'lishi mumkin.

Ishqalanish kuchlari. Mexanikaga oid masalalarni xal etishda tortishish kuchlari va elastiklik kuchlari bilan bir qatorda ishqalanish kuchlari bilan ham ish ko'rishga to'g'ri keladi. Bir-biriga tegib turgan jismlar yoki bir jismning o'zaro tegib turgan bo'laklari bir biriga nisbatan ko'chganda hosil bo'ladigan kuchlar ishqalanish kuchlari deb ataladi.



3.3 – rasm

Ishqalanishlarni ikki toifaga bo'lish mumkin: tashqi ishqalanishlar va ichki ishqalanishlar. Sirtlari o'zaro tegib turuvchi qattiq jismlarni bir-birlariga nisbatan bo'lgan harakatga tashqi ishqalanish deb ataladi. Tashqi ishqalanishga misol qilib, biror qattiq jism sirtida ikkinchi qattiq jismning sirpanishida hosil bo'ladigan ishqalanishni keltirish mumkin. Berilgan jismning turli xil qismlarini bir-biriga nisbatan ko'chishlari tufayli vujudga keluvchi ishqalanish ichki ishqalanish deb ataladi.

Ichki ishqalanishga misol qilib, quvur bo'ylab oqayotgan suyuqlik yoki gazning quvur sirtidan turli masofada bo'lgan qatlamlarining turli tezliklarda harakatlanishini keltirish mumkin.

Tashqi va ichki ishqalanishlarni yana quruk va suyuq (qovushqoq) ishqalanishlarga ajratish mumkin. Qattiq jismlarning quruk sirtlari orasida hosil bo'ladigan ishqalanish quruk ishqalanish deb ataladi. Suyuqlik yoki gazning turli qatlamlari orasida hosil bo'ladigan ishqalanish suyuq ishqalanish deb ataladi.

Quruq ishqalanish. Gorizontol xolatdagi yassi tekislikda yog'och taxtacha tinch turgan bo'lsin (3.3. -rasm). Taxtacha og'irlik kuchining yassi tekislik sirtiga o'tkazilgan normalga nisbatan olingan proeksiyasi P_n son jixatidan yassi tekislikning shu jismga kursatayotgan N reaksiya kuchiga teng, yo'nalishi qarama-qarshidir. Taxtachani yassi tekislik bo'ylab harakatga keltirish uchun unga gorizontol yo'nalgan

F_m tashqi kuch bilan ta'sir qilish kerak. Lekin $\bar{F}_m$ ning qiymati berilgan xol uchun qandaydir aniq $\bar{F}_{m0}$ dan katta bo'lmaguncha taxtacha o'z joyida qo'zg'almay turaveradi. Demak, tashqi kuchning qiymati 0 dan $\bar{F}_{m0}$ gacha ortib borishida yassi-tekislik taxtachaga son jixatdan tashqi kuchga teng, lekin qarama-qarshi yunalgan qarshilik kuchi bilan ta'sir etadi

Tashqaridan qo'yilgan kuch tufayli hosil bo'layotgan qarshilik kuchi tinch xolatdagi ishqalanish kuchi deb ataladi.

Agar $\bar{F}_m$ ning qiymati $\bar{F}_{m0}$ dan kichik bo'lsa, taxtacha o'zining tinch-xolatini saqlab qoladi. Ammo taxtachaga ta'sir etayotgan tashqi kuch, tinch xolatdagi ishqalanish kuchining maksimal qiymatidan katta bo'lsa, taxtacha harakatga keladi, ya'ni yassi tekislik bo'yicha sirpana boshlaydi.

Tashqi kuchning ta'siri to'xtatilgandan so'ng esa, taxtacha o'zining to'g'ri chiziqli tekis harakati xolatini saqlab qolmaydi, harakat sekinlanuvchan harakatdan iborat bo'ladi. Chunki taxtacha sirpanayotganligi tufayli ishqalanish kuchi vujudga kelib, u xamma vaqt harakat tezligining yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalishga ega bo'ladi.

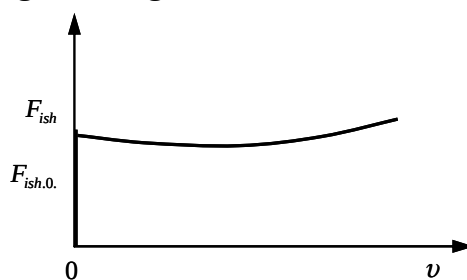
Tajribalar tinch xolatdagi $\bar{F}_{ish,0}$ ishqalanish kuchining maksimal qiymati tegib turgan sirtlarining kattaligiga emas, balki sirtlarning tabiatiga bog'liq ekanligini va og'irlik kuchining tekislikka tik yunalishda qo'yilgan P tashkil etuvchisiga to'g'ri proporsional ekanligini ko'rsatadi:

$$\bar{F}_{ish,0} = \mu_0 P_n \quad (3.9)$$

bunda μ_0 - tinch xolatdagi ishqalanish koeffitsiyenti bo'lib, tegib turgan sirtlarning tabiatiga bog'lik. Shuningdek, jismning harakati (sirpanishi) tufayli vujudga kelgan ishqalanish kuchi ham quyidagi munosabat orqali aniqlanadi

$$\bar{F}_{ish} = \mu P_n \quad (3.10)$$

bunda μ - sirpanishdagi ishqalanish koeffitsenti bo'lib, tegib turgan sirtlarning tabiatiga va bu sirtlarning bir-biriga nisbatan harakat tezligiga bog'liqdir.



3.4-rasm

3.4-rasmda sirpanishdagi ishqalanish kuchining nisbiy tezlikka bog'liklik grafigi keltirilgan. Ishkalanuvchi jismlar bir-biriga nisbatan tinch xolatda bo'lganda, ya'ni $v=0$ da tinch xolatdagi ishqalanish kuchi, ta'sir qilayotgan tashqi kuchning qiymatiga qarab 0 dan $\bar{F}_{uu,0}$ gacha qiymatlarning birortasiga teng bo'lishi mumkin. Tezlikning son qiymati ortib borishi bilan 3.4-rasmdagi grafik chizig'ida

ifodalanganidek, ishqalanish koeffitsenti avvaliga bir oz kamayib, so'ngra orta borishini ko'rsatadi.

TAYANCH SO'Z VA IBORALAR

Elastiklik, elastiklik kuchlari, deformatsiya, o'girlik kuchi, jismning og'irligi, ishqalanish kuchlari, tashqi ishqalsnish, ichki ishqalanish, suyuq ishqalanish, quruq ishqalanish.

Nazorat savollari

1. Og'irlik kuchi qanday kuch.
2. Gravitatsion kuch qanday qonunga ko'ra hosil bo'ladi.
3. Deformatsiya qanday fizik kattalik.
4. Elastiklik va Plastik deformatsiya deb nimaga aytiladi.
5. Guk qonuniga ta'rif bering.
6. Yung modulini tushuntiring.
7. Ishqalanish kuchlari qanday kuchlar. Ularning qanday turlari mavjud.

4 - Ma'ruza

***Impuls. Impulsning saqlanish qonuni. Mexanik ish va energiya.
Kinetik va potentsial energiya. Energiyaning saqlanish qonuni. Quvvat.***

Impuls. Impulsning saqlanish qonuni. Biror sistema tarkibidagi xar bir jismga ichki va tashqi kuchlar ta'sir etishi mumkin. Jismlarning o'zaro bir birlariga ko'rsatayotgan ta'sir kuchlari ichki kuchlarni tashkil qiladi. Sistemadagi jismlarning sistemadan tashqaridagi jismlar bilan o'zaro ta'sirlanishi natijasida vujudga keluvchi kuchlar tashqi kuchlar bo'ladi.

Nyutonning ikkinchi qonunini i - tartib nomerli jismga tadbiq etib, quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{d\vec{P}_i}{dt} = \vec{f}_i + \vec{F}_i \quad (4.1)$$

bunda P_i - i - tartib nomerli jismning impulsi, $\vec{f}_i$ va $\vec{F}_i$ shu jismga ta'sir etayotgan ichki va tashqi kuchlarning mos ravishdagi yig'indilari.

(4.1) ni sistemadagi barcha jismlar uchun quyidagicha yozamiz:

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

Yuqoridagi tengliklarni xadma - xad qo'shib chiqsak

$$\frac{d}{dt}(\vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \dots + \vec{P}_n) = \vec{f}_1 + \vec{f}_2 + \dots + \vec{f}_n + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n \quad (4.2)$$

hosil bo'ladi. (4.2) da $\vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \dots + \vec{P}_n = \vec{P}$ kattalik sistemaning to'la impulsini ifodalaydi. (4.2) ifodaga Nyutonning uchinchi qonunini tatbiq etib ya'ni sistemadagi jismlarning bir-birlariga ko'rsatayotgan o'zaro ta'sir kuchlari miqdor jixatidan teng va yo'nalishlari bo'yicha qarama-qarshi ekanligini e'tiborga olib, hamma ichki kuchlarning yigindisi 0 ga teng degan xulosaga kelimiz. Yuqoridagilarni hisobga olgan holda (4.2) ni quyidagicha yozamiz.

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \sum \vec{F}_i \quad (4.3)$$

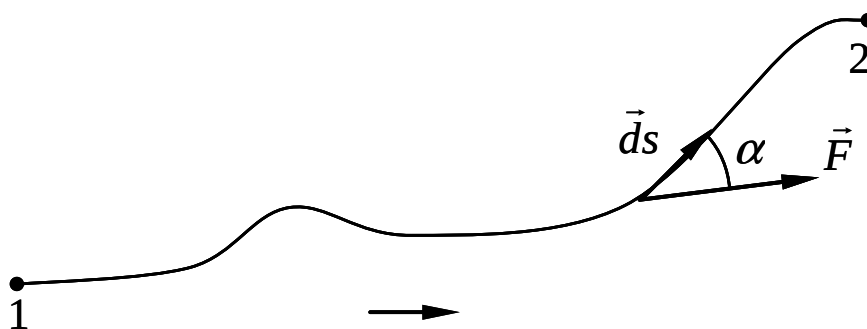
Sistemaning to'la impulsidan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosila sistemadagi jismlarga ta'sir etayotgan tashqi kuchlarning yig'indisiga teng ekan. Agar sistemadagi jismlarga hech qanday tashqi kuchlar ta'sir etmasa, ya'ni sistema berk

sistemadan iborat bo'lsa yoki tashqi kuchlarning yig'indisi 0 ga teng bo'lsa, (4.3) quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = 0 \quad \text{yoki} \quad \vec{P} = \text{const} \quad (4.4)$$

formuladan ko'rinadiki, sistemaning to'la impulsi vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi va qymatini saqab qoladi.

Ish va quvvat. Biror jism kuch tasirida bir nuqtadan ixtiyoriy trayektoriya bo'yicha ikkinchi nuqtaga ko'chirilgan bo'lsin. Umuman kuch 1 nuqtadan 2 nuqttagacha bo'lgan oraliqda, ham son qiymati bo'yicha, ham yo'nalishi bo'yicha o'zgarishi mumkin. Masofani fikran cheksiz miqdordagi juda kichkina bo'lakchalarga bo'laylik. Har bir ds bo'lakcha shu darajada kichikki, uni to'g'ri chizikdan iborat va ds uzunligida ta'sir etayotgan $\vec{F}$ kuch o'zgarmas qiymatga ega deb qarash mumkin. $\vec{F}$ kuchni shu kuch ta'sirida jismning $\vec{ds}$ ko'chish masofasiga skalyar ko'paytmasidan iborat kattalikka, $\vec{F}$ kuchning ko'chish masofasidagi bajargan elementar ishi deb ataladi va quyidagicha ifodalanadi:



8 – rasm

$$dA = \vec{F} \cdot \vec{ds} = F ds \cos \alpha \quad (4.5)$$

bunda α - kuch va ko'chish yo'nalishi orasidagi burchak.

Biror yo'lda bajarilgan ish va shu yo'lning barcha kichik qismlarida bajarilgan elementlar ishlar yiqindisiga teng, yani ish additiv kattalik. Shuning uchun jisimni bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga ko'chirishda bajarilgan ishning to'la miqdori quyidagicha yozilishi mumkin:

$$A = \int_1^2 F \cos \alpha ds \quad (4.6)$$

Jism o'zgarmas kuch tasirida to'g'ri chiziqli traektoriya bo'yicha ko'chayotgan bo'lsa, hususiy holda s masofada bajarilgan ish

$$A = F s \cos \alpha \quad (4.7)$$

Agar kuch yo'nalishi bilan ko'chish yo'nalishi bir xil bo'lsa, (4.7) ifoda yanada oddiy ko'rinishga ega bo'ladi:

$$A = F s \quad (4.8)$$

Vaqt birligida bajarilgan ish quvvat deb ataladi, yani

$$P = \frac{dA}{dt} \quad (4.9)$$

bunda dA - elementlar ish, dt -elementar dA ishni bajarish uchun ketgan vaqt.

(4.5) ifoda bo'yicha dA ning qiymati ni (4.9) munosabatga keltirib qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz.

$$p = F \frac{ds}{dt} \cos \alpha = F v \cos \alpha = \vec{F} \vec{v} \quad (4.10)$$

Demak, quvvat tasir etayotgan $\vec{F}$ kuchni shu kuch tasirida jism olgan $\vec{v}$ tezligiga skalyar ko'paytmasiga teng ekan. (4.8) va (4.9) formulalardan foydalanib, ish va quvvatning SI sistemasidagi birliklari bilan tanishib chiqaylik. Ish birligi qilib ko'chish yo'nalishida ta'sir qiluvchi 1 Nyuton kuchning 1 metr masofada bajargan ishi qabul qilingan va uni joule (J) deb ataladi. quvvat birligi qilib, 1 sekund vaqt ichida 1 joule ish bajaradigan mexanizimning quvvati qabul qilingan va bu birlikka vatt (Vt) deb nom berilgan.

Kinetik va potentsial energiya. Jismning yoki jismlar sistematinig ish bajara olish qobiliyatini energiya deb ataluchchi fizik kattalik orqali ifodalanadi. Mexanik energiya kinetik va potentsial energiyalardan iborat bo'ladi. Kinetik energiyaning mazmuniga tushunish uchun massasi m ga teng, moddiy nuqta deb qaralishi mumkin bo'lgan jism tezligini F kuch ta'sirida v_1 dan v_2 gacha orttirishdagi bajarilgan ishni hisoblaylik. Jismning elementar kesmada siljitishdagi kuchining bajargan ishi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$dA = \vec{F} d\vec{\ell} = m \vec{a} d\vec{\ell}. \quad (4.11)$$

Jism harakatining $\vec{a}$ tezlanishini tangentsial va normal tashkil etuvchilarga ajratib, (4.11)ni quyidagicha yozish mumkin:

$$dA = m(\vec{a}_t + \vec{a}_n) d\vec{\ell} = m \vec{a}_t d\vec{\ell} + m \vec{a}_n d\vec{\ell} \quad (4.12)$$

lekin tezlanishning normal tashkil etuvchisi $\vec{a}$ siljish yo'nalishiga doimo tik ekanligini e'tiborga olsak, ularning skalyar ko'paytmasi $\vec{a}_n d\vec{\ell} = 0$.

Shuning uchun (4.12) ni

$$dA = m \vec{a}_t d\vec{\ell} = m \frac{d\vec{v}}{dt} d\vec{\ell} = m \frac{d\vec{\ell}}{dt} d\vec{v} = m \vec{v} d\vec{v} \quad (4.13)$$

ko'rinishda yozish mumkin

Jism tezligining v_1 dan v_2 gacha ortishidagi ishni quyidagicha hisoblaymiz:

$$A = \int_{v_1}^{v_2} m v dv = \frac{m v_2^2}{2} - \frac{m v_1^2}{2} = \frac{P_2^2}{2m} - \frac{P_1^2}{2m} \quad (4.14)$$

Agar boshlangich tezlik, $v_1 = 0$ bo'lsa, u xolda quyidagi ifodaga ega bo'lamiz;

$$A = \frac{m v^2}{2} - 0$$

Demak, bajarilgan ish jism massasiga va uning tezligi (impulsi) ga boqliq bo'lgan kattalikning o'zgarishiga teng ekan. Bu kattalikka jismning kinetik energiyasi deb ataladi:

$$E_{\text{kin}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{P^2}{2m} \quad (4.15)$$

Kinetik energiyaga ega bo'lgan jism ish bajarish qobiliyatiga ega. Shuning uchun kinetik energiyani quyidagicha ta'riflash mumkin: kinetik energiya jismning harakatdagi (tezligi v ga teng) energiyasi bo'lib, u son jixatidan tezlikni v dan no'lgacha kamaytirilishidagi shu jismning bajara olishi mumkin bo'lgan to'la ishga tengdir. Jismni tashkil etuvchi zarralar (molekulalar, atomlar)ning yoki sistemaga kiruvchi jismlarning o'zaro ta'sir kuchlarini mutlaqo yo'qolguncha (yoki boshqa toifadagi kuchlar bilan to'la ravishda muvozanatlashguncha), shu kuchlarning bajarishi mumkin bo'lgan to'la ishga son jixatdan teng bo'lgan kattalikka potentsial energiya deb ataladi. Ba'zi misollarni ko'rib chiqaylik. Cho'zilgan prujinaning potentsial energiyasi deformatsiyaning mutlaqo yo'qolgunicha elastiklik kuchining bajargan ishga tengdir, ya'ni

$$E_p = A = -\int_x^0 kx dx = \frac{1}{2} kx^2 \quad (4.16)$$

Prujina x kattalikka qisilganda ham (4.16) orqali aniqlanuvchi potentsial energiya vujudga keladi. Demak, prujinaning cho'zilishida yoki qisilishida yuzaga kelayotgan potentsial energiya prujina tarkibidagi zarrachalarning bir-biridan uzoqlashishi yoki bir-biriga yaqinlashishi va sho'nga mos ravishda ular orasida o'zaro tortishish yoki itarishish kuchlarning hosil bo'lishi natijasidir. Yana bir misol tarikasida Yerning tortishish maydoniga joylashgan jismning potentsial energiyasini hisoblab chiqamiz. Berilgan nuqtadagi jismning potentsial energiyasi jismni shu nuqtadan cheksizlikka ko'chirishdagi tortishish kuchining ishga teng, ya'ni

$$E_p = -\int_r^\infty \gamma \frac{M_{\text{yee}} m}{r^2} dr = -\gamma M_{\text{yee}} m \int_r^\infty \frac{dr}{r^2} = -\gamma \frac{M_{\text{yee}} m}{r} \quad (4.17)$$

Yerning tortishish maydoniga joylashtirilgan jismning potentsial energiyasi jism Yer markazidan uzoqlashgan sari ortib boradi. Jism Yer markazidan cheksiz uzoqlashganda esa potentsial energiya o'zining eng katta qiymatiga erishadi. Ikkinchi tomondan, (4.17) ga asosan $r \rightarrow \infty$ da $E_p \rightarrow 0$

Energiyaning saqlanish qonuni. Moddiy nuqta deb qaralishi mumkin bo'lgan N ta jismdan iborat bo'lgan sistemaga xech qanday tashqi kuchlar ta'sir etmayotgan bo'lsin. Biz bunday berk sistemaning to'la impulsi hamma vaqt o'zgarmas kattalikdan iborat bo'lib qolishini ko'rib chiqqan edik. Endi sistemaning to'la mexanik energiyasi bilan tanishaylik.

Sistemadagi jism massalarini $m_1, m_2, \dots, m_N$ xar bir jismning fazodagi vaziyatini aniqlovchi radius-vektorlarni $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_N$ va xar bir i -jismga sistemadagi boshqa jismlarning kursatayotgan ta'sir kuchlarini $\vec{F}_{i1}, \vec{F}_{i2}, \dots, \vec{F}_{i(i-1)}, \vec{F}_{i(i+1)}, \dots, \vec{F}_{iN}$ deb belgilaylik va bu kuchlar faqat konservativ kuchlardan iborat bo'lsin. i -jism uchun Nyutonning ikkinchi qonunini tatbiq etilsa quyidagi ifodaga ega bo'linadi:

$$m_i \frac{d\vec{v}_i}{dt} = \vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{i(i-1)} + \vec{F}_{i(i+1)} + \dots + \vec{F}_{iN} \quad (4.18)$$

Kuzatilayotgan i -jism shu ta'sir etayotgan kuchlar tufayli dt vaqt ichida $d\vec{r}_i$ ga siljigan bo'lsin. (4.18)ning ikkala qismini $d\vec{r}_i$ ga skalyar ko'paytiramiz:

$$dr_i m_i \frac{d\vec{v}_i}{dt} = (\vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{iN}) d\vec{r}_i$$

va bundan $d\vec{r}_i = \vec{v}_i dt$ ekanligini e'tiborga olib yuqoridagi formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$m_i \vec{v}_i d\vec{v}_i = (\vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{iN}) d\vec{r}_i \quad (4.19)$$

formula faqat i -jism uchun yozilgan. Bunday formulalarni sistemadagi barcha jismlar uchun yozib, ularni mos ravishda qo'shib chiksak:

$$\sum_{i=1}^N m_i \vec{v}_i d\vec{v}_i - \sum (\vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{iN}) d\vec{r} = 0 \quad (4.20)$$

hosil bo'ladi.

Ma'lumki, $m_i \vec{v}_i d\vec{v}_i$ - i -jism kinetik energiyasining, $\sum_{i=1}^N m_i \vec{v}_i d\vec{v}_i$ esa sistema kinetik energiyasining o'zgarishini ifodalaydi.

$(\vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{iN}) d\vec{r}_i$ - i -jismga ta'sir qilayotgan konservativ kuchlarning bajargan ishi bo'lib, bu kattalik ikkinchi tomondan jism potentsial energiyasining o'zgarishiga teng.

Kuzatilayotgan xolda ish musbat kattalikdan iborat bo'lib, bu jism potentsial energiyasining kamayishi hisobiga bajariladi, shuning uchun

$$-(\vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{iN}) d\vec{r}_i = dE_p$$

va (4.20)ning ikkinchi xadi sistema potentsial energiyasining o'zgarishini ifodalaydi. Natijada (4.20) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$dE_k + dE_p = 0, d(E_k + E_p) = 0, \text{ёku } E_k + E_p = \text{const}, \quad (4.21)$$

bunda $E_k + E_p$ - sistemaning to'la mexanik energiyasi. (4.21) formuladan quyidagi muhim xulosaga kelishimiz mumkin: berk sistemada faqat konservativ kuchlar mavjud bo'lsa, sistemaning to'la mexanik energiyasi o'zgarmas qiymatga ega bo'lib qoladi, bu mexanik energiyaning saqlanish qonunidir.

Mexanik energiyaning saqlanish qonuni xar qanday inertsial sanoq sistemasida bajariladi. Berk sistemadagi kuchlar faqat konservativ kuchlardan iborat bo'lganda (4.21) ga asosan

$$dE_k = -dE_p$$

ya'ni kinetik energiya faqat potentsial energiyaning kamayishi hisobiga hosil bo'lishi mumkin. o'z-o'zidan ravshanki, sistemaning kinetik energiyasi nolga teng, potentsial energiyasi esa o'zining eng kichik qiymatiga ega bo'lgan xolda xech qanday harakat sodir bo'lmaydi. Sistemaning bunday holati turg'un muvozanatli holat deb ataladi.

Agar berk sistemada konservativ kuchlardan tashqari nokonservativ kuchlar 3 ∇ $\perp$ sek aishqalanish kuchlari ham mavjud bo'lsa, sistemaning to'la energiyasi vaqt o'tishi bilan kamayib boradi. Buni hisobiga nomexanik turdagi energiyalar, masalan, issiqlik yoki kimyoviy, elektromagnit maydon energiyalari va boshqalar vaqt o'tishi bilan ortib boradi. Lekin energiyaning hamma turlarining yig'indisi vaqt o'tishi bilan o'zgarmay qoladi.

Demak, harqanday berk sistemada energiya xech qachon yangidan paydo bo'lmaydi va xech qachon yo'qolib ham ketmaydi, faqat energiya bir turdan ikkinchi turga o'tib turadi. Bu energiyaning saqlanish qonuni bo'lib, fizikaning eng asosiy va umumiy qonunlaridan biridir.

TAYANCH SO'Z VA IBORALAR

Impuls, mexanik ish, quvvat, energiya, konservativ kuchlar, nokonservativ kuchlar, kinitik energiya, energiyaning saqlanishi, ish birligi, quvvat birligi, energiyaning birligi.

Nazorat savollar

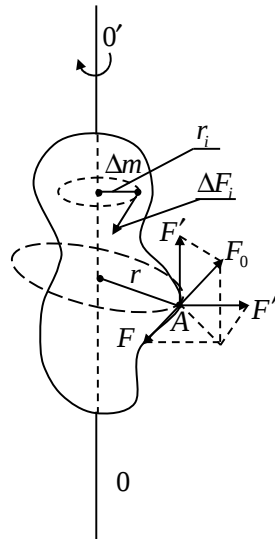
1. Impuls deb nimaga aytiladi.
2. Impulsnining saqlanish qonunini tushuntiring.
3. Ish qanday mexanik kattalik.
4. Quvvatga ta'rif bering.
5. Konservativ va nokonservativ kuchlarni tushuntiring.
6. Kinetik energiya qanday aniqlanadi.
7. Potentsial energiyani tushuntiring.
8. Energiya qanday fizik ma'noga ega.
9. Mexanik energiyaning saqlanish qonuni izohlang.
10. Ish, quvvat va energiya birliklari qanday aniqlanadi.

5 - M a' r u z a

Aylanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasi. Kuch momenti. Jismning inertsia momenti. Impuls momenti va uning saqlanish qonuni. Aylanma harakat qilayotgan jismning energiyasi

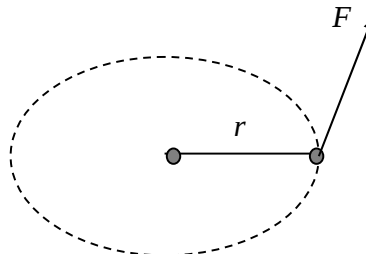
Bu bo'limda biz deformatsiya bo'lmaydigan absolyut (mutloq) qattiq jismning aylanishini ko'rib chiqamiz. F_0 kuch ta'sirida jism $00'$ o'q atrofida aylanyapti deb faraz qilaylik. Unda jismning har bir nuqtasi shu o'q atrofida aylana bo'ylab aylanadi. Bunda hamma nuqtalarning burchak tezliklari va burchak tezlanishlari bir xil bo'ladi. F_0 kuchni uchta bir-biriga perpendikulyar bo'lgan kuchga ajratamiz, bunda $F' \parallel 00', F'' \perp 00'$ bo'ladi, ular jismni aylantirmaydi, jismni faqat A nuqtaga urinma bo'lgan F kuchi aylantiradi. Shuning uchun F ni aylantiruvchi kuch deyiladi. F ning aylanishi radiusiga bo'lgan ko'paytmasi kuch momenti deb ataladi.

$$M = F \cdot r \quad (5.1)$$



5.1-rasm

Jismni Δm_i elementar massalarga bo'lib chiqamiz. Shunda har bir Δm_i ga elementar aylantiruvchi kuch ΔF_i ta'sir qiladi (5.2-rasm). Nyutonning 2 qonuniga binoan.



5.2-rasm

$$\Delta F_i = \Delta m_i a_i$$

bu erda $a_i - \Delta m_i$ ning chiziqli tezlanishi. Bu tenglamaning ikki tarafini r_i ga ko'paytiramiz

$$\Delta F_i \cdot r_i = \Delta m_i a_i \cdot r_i \quad (5.2)$$

Δm_i elementlar massasining chiziqli tezligi $v_i = \omega r_i$ bo'lgani uchun bu tezlik o'zgarmas radiusda faqat ω o'zgarganda o'zgarishi mumkin:

$$\Delta v_i = \Delta \omega r_i$$

Bu formuladan $\Delta \omega = \frac{\Delta v_i}{r_i}$ ekanligini aniqlaymiz. Bu ifodadan Δm_i ning burchak tezlanishini topamiz:

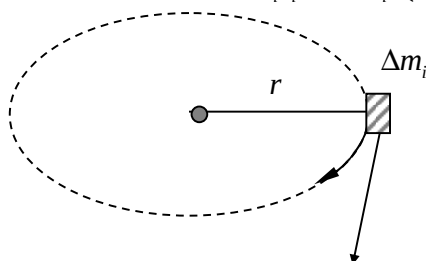
$$\varepsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{1}{r_i} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_i}{\Delta t} = \frac{1}{r_i} a_i$$

Bu yerda $a_i = \varepsilon r_i$ ekanligini aniqlaymiz. Bu ifodani (5.2) ga qo'ysak quyidagi munosabat hosil bo'ladi:

$$\Delta F_i \cdot r_i = \Delta m_i \cdot r_i^2 \varepsilon \quad (5.3)$$

$\Delta F_i r_i = \Delta M_i$ - aylantiruvchi kuch momenti. $\Delta m_i r_i^2 = \Delta J_i$ (5.3-rasm) deb belgilaymiz.

$$\Delta J_i = \Delta m_i \cdot r_i^2$$



5.3-rasm

Demak,

$$\Delta M_i = \Delta J_i \varepsilon$$

ΔJ_i -elementar massa Δm_i ning inertsia momenti deb ataladi. ΔM_i ning summasi quyidagicha barobar:

$$M = \sum_i \Delta M_i = \varepsilon \sum_i \Delta J_i = J \varepsilon \quad (5.4)$$

$M = \sum_i \Delta M_i$ -jismga qo'yilgan aylantiruvchi moment, $J = \sum_i \Delta J_i$ -jismning to'la inertsia momenti.

Demak $M = J \varepsilon$ (5.5) -aylanish dinamikasining asosiy qonuni.

Inertsia momenti (to'g'ri chiziqli harakatdagi massa kabi) jismning aylanish harakatidagi inertsia xususiyatini anglatadi.

Lekin, aylanish o'qi qayerdan o'tishiga qarab inertsia momenti ham xar xil bo'lishi mumkin, massa esa o'zgarmas. Inertsia momenti birligi $[kg \cdot m^2]$.

Agar $M = const$ va $J = const$ bo'lsa, u holda $M = J \frac{\omega_0 - \omega}{\Delta t}$ va $M \Delta t = J \omega_0 - J \omega$

($F \Delta t = m v_0 - m v$ ni eslaymiz) vaqt ichida ω , ω_0 dan ω , gacha o'zgaradi.

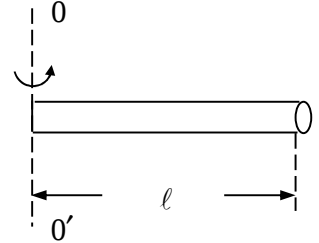
$M\Delta t$ kuch momentining impulsi (analog $F\Delta t$).

$I\omega$ - harakat miqdori momenti (analog $m\upsilon$)

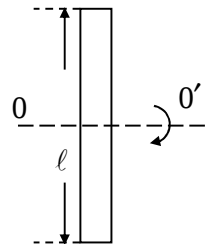
Demak - ma'lum vaqt oralig'idagi harakat miqdorining o'zgarishi shu vaqt ichidagi kuch momentining impulsiga teng - bu harakat miqdori momentining o'zgarishi qonunidir.

Ba'zibir jismlarning inertsia momentlarini keltiramiz: (5.5-rasm)

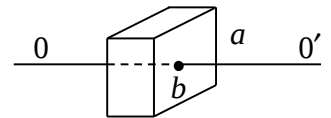
1). $J = \frac{1}{3}m\ell^2$ - sterjen



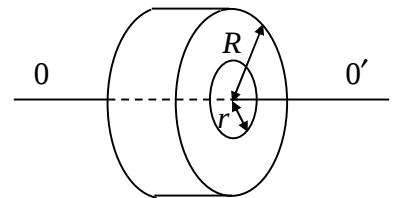
2). $J = \frac{1}{12}m\ell^2$ - sterjen



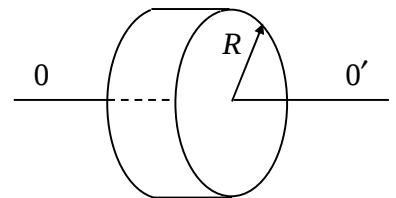
3). $J = \frac{1}{12}m(a^2 + b^2)$
brusok, uzunligi b , eni a



4). $J = \frac{1}{2}m(R^2 + r^2)$ xalqa.

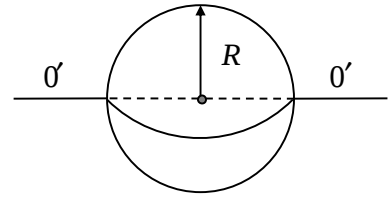


5). $r \approx R = R$ $J = mR^2$ yupqa xalqa.



6). $J = \frac{1}{2}mR^2$ (disk)

$$7). \quad J = \frac{2}{3}mR^2 - \text{shar.}$$



5.5-rasm

Berk sistemada jismlarning harakat miqdorlari momentlarining yig'indisi (summasi) o'zgarmas miqdordir (ilgarilama harakat uchun $m_1v_1 + m_2v_2 + \dots + m_nv_n = \text{const}$ bo'lgani kabi).

$$J_1\omega_1 + J_2\omega_2 + \dots + J_n\omega_n = \text{const} \quad (5.6)$$

Agar jism bitta bo'lsa, u holda $J\omega = \text{const}$. (Misol: o'z o'qi atrofida aylanayotgan konkichi). Aylanayotgan jismning kinetik energiyasi teng:

$$W_k = \frac{J\omega^2}{2} \quad (5.7)$$

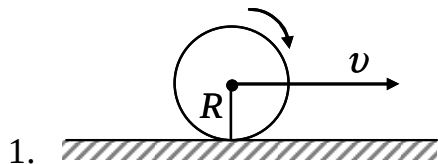
Aylanish kinetik energiyasining hisobiga bajarilgan ish:

$$A = \frac{J\omega_0^2}{2} - \frac{J\omega^2}{2} \quad (5.8)$$

Agar jism ham aylanib, ham to'g'ri yurib harakatlansa, uning kinetik energiyasi W_k teng.

$$W_k = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} \quad (5.9)$$

Masalalar namunasi



1. g'ildirakning kinetik energiyasini topamiz.

$$W_k = W_{ilg} + W_{ayl}, \quad W_{ilg} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$W_{ayl} = \frac{J\omega^2}{2}, \quad J = mr^2, \quad \omega = \frac{v}{R}$$

$$W_{ayl} = \frac{1}{2}mR^2 \cdot \frac{v^2}{R^2} = \frac{mv^2}{2}.$$

Demak,

$$W_k = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}mv^2 = mv^2$$

2. Aylanayotgan g'ildirak tormozlanish natijasida davomida aylanish chastotasini $\nu_0 = 300 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ dan $\nu_0 = 180 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ ga kamaytiradi. G'ildirakning inertsia momenti topilsin: 1) burchak tezlanish ; 2) tormozlovchi moment M ; 3) tormozlanishda bajarilgan ish.

$$1. \varepsilon = \frac{\omega_0 - \omega}{t} = \frac{2\pi(\nu_0 - \nu)}{t} = \frac{6,28(5 - 4) \frac{\text{ayl}}{\text{sek}}}{60 \text{sek}} = 0,21 \frac{\text{rad}}{\text{sek}^2}$$

2. Asosiy qonunga binoan:

$$M = J\varepsilon = 2 \cdot 0,21 = 0,42 J$$

3. Tormozlanish mobaynida g'ildirakning kinetik energiyasmi tormozlovchi kuchga qarshi bajariladigan ishga sarf bo'ladi.

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

Ilgarilama harakat bilan aylanma harakat o'rtasida katta o'xshashliklar (analoiyalar) bor. Ularni quyidagi keltirilgan tablitsadan ko'rish mumkin:

Ilgarilama harakat		Aylanma harakat	
Vaqt	t	Vaqt	t
Chiziqli yul	s	Burchakli yo'l	φ
Chiziqli tezlik	v	Burchak tezlik	ω
Chiziqli tezlanish	a	Burchak tezlanish	ε
Kuch	F	Kuch momenti	M
Massa	m	Inertsia momenti	J
Kuch impulsi	$F \cdot \Delta t$	Kuchning impuls momenti	$M \cdot \Delta t$
Harakat miqdori	mv	Harakat miqdorining momenti	$J\omega$

TAYANCH SO'Z VA IBORALAR

Absolyut qattiq jism, impuls, impuls momenti, kuch momenti, kuch elkasi, inertsia momenti, aylanma harakat, jismning inertsia markazi, aylanma harakat uchun Nyutonning 2-chi qonuni.

Nazorat savollari

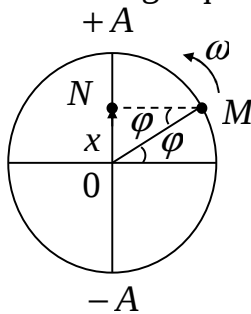
1. Absolyut qattiq jism deb nimaga aytiladi?
2. Kuch momenti va inertsia momenti qanday birliklarda ulchanadi?
3. Qattiq jism inertsia markazi harakatini tushuntiring?
4. Aylanma harakat qanday sodir bo'ladi?]
5. Inertsia momenti qanday kattalik?
6. Kuch momentining fizik mazmunini tushuntiring?
7. Impuls momentining yunalishi qanday aniqlanadi?
8. Kuch momentining yunalishi qanday usul bilan aniqlanadi?
9. Impuls momentining saqlanish qonuni qanday sharoitda bajariladi?

6 - Ma'ruza

Garmonik tebranishlar va ularning tenglamalari.

Fizik va matematik mayanitklar. Garmonik tebranishlar energiyasi

Agar sistema o'z muvozanat holatidan chetlanib yana shu holatiga qaytib kelsa, va harakat har doim qaytalanib turaversa, bunday harakatga tebranma harakat deyiladi. Agar qaytib kelish jarayoni bir xil vaqt oralig'ida yuz berib tursa, bunday tebranishga davriy tebranish deb ataladi. Tebranma harakat tabiatda juda ko'p tarqalgan va har xil buladi, lekin uning eng oddiysi - garmonik tebranishdir. Faraz qilaylik M material nuqta soat strelkasiga qarshi A radiusli aylanada ω burchak tezligi bilan aylanayapti.



6.1-rasm

M ning vertikal o'qqa proektsiyasi N bo'lsa, u holda N O markaz atrofida tebranib turadi. Agar ON siljishni x deb belgilansa, u holda $x = A \sin \varphi$ deb yozishimiz mumkin. $\varphi = \omega t$ bulganligi uchun $x = A \sin \omega t$ buladi.

Bundan tashqari $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ bo'lganligi uchun yuqoridagi ifodani quyidagicha yozish mumkin.

$$x = A \sin \frac{2\pi}{T} t$$

yoki

$$x = A \sin 2\pi \nu t \quad (6.1)$$

A - amplituda, ν - chastota.

Bular garmonik tebranishlarning tenglamalaridir. Demak sinus yoki cosinus qonuniyatlari bilan yuz beradigan tebranishlarni garmonik tebranishlar deb atash mumkin. Bunda $\varphi = \omega t$ -faza deb ataladi va u siljishning istalgan paytdagi qiymatini aniqlaydi. Boshqacha aytganda, faza tebranayotgan sistemaning holatini belgilaydi.

N nuqtaning tebranish tezligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$v = \frac{dx}{dt} = \omega A \cos \omega t = \omega A \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (6.2)$$

Demak v vaqtga bog'liq, boshqacha aytganda, bunday tebranish tezlanishga ega:

$$a = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 A \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = \omega^2 A \sin(\omega t + \pi) = -\omega^2 A \sin \omega t = -\omega^2 x \quad (6.3)$$

Demak, tebranishlarning fzalari farqi harxil: tezlikning tebranishi siljishga qaraganda $\frac{\pi}{2}$ ga ilgarilab ketadi, tezlanish esa teskari fazada yuz beradi:

6.2-rasm

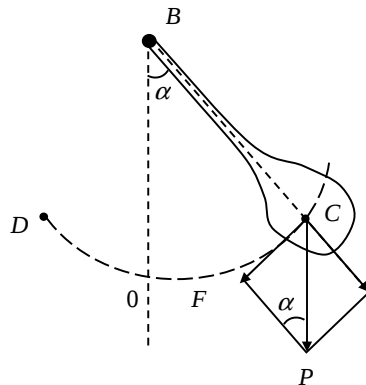
Yuqorida ko'rdikky, tebranishlarning tezlanishi vaqtga bog'liq ekan, demak, tebranishni yuzaga keltirayotgan F kuch ham vaqtga bog'liq:

$$F = ma = -m\omega^2 x = -kx \quad (6.4)$$

bu yerda $k = m\omega^2$. Demak, F siljishga qarama-qarshi yo'nalgan. Demak garmonik tebranishlar siljishga proporsional, lekin unga qarama-qarshi yo'nalgan kuchlarni yuzaga keltirar ekan. Bu kuch M nuqtani har doim muvozanat holatiga tortadi. Elastik kuchlar ham shunday yo'nalgan bo'lganligi uchun bunday kuchlarni kvazielastik kuchlar deb atash mumkin. Agar nuqtaning massasi m va k ma'lum bo'lsa:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (6.5) \quad \text{va} \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (6.6)$$

Fizikaviy mayatnik.



6.3-rasm

Tortish kuchi ta'sirida tebranayotgan qattiq jismga fizikaviy mayatnik deb ataladi. P ta'sirida mayatnikning og'irlik markazi CD yoyni chizadi. Mayatnik o'ngga siljisa α ni musbat, chapga siljisa α ni manfiy deb hisoblaymiz. Shunda kvazielastik (orqaga qaytaruvchi) kuch teng:

$$F = -P \sin \alpha = -mg \sin \alpha \quad (6.7)$$

Agar α kichik bo'lsa, $\sin \alpha \approx \alpha$ bo'ladi va $F = -mg\alpha = -mg \frac{x}{\ell}$, $x = OC$, $\ell = BC$ - mayatnik uzunligi.

Demak, fizik mayatnikni orqaga qaytaruvchi kuch ham kvazielastik kuch ekan. Shuning uchun ham tebranish garmonik bo'ladi. Aylanish dinamikasining asosiy qonuniga binoan:

$$M = F\ell = J\varepsilon$$

J - mayatnikning osilgan nuqtasiga nisbatan inertsia momenti.

ε - burchak tezlanish. Shunda:

$$F = \frac{J\varepsilon}{\ell} \quad (6.8)$$

Lekin, $\varepsilon = \frac{a}{\ell}$ bulgani uchun.
$$F = \frac{Ja}{\ell^2} = -\frac{J}{\ell^2} \omega^2 x \quad (6.9)$$

Demak, ikkala formulani solishtirib quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$\left(-mg \frac{x}{\ell} = -\frac{J\omega^2 x}{\ell^2} \right) \quad mg\ell = J\omega^2 \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{mg\ell}{J}}, \quad (6.10)$$

va $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mg\ell}}$; (6.11). Agar fizik mayatnikni massasining asosiy qismi og'irlik markazida bo'lsa, uni matematik mayatnik deb qarash mumkin. Uning inertsia momenti quyidagiga teng:

$$J = m\ell^2 \quad (6.12)$$

Shunda matematik mayatnikning davri $T = \sqrt{\frac{m\ell^2}{mg\ell}} = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$; bu formula kichik bo'lganda o'rinlidir. Tebranishda matematik mayatnikning kinetik va potentsial energiyalari davriy ravishda bir-biriga aylanib turadi. Ularning yig'indisi to'la energiyani beradi:

$$W = W_k + W_p \quad (6.13)$$

$$W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{m}{2} \omega^2 A^2 \sin^2 \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = \frac{m}{2} \omega^2 A^2 \cos^2 \omega t$$

$$W_p = \frac{kx^2}{2} = \frac{k}{2} A^2 \sin^2 \omega t, \text{ lekin } k = m\omega^2 \text{ bo'lgani uchun } W_p = \frac{m}{2} \omega^2 A^2 \sin^2 \omega t$$

$$W = \frac{m\omega^2 A^2}{2} (\cos^2 \omega t + \sin^2 \omega t) = \frac{m\omega^2}{2} A^2 \quad (6.14)$$

Demak, $W = \text{const}$ va $\sim A^2$

TAYANCH SO'Z VA IBORALAR

Tebranma harakat, garmonik tebranish, tebranish davri, amplituda, faza, siljish, chastota, matematik mayatnik, fizik mayatnik, tezlik, tezlanish, energiya.

Nazorat savollari

1. Tebranma harakat deb nimaga aytiladi?
2. Qanday tebranishlarga garmonik tebranishlar deyiladi?
3. Garmonik tebranma harakat tenglamasini izohlang?
4. Matematik va fizik mayatniklarning tebranish davri formulalarini keltirib chiqaring va izohlang?
5. Garmonik tebranma harakatda tezlik va tezlanishni tushuntiring?
6. Tebranish davri, chastotasi va amplitudasini tushuntiring?
7. Tebranma harakatda faza va siljish haqida tushuncha bering?
8. Garmonik tebranma harakatda to'liq mexanik energiyani izohlang?

7 - Ma'ruza.

To'lqin jarayoni. Bo'ylama va ko'ndalang to'lqinlar. To'lqin tenglamasi. Fazaviy va guruhli tezliklar

Agar biror elastik muhitga tebranayotgan jism joylashtirilsa, u bilan qo'shni zarrachalar ham tebranma harakat qila boshlaydi. Bu zarralarning harakati ulardan keyin joylashgan zarrachalarni tebrata boshlaydi va hokazo. Biroz vaqtdan so'ng butun elastik muhit tebranma harakatga keladi. Demak, zarracha asosiy tebranayotgan jismdan qanchalik uzoh joylashsa, uning tebranishi shunchalik kech boshlanadi, boshkacha aytganda, zarrachalar har xil fazada tebranadilar. Tebranma harakatni muhida tarqalishiga to'lqin deb ataladi. To'lqin jarayoniga misol sifatida suv yuziga tushgan toshdan tarqaladigan to'lqinlarni olish mumkin. To'lqinning tarqalish yo'nalishiga nur deyiladi. Agar muhit zarralari nurga perpendikulyar ravishda tebransa, bunday to'lqinga ko'ndalang to'lqin deyiladi, agar zarralar nurga parallel ravishda tebransa, bunday to'lqinlarga bo'ylama to'lqinlar deyiladi. Ko'ndalang to'lqinga misol sifatida suv yuzidagi to'lqinni, bo'ylama to'lqinga misol sifatida tovush to'lqinlarini keltirish mumkin.

Mexanik to'lqinlarning muhitda tarqalish tezligi shu muhitning elastik xossalariga va zichligiga bog'liq:

$$v = \sqrt{\frac{\chi}{\rho}} \quad (7.1)$$

Bu formulada χ -muhitning elastik xossasi bilan bog'liq koeffitsient. ρ - muhitning zichligi. Xususiyl holda, qattiq jismdagi bo'ylama to'lqinlar uchun $\chi \approx E$; ko'ndalang to'lqinlar uchun $\chi \approx 0,4E$ (E -Yung moduli)

To'lqin jarayonida qatnashayotgan zarrachalarning siljishi x va bu zarralarning tebranishlar manbai joylashgan O nuqttagacha bo'lgan masofa y o'rtasidagi munosabatni istalgan vaqt uchun qanday bo'lishini aniqlaymiz.

Aniqlik uchun ko'ndalang to'lqin uchun fikr yuritamiz. Faraz qilaylik, manbaning tebranishlari garmonik bo'lsin:

$$x = A \sin \omega t \quad (7.2)$$

bu erda A -tebranish amplitudasi, ω - burchak chastota. Manbada tebranishlar boshlangandan so'ng muhitning boshqa nuqtalari ham xuddi shunday amplituda va chastota bilan tebrana boshlaydilar, faqat biroz vaqt kechikib. Natijada 7.1-rasmda ko'rsatilgan sinusoidal to'lqin paydo bo'ladi.

Bu to'lqin grafigi tebranishlar tenglamasi (7.2) ni eslatadi, lekin ularning farqi bor. Tebranishlar tenglamasi berilgan zarraning istalgan t vaqtdagi siljishini belgilaydi. To'lqin grafigi esa berilgan t vaqt uchun istalgan (hamma) zarrachalarning x siljishi manbagacha bo'lgan y masofaga qanday bog'liq ekanligini bildiradi.

7.1-rasm

Tebranishlar manbasi joylashgan O nuqtadan y masofadagi uzoqlikda joylashgan A nuqtaning tebranishini ko'rib chiqaylik. Agar O zarracha t sek avval tebranishni boshlagan bo'lsa, u holda A zarracha $(t - \tau)$ sek tebranayotgan bo'ladi, bu erda τ - tebranishlarning O nuqtadan A nuqtagacha tarqalish vaqti, boshqacha aytganda $\tau = \frac{y}{v}$. U holda A zarrachaning tebranish tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$x = A \sin \omega \left(t - \frac{y}{v} \right) \quad (7.3)$$

(7.3) munosabat to'liqinning istalgan nuqtasining istalgan vaqtdagi siljishinin aniqlashga imkon beradi va u to'liqin tenglamasi deb ataladi. Bu erda sinusning argumenti $t - \frac{y}{v}$ to'liqinning fazasi deb ataladi. λ bir xil fazada tebranadigan bir - biriga eng yaqin ikki qo'shni do'nglik orasidagi masofani (7.1-rasm) bildiradi va to'liqin uzunligi deb ataladi.

To'liqin uzunligi $\lambda = vT = \frac{v}{\nu}$ bo'lganligi uchun (bu erda ν - chiziqli chastota, T - tebranish davri) (7.3) tenglamaga $\nu = \frac{\lambda}{T}$ ni qo'ysak va $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ ekanligini hisobga olsak, to'liqin tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$x = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{y}{\lambda} \right) = A \sin 2\pi \left(\nu t - \frac{y}{\lambda} \right) = A \sin \left(\omega t - 2\pi \frac{y}{\lambda} \right) = A \sin(\omega t - ky) \quad (7.4)$$

Bu erda $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ to'liqin soni deb ataladi va u 2π masofada nechta to'liqin uzunligi joylashganini bildiradi.

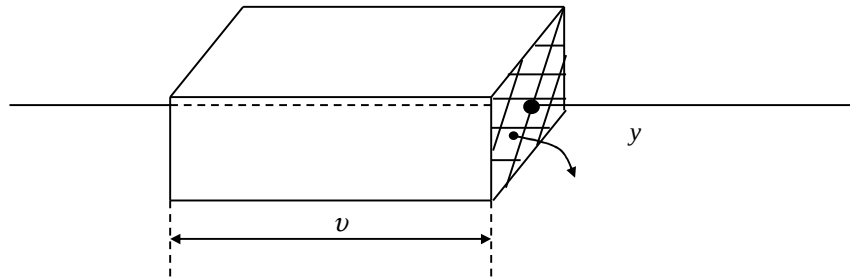
To'liqin tarqaganda zarrachalar tebranganligi uchun to'liqinning energiyasi bo'ladi va u to'liqin bilan birga tarqaladi. Yuza birligidan vaqt birligida o'tadigan energiya miqdori to'liqinning intensivligi (yoki energiya oqimining zichligi) deb ataladi. Uni I bilan belgilaymiz. Muhitning 1sm^3 hajmda har birining massasi m bo'lgan n_0 ta zarracha bor deylik(7.2-rasm). Har bir zarracha garmonik tebranishning

to'la energiyasi bo'lganligi uchun $W = A^2 \frac{m v^2}{2}$ birlik hajmdagi zarrachalarning to'la tebranish energiyasi quyidagiga teng bo'ladi.:

$$E = n_0 \cdot W = n_0 \frac{m \omega^2}{2} A^2 = \frac{\rho \omega^2 A^2}{2} \quad (7.5)$$

Bu erda $\rho = m n_0$ - muhitning zichligi, ω - burchak chastota, A - to'lqin amplitudasi. 1 sm^2 yuzadan 1 sekund ichida o'tayotgan energiya yuzasi 1 sm^2 va uzunligi v ga teng to'g'ri burchakli parallelepiped ichida joylashgan bo'ladi va to'lqinning intensivligi I ga teng:

$$I = E \cdot v = \frac{1}{2} \rho v \omega^2 A^2 \quad (7.6)$$



7.2-rasm

Demak, to'lqinning intensivligi muhitning zichligiga, uning tezligiga, chastota kvadratiga va amplituda kvadratiga proporsional ekan.

Fazaviy va guruhli tezlik. Sinusoidal (garmonik) to'lqinning tarqalish tezligi v fazaviy tezlik deb ataladi. Faza $\Phi = \omega t - ky$ bo'lganligi uchun, fazasi $\Phi = \text{const}$ bulgan ma'lum siljishning koordinata bo'ylab vaqt bo'yicha tarqalish tezligini topamiz: $F=0$ bulganligi uchun, $\Phi = \omega - ky = \omega - kv = 0$ buladi, bundan fazaviy v tezlik barobar:

$$v = \frac{\omega}{k} \quad (7.7)$$

Agar to'lqin sinusoidal bo'lmasa, u chastotalari $\Delta\omega$ intervalda yotgan birqancha sinusoidal to'lqinlarning yig'indisidan (superpozitsiyasidan) iborat bo'lsa, u holda bu to'lqin sug (paket) ko'rinishida bo'ladi (7.3-rasmga qarang).

Bunday to'lqin uchun fazaviy tezlikdan tashkari yana boshqa, gruppali tezlik tushunchasi ham kiritiladi. Gruppali tezlik sug yordamida fazoda energiyaning tarqalish tezligini bildiradi. Bu tezlik sug amplitudasini fazodagi tezligini anglatadi va u quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$U = \frac{\Delta\omega}{\Delta k} \quad (7.8)$$

Bu erda Δk - tulkin sonlarining kengligi.

7.3-rasm

TAYANCH SO'Z VA IBORALAR

To'lqin jarayoni, bo'ylama va ko'ndalang to'lqinlar, elastic to'lqinlar, to'lqin maydoni, to'lqin fronti, sferik to'lqinlar, to'lqin tarqalish tezligi, to'lqin uzunligi, to'lqinning harakat tenglamasi, fazaviy va guruhli tezlik.

Nazorat savollari

1. Tebranma harakatning tarqalishi qanday yuz beradi?
2. Qanday to'lqinlarga ko'ndalang va bo'ylama to'lqinlar deyiladi?
3. Yassi va sferik to'lqinlarni izohlang?
4. To'lqin uzunligi va fazaviy tezlik o'zaro qanday bog'langan?
5. To'lqin son va to'lqin paketi nima?
6. Fazaviy va guruhli tezliklarni tushuntiring?
7. To'lqin tenglamasini izohlang?

8 - Ma'ruza

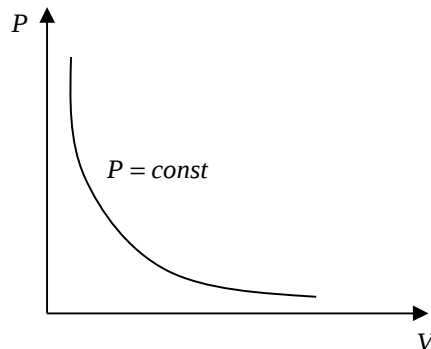
Termodinamik parametrlar. Ideal gaz qonunlari. Ideal gazning holat tenglamasi. Gaz bosimining molekulyar-kinetik nazariyasiga oid tenglamasi

Berilgan massali gazni holatini harakterlash uchun bosim P , hajm va temperatura kabi parametrlardan foydalaniladi. Agar gazning holati o'zgarasa bu parametrlarning hammasi yoki bir qismi o'zgaradi. O'zgaras temperaturada hajmning o'zgarishi bilan gazning bosimi o'zgarsa, bunday jarayonga izotermik jarayon deb ataladi. O'zgaras bosimda temperatura ta'sirida hajm o'zgarsa. Bunday jarayonga izobarik jarayon deb ataladi.

O'zgaras hajmda temperatura ta'sirida bosim o'zgarsa, bunday jarayonga izoxorik jarayon deyiladi. Ideal gazning holat tenglamasini o'rganishdan oldin, molekulyar-kinetik nazariya yaratilguncha topilgan bir necha gaz qonunlarini o'rganib chiqamiz.

Boyl-Mariott qonuni. Izotermik gaz jarayonlarini o'rganib turib ingliz olimi Boyl (1662y.) va frantsuz olimi Mariott (1667y.) quyidagi gaz qonunini yaratdilar: gazning berilgan massasi uchun o'zgaras temperaturada gazning bosmi hajmiga teskari propartsionaldir.

$$PV = \text{const} \quad (8.1)$$



8.1-rasm

Gey-Lyussak qonunlari:

a) Gazning berilgan massasi uchun o'zgaras bosimda uning hajmi temperaturaga propartsional ravishda o'zgaradi (8.2-rasm):

$$V = V_0(1 + \alpha t) \quad (8.2)$$

V_0 -gazning $0^\circ C$ dagi hajmi, α -gazning hajmiy kengayish koeffitsienti, $\alpha = \frac{1}{273} \text{ } ^\circ C^{-1}$.

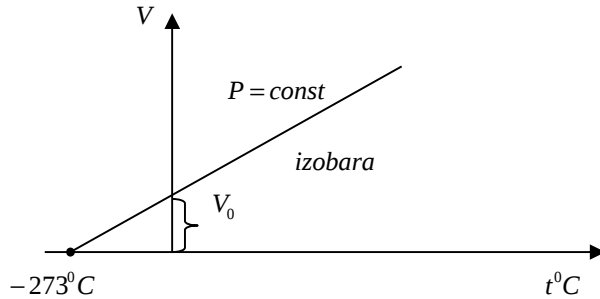
b) gazning berilgan massasi uchun uning bosimi o'zgaras hajmda temperaturaga propartsional ravishda o'zgaradi (8.4-rasm):

$$P = P_0(1 + \gamma t) \quad (8.3)$$

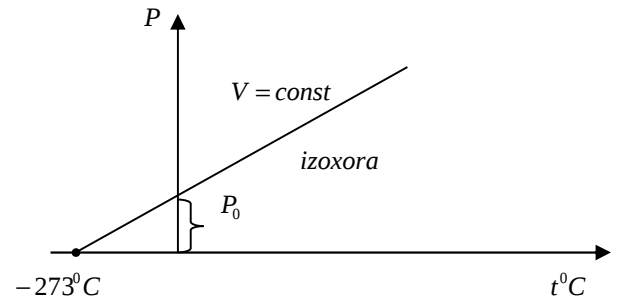
P_0 -gazning P_0 $0^\circ C$ dagi bosimi, γ -bosimning termik koeffitsienti, $\gamma = \alpha = \frac{1}{273^\circ C}$.

Absolyut temperatura va Selsiy shkalasi o'rtasida quyidagi munosabat mavjud:

$$T = t + 273,15^{\circ}\text{C}$$



8.2-rasm



8.3-rasm

Dalton qonuni. 1801 yilda ingliz fizigi va ximigi Dalton gaz aralashmasining bosimi bilan shu aralashmadagi gazlarning partsial bosimlari urtasidagi munosabatni topdi: P_i gaz aralashmasining bosimi P shu aralashmadagi gazlar partsial bosimlarining yig'indisiga teng.

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n + \sum_i^n P_i \quad (8.4)$$

Avogadro qonuni. 1811 yilda italyan olim Avogadro kuyidagi qonunni yaratdi: bir xil temperatura va bosimda harqanday gazning 1 kilomoli birxil hajmni egallaydi.

Normal sharoitda bu hajm $22,42 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}$ yoki $22,42 \cdot 10^3 \frac{\text{litr}}{\text{kmol}}$ ni tashkil etadi.

Ideal gazning holat tenglamasini Klapayron (1834y) va Mendeleevlar (1875y) yaratgan. Avval bu tenglamani Klapayron

$$\frac{PV}{T} = B = \text{const} \quad (8.5)$$

ko'rinishda berdi. Bu erda P gazning bosimi, V -uning hajmi, T -temperaturasi, B esa o'zgarmas parametr. Lekin tenglamani bir kamchiligi bor edi. Undagi o'zgarmas parametr har xil gaz uchun har xil qiymatga ega edi. Ana shu kamchilikni yo'qotish uchun Mendeleev bu tenglamaga o'zgartirishlar kiritdi va har qanday ideal gaz uchun ishlaydigan shaklda yozdi:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT \quad (8.6)$$

Bu erda m -ideal gazning massasi, μ –1 kilomol gazning massasi, R -universal gaz doimiysi. Uning kiymati: $R = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot 22,42}{273} \cong 8,32 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{grad} \cdot \text{kmol}}$ ga teng.

Keyinchalik (8.6) formula Klapayron-Mendeleev degan nom oldi.

Ideal gaz bosimini molekulayar kinetik nazariyasi. Gazning idish devorlariga beradigan bosimi molekulalarning xaotik harakati bilan bog'liq va ularning uzluksiz

ravishda devorga urilib turishining natijasidir. Molekulalarning devorga urilish kuchi, albatta, uning tezligiga (yoki kinetik energiyasiga) bog'liq. Shuning uchun gazning bosim molekulalarning ilgarilama harakati o'rtacha kinetik energiyasi (E) ga bog'liq bulishi kerak:

$$P = \varphi(\bar{E}) \quad (8.7)$$

Ana shu munosabat ideal gazning kinetik nazariyasida chikariladi. Va u kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi deb ataladi. Bu tenglamani 1850 yillarda nemis fizigi Klauzius topgan. Klauzius tenglamasini keltirib chiqarishdan oldin molekulalarni moddiy nuqta deb qarashga kelishib olamiz. Ideal gazda bosim katta bo'lmaydi, shuning uchun molekulalar o'rtasidagi masofa molekulalarning diametriga qaraganda ancha katta bo'ladi. Shuning uchun ular o'rtasidagi tortishish va itarishish kuchlarini hisobga olmasa ham bo'ladi. Lekin ular to'qnashganda (o'zaro yoki devor bilan) absolyut elastik sharlarga o'xshab to'qnashadi, deb hisoblaymiz.

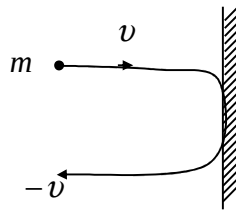
Bunday to'qnashuvda tezliklarning yo'nalishi o'zgaradi, qiymati esa o'zgarmaydi. Molekulalarning urtasidagi masofa katta bo'lganligi uchun ular asosan devor bilan to'qnashadilar. Ana shunday talablarga javob beradigan gaz ideal gaz deyiladi. Demak, ideal gaz molekulalari elastik moddiy nuqta kabi bo'lib, ular orasida tortishish kuchlari bulmaydi.

8.4-rasm

Faraz qilaylik, tomonlari a ga teng kubda n molekuladan iborat ideal gaz joylashgan, har bir molekulaning massasi m . Dekart koordinatalar systemsini kub markaziga joylashtiramiz. Shunda molekulalar xaotik ravishda harakat qilayotganligi uchun ularning $\frac{1}{3}$ qismi y o'qi, $\frac{1}{3}$ qismi z o'qi bo'ylab harakat qiladi. Demak, har bir o'qqa parallel, $\pm$ yo'nalishda $n' = \frac{1}{3}n$ ta molekula harakatlanadi.

Shu molekulalarning v tezlik o'ng devorga qarab ketayotganlarining harakatlarini kuzatamiz. Molekula devorga urilganda Δf kuch bilan Δt vaqt ichida ta'sir ko'rsatsin. Unda molekulaning devoriga berilgan kuch impulsi teng bo'ladi $\Delta f \Delta t$ ga. Bu esa o'z navbatida teng:

$$\Delta f \Delta t = mv - (-mv) = 2mv \quad (8.8)$$



8.5-rasm

Δf juda qisqa vaqt davom etadi. Shuning molekulasini 1 sekund ichida devorga ko'rsatgan ta'sir kuchining o'rtacha qiymati $\Delta \bar{f}$, Δf dan ancha kichik bo'ladi.

Albatta o'rtacha $\Delta \bar{f}$ kuchning impulsi devorga 1 sekund ichida ta'sir qiluvchi Δf kuchlar impulslarining yig'indisiga teng bo'ladi.

$$\Delta \bar{f} \cdot 1 \text{syk} = \Delta f \cdot \Delta t \cdot k$$

k -molekulaning 1 sekund ichida o'ng devorga urilishlar soni. Ma'nosi bo'yicha k soni molekulaning 1 sekundda bosib o'tgan yo'lining $2a$ ga bo'linganligiga teng. $2a$ -molekulaning devorga ikki marta ketma-ket urilishlar o'rtasida bosib o'tgan yo'li. 1 sekund ichida molekula v ga teng uzunlikni bosib o'tadi., shuning uchun $k = \frac{v}{2a}$, u holda;

$$\Delta \bar{f} = \Delta f \Delta t \frac{v}{2a} = 2mv \frac{v}{2a} = \frac{mv^2}{a} \quad (8.9)$$

Bu ifoda bitta molekula uchun yozildi, lekin o'ng devorga n' ta molekula kelib uriladi. Shuning uchun o'ng devorga ta'sir qilayotgan to'la kuch n' ta molekulalarning ta'sir kuchlarining yig'indisiga teng bo'ladi:

$$f = \sum_i^{n'} \Delta \bar{f} = \sum_i^{n'} \frac{mv_i^2}{a} = \frac{m}{a} \sum_i^{n'} v_i^2 \quad (8.10)$$

bu erda $v_i = v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ - molekulalar tezliklari. Bu ifodaning o'ng tarafini n' ga ko'paytiramiz va bulamiz:

$$f = \frac{m}{a} n' \frac{1}{n'} \sum_i^{n'} v_i^2 \quad (8.11)$$

hosil bo'lgan $\frac{1}{n'} \sum_i^{n'} v_i^2$ ifoda ta'rif buyicha o'rtacha kvadratik tezlik U ning kvadratini bildiradi:

$$U = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \dots + v_{n'}^2}{n'}} - \text{o'rtacha kvadratik tezlik.}$$

Demak, ; $f = \frac{mn'u^2}{a}$; f ni a^2 ga bo'lamiz va n' ning o'rniga $\frac{1}{3}n$ ni qo'yamiz: $\frac{f}{a^2} = \frac{mu^2}{a^3} \cdot \frac{1}{3}n$ $a^2 = S$ -o'ng devor yuzi va $a^3 = V$ -kub hajmi bo'lganligini hisobga olsak hosil bo'ladi:

$$\frac{f}{S} = \frac{1}{3} \frac{mnu^2}{V} \quad (8.12)$$

Lekin $\frac{f}{S} = P$ -gazning devorga bosimi, $\frac{n}{V} = n_0$ -molekulalar zichligi.

Shuning uchun:

$$P = \frac{1}{3} mn_0 u^2 = \frac{2}{3} n_0 \frac{mu^2}{2} \quad (8.13)$$

Lekin, $\frac{mu^2}{2} = \bar{E}$ -molekulaning o'rtacha kinetik energiyasidir.

Demak:

$$P = \frac{2}{3} n_0 \bar{E} \quad (8.14)$$

Bu ifoda ideal gaz kinetik nazariyasining asosiy tenglamasidir: gazning bosimi molekulalarning ilgarilama harakati o'rtacha kinetik energiyasiga proportsional ekan. Asosiy tenglamani bir mol gazning hajmi V_μ ga ko'paytiramiz:

$$PV_\mu = \frac{2}{3} n_0 \bar{E} V_\mu \quad (8.15)$$

$n_0 V_\mu = N_A$ -Avogadro soni bo'lganligi uchun:

$$PV_\mu = \frac{2}{3} N_A \bar{E} \quad (8.16)$$

Lekin Mendeleev-Klapeyron tenglamasi bo'yicha:

$$PV_\mu = RT$$

Shuning uchun $\frac{2}{3} N_A \bar{E} = RT$ va $\bar{E} = \frac{3}{2} \frac{R}{N_A} T = \frac{3}{2} kT$

$$k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{grad} \text{ - Boltsman doimiysi}$$

Demak, $P = n_0 kT$ (8.17)

ekan. Bu -asosiy tenglamaning boshkacha kurinishidir.

TAYANCH SO'Z VA IBORALAR

Bosim, temperatura, o'rtacha kvadratik tezlik, kush impulsi, molekula, atom, xaotik harakat, Avogadro soni, mol, ideal gaz, izotermik, izobarik, izoxorik, o'rtacha kinetik energiya.

Nazorat savollari

1. Molekula deganda nimani tushunasiz?
2. Molekulalarning issiqlik harakati tabiatini tushintiring?
3. Qattiq, suyuq va gaz xolatdagi moddani tashkil etuvchi molekulalar qanday issiqlik harakatlarda qatnashdi?
4. SI sistemasida modda miqdori qanday aniqlanadi?
5. Ideal gazning xolat tenglamasini tushintiring?
6. Ideal gaz kinetik nazariysining asosiy tenglamasi qanday ko'rinishga ega?

9 - Ma'ruza

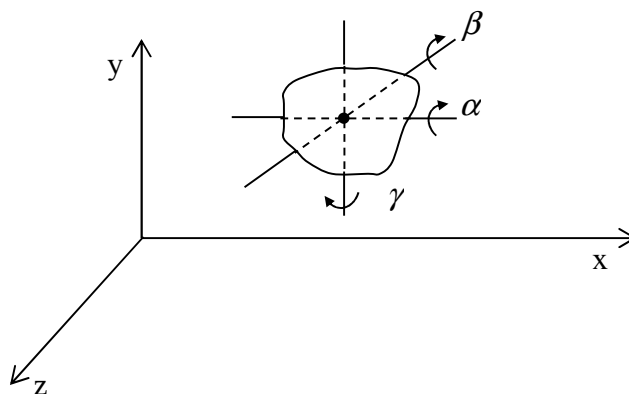
Erkinlik darajasi. Ideal gaz ichki energiyasi. Termodinamikaning birinchi qonuni. Ideal gazning issiqlik miqdori va sig'imi. Adiabatik jarayon

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 potentsial energiyalarning yig'indisi tushuniladi.

Bir atomli molekulaning harakati faqat ilgarilanma harakatdan iborat bo'ladi. Lekin ikki va undan ortiq atomlardan tashkil topgan molekulalar ilgarilanma 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 hisoblash 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.

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.



9.1-rasm

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 inertsiya 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 buladi 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 ilgarilanma harakat erkinlik darajasi hamma vaqt 3 ga teng, aylanma va tebranma harakat erkinlik darajalari kuzatilayotgan molekulaning xarakteriga qarab turli qiymatlarga ega bo'lishi mumkin. Molekulaning erkinlik darajasi i ni ilgarilanma, aylanma va tebranma harakatlar erkinlik darajalarining yig'indisidan iborat deb qarash mumkin:

$$i = i_{ul} + i_{ail} + i_{meo} \quad (9.1)$$

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

Statistik fizikaning muhim qonunlaridan biri - energiyaning erkinlik darajasi bo'yicha bir xilda taqsimlanish qonuni ilgarilanma, aylanma va tebranma harakatning 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

$$\varepsilon = \frac{i}{2}kT \quad (9.2)$$

ifoda orqali aniqlanadi. Lekin i ni aniqlashda quyidagilarga etibor berilishi kerak. Molekula ilgarilanma yoki aylanma harakatda qatnashayotgan bo'lsa, u faqat kinetik energiyaga ega buladi. Molekuladagi atomlar tebranma harakatda ham qatnashayotgan bo'lsa, tebranma harakat ham kinetik energiyaga, ham potentsial energiyaga ega bo'ladi va bu kinetik energiyaning o'rtacha qiymati potentsial energiyaning o'rtacha qiymati bilan bir xil buladi. Shuning uchun tebranma harakatning har bir erkinlik darajasiga $2 \cdot \frac{1}{2}kT$ energiya to'g'ri keladi.

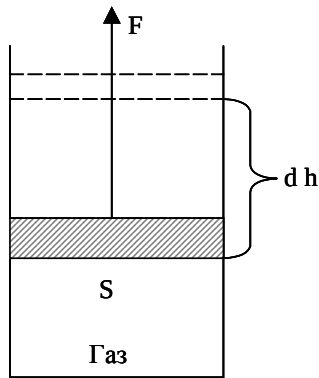
(9.2) munosabatdan foylanaib, berilgan ideal gazning ichki energiyasini aniqlash mumkin. Misol uchun bir mol ideal gazning ichki energiyasi quyidagiga teng:

$$U_M = N_A \langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2}kTN_A = \frac{i}{2}RT \quad (9.3)$$

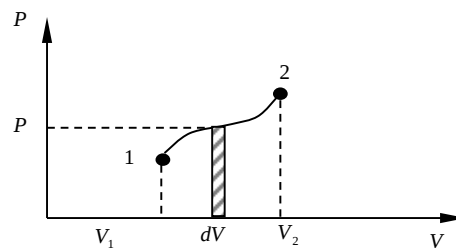
Ya'ni, ideal gazning ichki energiyasi shy gazni tashkil etuvchi molekulalarning erkinlik darajasiga va gazning haroratiga bog'liq.

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 Yer 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 (9.3) 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 (9.2-rasm).



9.2-rasm



9.3-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.

$$dA = Fdh = pSdh = pdV \quad (9.4)$$

bunda dV - porshenni dh balandlikka kutarilishi natijasida gaz hajmining o'zgarishi, gaz hajmining kengayayotgan holi 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 holda 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 jixatdan 9.3-rasmda shtrixlangan yuzaga teng. Sistemaning 1 holatdan 2 holatga o'tishidagi bajarilgan to'la ish 1-2 chizig'i ostidagi yuzaga teng, ya'ni

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (9.5)$$

Agar kuzatilayotgan gazga ideal gaz tarzida qaralayotgan bo'lsa va kengayish jarayonida harorat o'zgarmasdan qolsa, tashqaridan berilayotgan issiqlik miqdori to'laligicha porshenning potentsial 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:

$$dQ = dU + dA \quad (9.6)$$

Sistemaning bir holatdan ikkinchi holatga o'tishida ichki energiyasi U_1 dan U_2 gacha o'zgargan va shu bilan bir vaqtda sistemaning tashqi kuchlariga qarshi bajargan ishi A ga teng va sistemaga berilgan issiqlik miqdori Q bo'lsa, (9.6) formula bu jarayon uchun quyidagicha yoziladi:

$$Q = U_2 - U_1 + A \quad (9.7)$$

(9.6) va (9.7) 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 holatdan ikkinchi holatga o'tishidagi bajarilgan ish va issiqlik miqdori faqat boshlangich hamda oxirgi holatlarga bog'liq bo'lmasdan, sistemaning birinchi holatdan ikkinchi holatga qanday usul bilan o'tganligiga ham bog'liq. Boshqacha so'z bilan aytganda, sistemaning berilgan holatini xarakterlovchi aniq bajarilgan ish va issiqlik miqdori mavjud emas. Ichki energiya esa sistema holatining funktsiyasidir, ya'ni sistemaning har bir holati aniq ichki energiya bilan xarakterlanadi. Sistemaning istalgan holatdagi ichki energiyasining qiymati sistema bu holatga qanday usul bilan kelganligiga bog'liq 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 differentsial bo'lib, dQ va dA - to'la differentsial emas degan xulosaga kelish mumkin.

Ideal gazning issiqlik miqdori va 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:

$$C_{jism} = \frac{dQ}{dT} \quad (9.8)$$

Jismning issiqlik sig'imi, avvalo, uning massasiga bog'liq. Shuning uchun ham odatda, asosan, solishtirma issiqlik sig'imi va molyar issiqlik sig'imi 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:

$$C = c M \quad (9.9)$$

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 C_p bilan tanishib chikaylik. Bu issiqlik sig'implarini nazariy jihatdan gazning ichki energiyasi va bajarilgan ish ifodalari orqali hisoblash mumkin. Hajm o'zgarmay qoladigan sharoit uchun molyar issiqlik sig'imini quyidagicha ifodalash mumkin:

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

Xajm o'zgarmas bo'lganligi uchun $dV = 0$ va (9.4) ga asosan (9.7) munosabatni bir mo'l ideal gaz uchun quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$(dQ)_V = dU_M$$

bundan

$$C_V = \left(\frac{dU_M}{dT} \right)_V \quad (9.10)$$

(9.10) 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 hosilasiga teng.

Bir mol ideal gazning ichki enegiyasi $U_M = \frac{i}{2} RT$ ga teng ekanligini etiborga olgan holda, bu ifodani harorat bo'yicha differentsiallab, C_V ni aniqlash mumkin:

$$C_V = \frac{i}{2} R \quad (9.11)$$

(9.11) munosabatdan ko'rinib turibdiki, ideal gazning hajmi o'zgarmas bo'lgan sharoitda molyar issiqlik sig'imi gaz molekulalarining erkinlik darajasi orqali aniqlanib, gaz holatini xarakterlovchi parametrlarga bog'liq emas ekan.

Bosim o'zgarmas bo'lgan sharoitda gazga berayotgan issiqlik miqdori gazning ichki energiyasining ortishiga va tashqi kuchlarga karshi ish bajarishga sarf buladi. Termodinamika birinchi qonunining ifodalanib, bosim o'zgarmas bo'lgan sharoitda molyar issiqlik sig'imini quyidagicha yozish mumkin.

$$C_p = C_V + R \quad (9.12)$$

(9.12) 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.

(9.12) formula bo'yicha C_V ning qiymati ni (9.11) munosabatga keltirib qo'yib, C_p ni yana quyidagicha ifodalash mumkin:

$$C_p = \frac{i}{2}R + R = \frac{i+2}{2}R \quad (9.13)$$

C_p ning C_V ga nisbatini γ orqali belgilab

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i} \quad (9.14)$$

γ ning qiymati hamma vaqt birdan katta va gazni tashkil etuvchi molekulalarning erkinlik darajalariga bog'liqdir. Klassik nazariya asosida aniqlangan issiqlik sig'implari C_V va C_p faqat gazni tashkil etuvchi molekulalarning erkinlik darajalariga bog'liq, ya'ni barcha bir atomli gazlar bir xil C_V va C_p ga ega. Ikkinchi tomondan (9.10) va (9.12) munosabatlardan ko'rinadiki, issiqlik sig'implari klassik nazariyaga asosan haroratga bevosita bog'liq bo'lmasligi kerak. Tajribalarda olingan ma'lumotlar ko'pchilik ayniqsa, bir atomli va ikki atomli gazlarning molyar issiqlik sig'implari ma'lum harorat intervalida nazariy hisoblash orqali aniqlangan qiymatlarga juda yaqin ekanligini ko'rsatadi. Lekin murakkab molekulali gazlar uchun tajribada olingan natijalar nazariy jihatdan hisoblangan qiymatlardan farq qiladi.

TAYANCH SO'Z VA IBORALAR

Erkinlik darajasi, ichki energiya, issiqlik miqdori, issiqlik sig'imi, adiabatik jarayon, molyar issiqlik sig'imi, o'rtacha kinetik energiya.

Nazorat savollari

1. Ideal gazning ichki energiyasi nima va u harakatining qanday turlari bilan bog'langan.
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.

10-Ma'ruza

Gaz molekulalari tezligining absolyut qiymatlari bo'yicha taqsimoti. Maksvell taqsimoti. Barometrik formula. Boltsman taqsimoti

Gaz molekulalarining tezligi har xil bo'ladi va uzluksiz ravishda o'zgarib (kamayib va ko'payib) turadi. Molekulalar sonini n va ularning tezliklarini v_i bilan belgilaymiz. U holda $\frac{1}{n} \cdot \sum v_i^2$ ifoda molekulalarning o'rtacha kvadratik tezligi deb ataladi va uni u bilan belgilaymiz. Ideal gaz molekulasi harakati o'rtacha kinetik energiyasi u orqali quyidagicha ifodalanadi.

$$\bar{W} = \frac{mu^2}{2} \quad (10.1.)$$

Molekulaning tezligi temperaturaga (T ga) bog'liq bo'lganligi uchun $\bar{W}$ ham T ga bog'liq bo'lishi kerak. Temperatura orqali o'rtacha kinetik energiya quyidagicha belgilanadi:

$$\bar{W} = \frac{3}{2}kT \quad (10.2.)$$

k – Boltsman doimiysi.

Bu ikki ifoda bir - biriga teng: $\frac{mu^2}{2} = \frac{3}{2}kT$

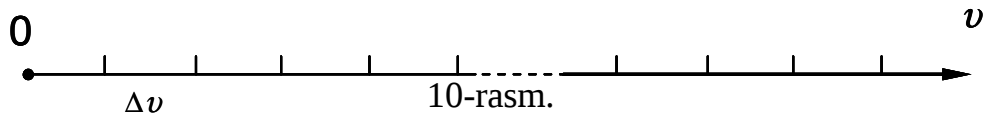
Bu tenglikdan molekula o'rtacha kvadratik tezligining temperaturaga qanday bog'liqligini topamiz:

$$u = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{N_A m}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad (10.3)$$

Bu yerda N_A - Avagadro soni va $N_A m = \mu = 1$ kilomol gazning massasi. Demak, berilgan gaz uchun molekulalar o'rtacha kvadratik tezligi faqat temperaturaga bog'liq va $\sqrt{T}$ ga to'g'ri propartsional ekan. Misol tariqasida kislorod molekulalarining $t = 0^\circ C$ dagi o'rtacha kvadratik tezligini topamiz. $T = 273^\circ K$ va $\mu = 32 \frac{kg}{kmol}$ bo'lgani uchun

$$u = \sqrt{\frac{3 \cdot 8,32 \cdot 10^3 \frac{J}{град \cdot кмоль} \cdot 273 град}{32 \frac{кг}{кмоль}}} \approx 460 \frac{м}{с}$$

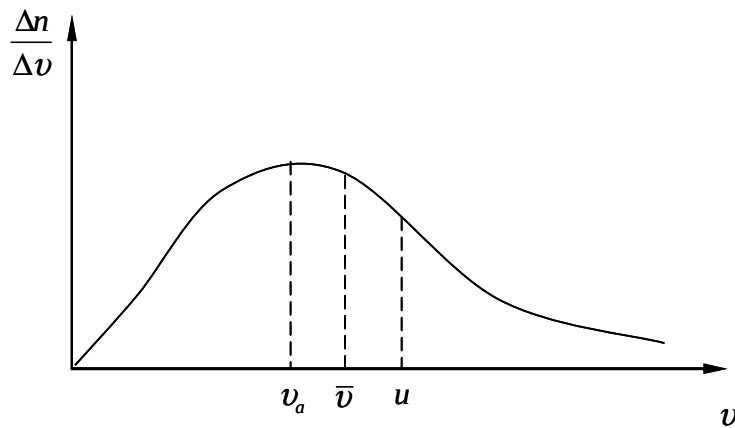
Demak, xona temperaturasida gaz molekulalari snaryad tezligiga yaqin tezliklar bilan harakat qilar ekan. Haqiqatda esa gaz molekulalari har xil tezliklar bilan harakat qiladi. Tezliklar qiymatining butun diapozonini bir - biriga teng Δv intervallarga bo'lib chiqamiz.



Faraz qilaylik, har bir Δv intervalga Δn ta molekula to'g'ri kelsin. U holda $\frac{\Delta n}{\Delta v}$ munosabat tezlikning birlik intervaliga qancha molekula to'g'ri kelishini bildiradi, boshqacha aytganda, biz molekulalarning tezlik bo'yicha taqsim bo'lishini topamiz. Albatta $\frac{\Delta n}{\Delta v}$ munosabat tezlikka bog'liq va u molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot funksiyasi deb ataladi, uni fanga ingliz olimi Maksvell nazariy yo'l bilan kiritgan:

$$f(v) = \frac{\Delta n}{\Delta v} = n \left(\frac{\mu}{2RT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{\mu}{2RT} v^2} \quad (10.4.)$$

n – molekulalarning umumiy soni. Bu funksiya $v \rightarrow 0$ va $v \rightarrow \infty$ bo'lganda nolga intiladi. $v = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$ da esa maksimal qiymatga erishadi. $v_a = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$ tezlik ehtimolligi eng katta tezlik deb ataladi va uning yonidagi birlik Δv intervalga molekulalarning eng ko'p miqdori to'g'ri keladi. Maksvelning taqsimot funksiyasi 10.2-rasmda ko'rsatilgan.



10.2-rasm.

Bu rasmda $\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$ - o'rtacha arifmetik tezlikni bildiradi. Kislorod uchun $t = 0^\circ C$ da, $u = 460 \frac{m}{s}$, $\bar{v} \approx 423 \frac{m}{s}$ va $v_a = 377 \frac{m}{s}$ ekanligi topilgan.

Gazlar gravitatsion maydonda. Barometrik formula. Atmosfera Yerdan uzoqlashib keta olmaydi, chunki Yer uni tortib turadi. $T=0^\circ$ bo'lganda hamma gazlar Yer ustiga to'planishi kerak, T oshaboshlarsa haotik harakat gazning Yerdan uzoqlashtiradi. Tortish va kengayishning o'zaro kurashi natijasida muvozanat hosil bo'ladi, bunda gazning konsentratsiyasi Yer ustida maksimal bo'ladi va Yerdan uzoqlashgan sari kamayadi. Bilamizki bosim $p = nkT$.

Demak, Yerdan tepaga ko'tarilgan sari n kamayadi, shuning uchun atmosfera bosmi p ham kamayadi. Bosimning balandlikka bog'liqligini ifolatlaydigan formula Barometrik formula deb ataladi. Ba'zibir soddalashtirishlarni kiritamiz:

1. 100 - 200 km balandlikda atmosfera bosmi juda kichik bo'lib qoladi, lekin g deyarli o'zgarmaydi, chunki 100 km masofa. Yer radiusi $R_{Yer} = 6370 \text{ km}$ dan ancha kam.

2. Bosim Yerga yaqin joylarda ham katta emas, shuning uchun havoni ideal gaz deb qarash ham bo'ladi.

3. Temperatura yuqoriga chiqqan sari bir necha o'n gradusga o'zgaradi. Shuning uchun temperaturani $const$ va 300°C deb olamiz, boshqacha aytganda atmosferani izotermik sistema deb qarash mumkin.

Silindrik kichik hajmni z balandlikda olamiz va tepadan ta'sir qilayotgan bosimni $p + dp$ ($dp < 0$) va pastdan ta'sir qilayotgan bosimni p bilan belgilaymiz. Bundan tashqari har bir m massali atomga mg og'irlik kuchi ta'sir qiladi. Bu hajmda hammasi bo'lib $nSdz$ ta atom bor, ularga

$$dF = mgnSdz$$

10.3-rasm.

Og'irlik kuchi ta'sir qiladi. Ana shu uchta kuch ta'sirida silindir jim turadi, $\sum F_i = 0$

$$nmgSdz + (p + dp)S - pS = 0$$

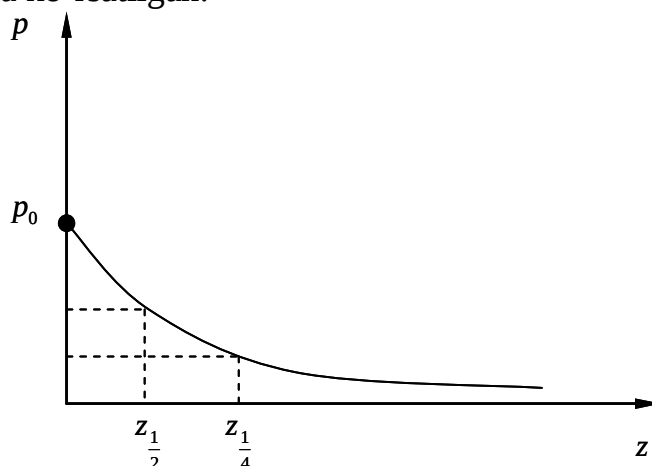
Bundan topamiz: $dp = -nmgdz$

$$p = nkT \quad \text{dan} \quad n = \frac{p}{kT} \quad \text{va} \quad dp = -p \frac{mg}{kT} dz \quad \text{va} \quad \frac{dp}{p} = -\frac{mg}{kT} dz$$

$$\ln p = -\frac{mgz}{kT} + C \rightarrow C = \ln p_0 (z = 0, p = p_0). \quad \text{Bundan} \quad p = p_0 e^{-\frac{mg}{kT}z} \quad \frac{m}{k} = \frac{mN_A}{kN_A} = \frac{\mu}{R} \quad \text{bo'lgani}$$

uchun $p = p_0 e^{-\frac{\mu gz}{RT}}$ (10.5)- barometrik formula.

Bu qonuniyat rasmda ko'rsatilgan.



10.4-rasm.

$z_{\frac{1}{2}}$ - bosim ikki marta kamayadigan balandlik. $z_{\frac{1}{2}}$ ni topamiz.

Ta'rif bo'yicha $p\left(z_{\frac{1}{2}}\right) = \frac{1}{2} p_0$. Formulaga qo'yamiz va lagorifmlaymiz;

$$z_{\frac{1}{2}} = \frac{RT}{\mu g} \ln 2 = 0,693 \frac{RT}{\mu g}$$

$$\text{Atmosfera uchun } \mu = 29 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \quad z_{\frac{1}{2}} = 0,693 \frac{8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \cdot 293}{29 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \cdot 9,8} = 6 \cdot 10^3 = 6 \text{ km}$$

$z_{\frac{1}{2}} = 12 \text{ km}$ - demak 12 km balandlikda $p = \frac{p_0}{4}$. $p \sim n$ bo'lgani uchun barometrik

formuladan topamiz; $n(z) = n_0 e^{-\frac{mgz}{kT}}$

Yer ustida $n_0 = \frac{p_0}{kT}$; Lekin $mgz = u$; - bu bitta atomning (molekulaning) z balandlikdagi potentsial energiyasidir. Shuning uchun yozish mumkin:

$n(z) = n_0 e^{-\frac{u(z)}{kT}}$ (10.6) - Boltsmon taqsimoti.

Kontsentratsiyaning balandlik bo'yicha o'zgarishi shu balandlikdagi potentsial energiya bilan xaotik harakat energiyasi o'rtasidagi munosabatga bog'liq.

TAYANCH SO'Z VA IBORALAR

Molekula, tezlik, o'rtacha arifmetik tezlik, o'rtacha kvadratik tezlik, taqsimot funktsiya, Maksvell taqsimoti, kontsentratsiya, balandlik, Boltsman taqsimoti, temperature, bosim, barometrik formula.

Nazorat savollari

1. Molekulalar sonining tezligi bo'yicha taqsimot funktsiyasi degan iboraning fizik ma'nosi qanday.
2. Maksvell taqsimotining grafigini chizing.
3. Barometrik formula qanday parametrlarni o'zaro bog'laydi.
4. Boltsman taqsimoti qanday fizik kattaligining nima bo'yicha taqsimotini belgilaydi.
5. Maksvell taqsimot funktsiyasidan foydalanib, ehtimoli eng katta bo'lgan tezlikni qanday aniqlash mumkin.
6. Balandlik ortishi bilan atmosfera bosimining qiymati kamayib borishi temperatura va atmosfera tarkibidagi molekulalarning massasiga bog'liqmi.

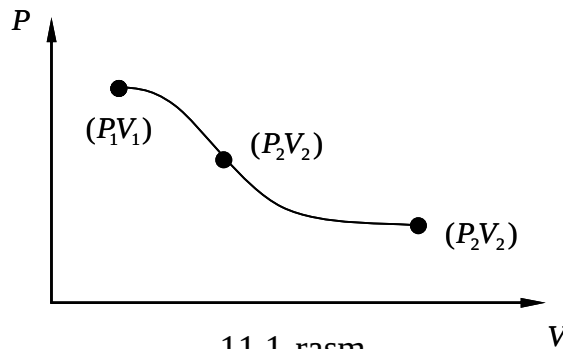
11-Ma'ruza

Qaytar va qaytmas jarayonlar. Termodinamikaning ikkinchi qonuni. Karno aylanma jarayoni. Issiqlik mashinasining foydali ish koeffitsenti (F.I.K.)

Termodinamika energiyalarning issiqlik harakati tufayli yuz beradigan bir - biriga aylanishidagi miqdoriy qonuniyatlarni o'rganadi. U ikki fundamental (asosiy) qonunga asoslangan. Birinchi qonun energiya bir - biriga aylanishidagi miqdoriy va sifat tomonlarini belgilaydi. Ikkinchi qonun bu jarayonlarning yo'nalishini belgilaydi. Termodinamik muvozanatda sistema holati PVT - uchta parametr orqali belgilanadi va $f(TPV) = 0$ tenglamani holat tenglamasi deb ataladi. Ideal gaz uchun bu Mendeleyev - Klapeyron tenglamasidir:

$$PV - \frac{m}{\mu}RT = 0 \quad (11.1)$$

Sistemaning (P_1, V_1, T_1) holatdan (P_2, V_2, T_2) holatga o'tishi termodinamik protsess deb ataladi. Holat diagrammasida sistemaning holati $(P_i V_i)$ to'chka bilan belgilanadi, protsess esa - egri chiziq bilan. Sistemaning 1 holatdan 2 holatga o'tish qaytar o'tish (jarayoni) deb ataladi, agar sistemaning 2 holatdan 1 holatga o'tish uchun boshqa protsess mavjud bo'lsa va u sistema teskari yo'nalishda birinchi yo'nalishning hamma i holatlaridan o'tib 1 holatga o'tib olsa va na sistemada va na tashqi atrofda hech qanday o'zgarishlar qolmasa.



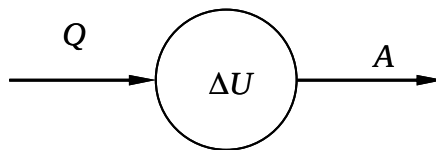
Aks holda protsess qaytmas deb ataladi. Umuman olganda tabiatda qaytar protsesslar bo'lmaydi.

Qaytar protsess - bu idealizatsiya qilingan protsessdir.

Faraz qilamiz, ichki energiyasi U_1 bo'lgan sistemaga Q energiya beriladi va uning ichki energiyasi U_2 bo'lib qoldi va A ish bajaradi.

$\xrightarrow{Q} \bigcirc - Q > 0$ $\bigcirc \xrightarrow{Q} - Q < 0$ va $A > 0$ - agar ish tashqi kuchlarga qarshi bajarilsa (11.2).

$$Q = (U_2 - U_1 + A = \Delta U + A)$$



11.2-rasm.

Demak, sistemaga berilgan energiya ichki energiyani o'zgartirishga va sistemaning bajargan ishiga sarf bo'ladi. Bu termodinamikaning birinchi qonuni va energiyaning saqlanish va bir - biriga aylanishi qonunining ifodasidir:

$$Q = \Delta U + A \quad (11.2)$$

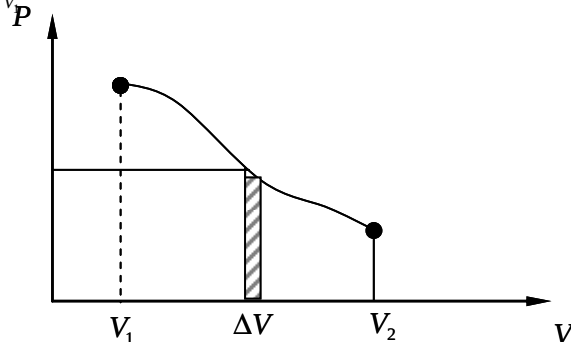
Agar sistema davriy ravishda avvalgi holatiga qaytib kelaversa $\Delta U = 0$ bo'ladi.

$$Q = A$$

Demak sistema olgan energiyasidan ko'p ish bajara olmaydi. Aks holda biz abadiy dvigatelga ega bo'lar edik. Demak termodinamikaning birinchi qonuni adabiy dvigatelning bo'lishi mumkin emas, deydi.

Termodinamik ish. Elementar ish (hajm o'zgarganda) $P\Delta V$ ga teng. Hajm V_1 dan V_2 ga o'zgarganda hamma ish $P\Delta V$ lar yig'indisiga teng (11.3-rasm).

$$A = \sum_i P_i \Delta V_i \rightarrow \int_{V_1}^{V_2} P dV \quad (11.3) \text{ - deyish mumkin } P = \frac{RT}{V} \quad (11.4) \text{ - bir mol uchun.}$$



11.3-rasm

Izotermik ish uchun $A = \int_{V_1}^{V_2} \frac{RT}{V} dV = RT(\ln V_2 - \ln V_1)$, yoki $A = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ (11.5)

Izobarik ish uchun $A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P \int_{V_1}^{V_2} dV = P(V_2 - V_1)$. (11.6)

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 hisobiga bajariladi. Adiabatik siqilishda ichki energiya oshadi va $dU > 0$ bo'ladi, lekin $dA < 0$ bo'ladi, chunki ishni tashqi kuchlar bajaradi. Devorlarni issiqlik o'tmaydigan silindr bir kilomol gazdagi adiabatik protsessni ko'rib chiqamiz. Bu gazning ichki energiyasi:

$$U = C_V T \quad (11.7)$$

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

$$\frac{RT}{V} dV = -C_V dT \rightarrow \frac{R}{C_V} \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = - \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T}$$

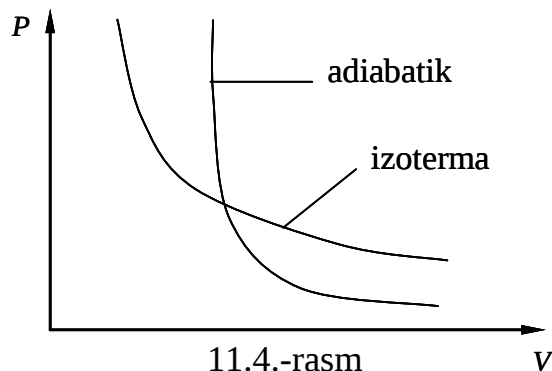
$$\frac{R}{C_V} (\ln V_2 - \ln V_1) = \ln T_1 - \ln T_2, \quad \text{yoki} \quad \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\frac{R}{C_V}} = \ln \frac{T_1}{T_2}; \quad \frac{R}{C_V} = \frac{C_P - C_V}{C_V} = \gamma - 1 \quad \text{bo'lgani}$$

uchun $\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_1}{T_2}$, yoki $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$ yoki $TV^{\gamma-1} = \text{const}$ (11.8) - Pusson qonuni.

Demak, gaz adiabatik kengaysa u sovuydi, 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 $PV^\gamma = \text{const}$ hosil bo'ladi. Adiabatik kengayishda bosim nafaqat hajmning oshishi hisobiga kamayadi, u temperaturaning kamayishi hisobiga ham kamayadi. Adiabatik protsessda $dA = -C_V dT$ va bajarilgan ish $A = C_V(T_1 - T_2)$ (11.9).

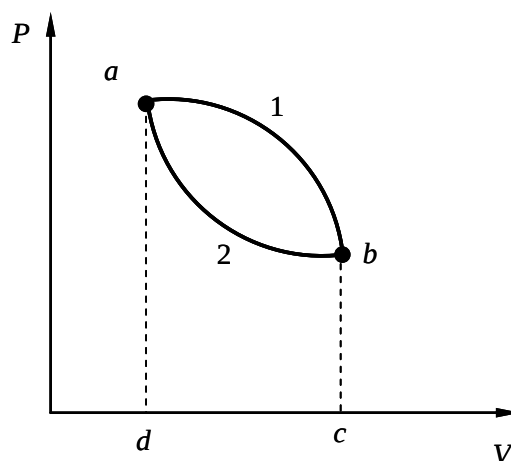


Karno sikli. Agar sistemaning holati o'zgarib u qator holatlardan o'tib yana o'zining avvalgi holatiga qaytib kelsa, bunday jarayon aylanma jarayon deb ataladi. Bunday jarayon grafikda berk chiziq bilan ifodalanadi (11.5-rasm). Kengayishda bajarilgan ish A_1 barobar $da1bs$ figuraning ichiga olgan yuzaga va musbat hisoblanadi. Gazning siqilishida bajargan ish A_2 figuraning ichiga olgan yuziga teng va u manfiy hisoblanadi. Natijada aylanma jarayonda bajarilgan ish quyidagi ifodaga teng:

$$A = A_1 - A_2 \quad (11.10)$$

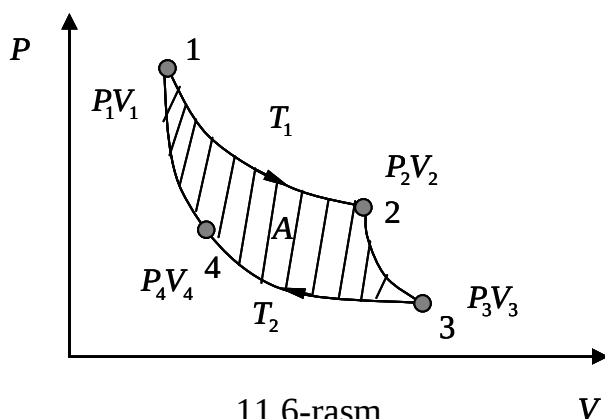
Agar aylanma jarayon soat strelkasi bo'ylab yuz bersa bajarilgan ish 0 dan katta bo'ladi, teskari bo'lsa ish 0 dan kichik bo'ladi. Agar sikl paytida ish bajarilsa va bu sikl davriy ravishda qaytarilib tursa bunday sistema mashina deb ataladi.

1824 yilda Frantsuz injeneri Sadi Karno ideal issiqlik mashinasining ishini ko'rib chiqadi. Bu mashina porshenli silindr ichidagi bir kilomol ideal gazdan, isitgichdan va sovutgichdan iborat. Bu sistema davriy ravishda ikki izotermik jarayondan va ikki adiabatik jarayondan iborat. Ana shu to'rt davriy jarayonni ko'rib chiqamiz (11.6 va 11.7-rasmlar).



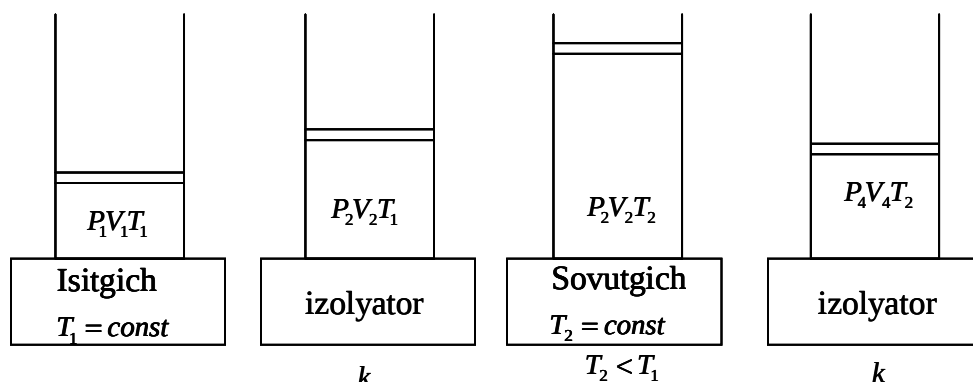
11.5-rasm

1. Gaz siqilgan va bosimi P_1 ga, temperaturasi T_1 ga teng. I isitgich bilan kontaktda Q_1 energiya oladi va $Q_1 = A_1$ ga teng izotermik ish bajaradi.
2. 2-3 uchaskada adiabatik kengayishda A' ga teng ishni o'zining ichki energiyasi hisobiga bajaradi. Bunda silindrning tagida izolyator bo'ladi va tashqi muhit bilan energiya almashilmaydi, gaz sovidi.
3. 3-4 uchaskada tashqi kuchlar A_2 ga teng izotermik ish bajaradi, T_2 temperaturada sovutgichga Q_2 ga teng issiqlik beradi.



11.6-rasm

4. 4-1 uchaskada tashqi kuchlar A'' ga teng ish bajaradi, bunda gazning ichki energiyasi oshadi ($T_2 \rightarrow T_1$).



11.7-rasm

Provardida gazning ichki enegiyasining o'zgarishi $\Delta U = 0$. Demak gazning olgan issiqlik miqdori $Q_1 - Q_2$ sikl mobaynida bajarilgan ishga teng:

$$Q_1 - Q_2 = A_1 + A' - A_2 - A''$$

Adiabatik protsessda bajarilgan ish $A = C_V(T_1 - T_2)$ bo'lgani uchun $A' = A''$ ($(T_1 \rightarrow T_2)$ va $(T_2 \rightarrow T_1)$ - intervallar bir hil). Shuning uchun

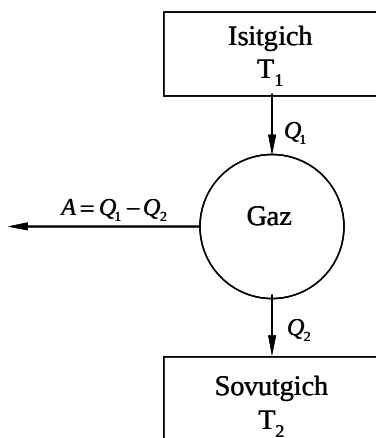
$$Q_1 - Q_2 = A_1 - A_2 = A$$

A - bajarilgan umumiy (foydali) ish, u shtrixlangan yuzaga teng. Ish soat strelkasi bo'yicha bo'lgani uchun u musbatdir.

Savol beramiz: Isitgichdan olingan issiqlik Q_1 ni hammasini, sovutgichga Q_2 ni bermasdan, ishga aylantirish mumkinmi?

Boshqacha aytganda Q_1 ning hammasini ishga aylantirish mumkinmi?

Ko'rinib turibdiki, sovutgich bo'lmasa $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ yana $3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ bo'yicha orqaga qaytadi va shtrixlangan yuza no'lga teng bo'ladi, boshqacha aytganda foydali ish ham no'lga teng bo'ladi. Demak, ish bajarishi uchun albatta Q_1 ning bir qismini sovutgichga berish shart ekan. Qisqasi, isitgichdan olingan issiqlik miqdorini hech qanday uslub bilan hammasini ishga aylantirib bo'lmaydi, bir qism issiqlik sovutgichga berilishi kerak. Bu - termodinamikaning ikkinchi qonunidir. Issiqlik mashinasining ish printsi 11.8-rasmda ko'rsatilgan.



11.8-rasm

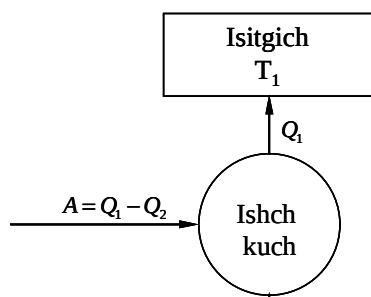
Olingan issiqlik miqdorining hammasini ishga aylantiradigan mashina abadiy mashina (dvigatel) deb ataladi. Termodinamikaning ikkinchi qonuni yana abadiy dvigatelning bo'lishi mumkin emas, deb ham aytsa bo'ladi.

Ideal issiqlik mashinasining F.I.K. quyidagiga teng.

$$\eta = \frac{A}{A_1} = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Boshqacha aytganda $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} < 1$ dir.

Sovutgich. Teskari Karno sikli - sovutgichdir. Tashqi kuchlar ishi A orqali gaz Q_2 sovutgichdan issiqlik miqdorini olib Q_1 qismini isitgichga beradi. Natijada xolodelnik (sovutgich) paydo bo'ladi.



11.9-rasm

TAYANCH SO'Z VA IBORALAR

Issiqlik harakati, qaytar va qaytmas jarayonlar, Karno aylanma jarayoni, issiqlik mashinasi, foydali ish koeffitsienti (F.I.K), sovitgich, isitgich, ish, issiqlik miqdori, ideal gaz, izotermik jarayon, adiabetic jarayon, sikl, temperature.

Nazorat savollari

1. Qanday sharoitlarda qaytaruvchan jarayonlarni kuzatish mumkin.
2. Issiqlik mashinasining ishlashini tushuntiring.
3. Sovitkich mashinasining ishlash printsipini izohlang.
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.

12-Ma'ruza

***Real gazlar. Van-der-Vaals tenglamasi. Kritik holat.
Real gazlarning ichki energiyasi. Joul-Tomson effekti***

Mendeleyev - Klapeyron tenglamasi ideal gaz holatini ifodalaydi. Bunday gazning molekulalarini bir - biri bilan ta'sirlashmaydigan material nuqtalar deb qarash mumkin. Lekin real gazlarning molekulalari, kichik bo'lsada, ma'lum hajmga ega bo'ladilar va ular o'zaro kichik kuchlar bilan bog'langanlar. Kichik temperaturalarda yoki yuqori bosmlarda (molekulalar bir - biriga yaqin turganda) ularning hajmlari va ular orasidagi ta'sir kuchlari rol o'ynayboshlaydi. Bunda ideal gaz tenglamasi ishlamay qoladi. Real gazning holatini ifodalash uchun golland fizigi Van - der - Vaals 1873 yilda Mendeleyev - Klapeyron tenglamasiga molekulalarning hajmini va ular o'rtasidagi tortishish kuchlarini hisobga oladigan hadlarni kiritdi. Bir mol gaz uchun u quyidagicha ko'rinishga ega:

$$\left(P + \frac{a}{V_{\mu}^2}\right) \cdot (V_{\mu} - b) = RT \quad (12.1.)$$

Bu yerda $\frac{a}{V_{\mu}^2}$ - ichki bosimni bildiradi, a - konstanta, b - 1 mol molekulalarning hajmlari, yig'indisi, bunda molekulalar o'rtasidagi tirqishlar ham kiradi V_{μ} - molekulalar harakat qilayotgan hajm yoki gaz joylashgan idish hagmi.

Istalgan massa uchun Van - der - Vaals tenglamasi bunday:

$$\left(P + \frac{m^2}{\mu^2} \frac{a}{V^2}\right) \left(V - \frac{m}{\mu} b\right) = \frac{m}{\mu} RT \quad (12.2.)$$

μ - 1 mol gazning massasi.

(12.2.) formuladan P ideal gaz joylashgan idish devorlarining gazga berayotgan tashqi bosimni bildiradi. Molekulalarning o'zaro tortishish kuchlari esa gazni siquvchi qo'shimcha sabab bo'lib, ular ichki bosim P ning paydo bo'lishiga olib keladi. hisoblashlar shuni ko'rsatadiki, hosil bo'ladigan qo'shimcha bosim gaz hajmining kvadratiga teskari proporsional ekan. Bir mol gaz uchun $P' = \frac{a}{V_{\mu}^2}$ bo'lsa (a

proporsionallik koeffitsiyenti), istalgan m massa uchun $P' = \frac{m^2}{\mu^2} \frac{a}{V^2}$ bo'ladi. Natijaviy bosim esa shu ikkala bosim P va P' larning yig'indisiga teng bo'ladi.

(12.1.) formuladagi V_{μ} bir kilomol gazning egallagan hajmdir, boshqacha aytganda, gaz joylashgan idishning hajmi. Real gazda shu hajmning b ga teng qismlarini molekulalarning o'zi egallaydi, shuning uchun ularning harakati uchun qoladigan hajm $V_{\mu} - b$ ga teng bo'ladi. Bundan ko'rinib turibdiki, agar molekulalarning hajmi b idish hajmi V_{μ} teng bo'lib qolsa, ular hech qanday harakat qilaolmagan bo'lar edilar.

Agar (12.1.) formulani matematika nuqtai nazaridan normal ko'rinishga keltirsak, u quyidagicha yoziladi.

$$PV_{\mu}^3 - (Pb + RT)V_{\mu}^2 + aV_{\mu} - ab = 0 \quad (12.3.)$$

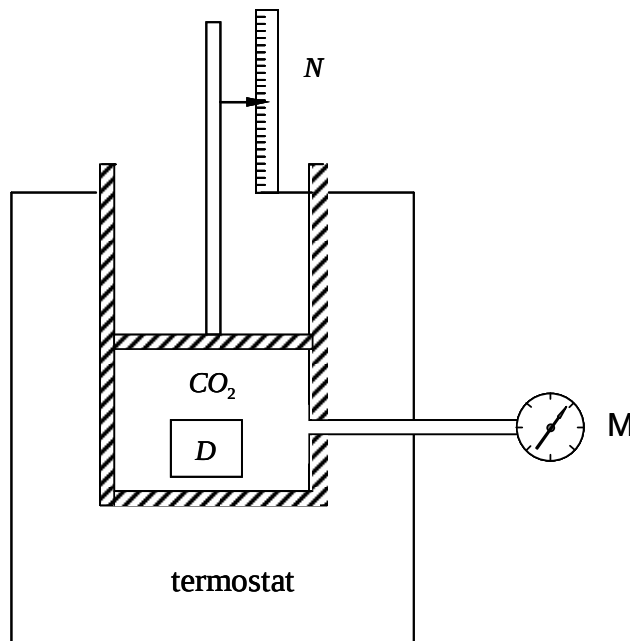
Demak, Van - der - Vaals tenglamasi V_{μ} ga nisbatan uchunchi darajali tenglama ekan. Har xil temperaturalar uchun P ning V_{μ} ga bog'liqligi Van - der - Vaals izotermalari deyiladi va ular 12.1- rasmda ko'rsatilgan.

12.1-rasm

Ko'rinib turibdiki, $T < T_K$ larda grafik to'liqinsimon (minimum va maksimumlari bor) sohaga ega. Bu sohada P ning bitta qiymati uchun hajmning uchta $V'_\mu, V''_\mu, V'''_\mu$ har xil qiymatga egalari to'g'ri keladi. $T > T_K$ uchun esa hajmning bitta qiymati uchun bosimning bitta qiymati to'g'ri keladi.

Ma'lumki, uchunchi darajali tenglamaning yoki uchta haqiqiy yechimi bo'ladi, yoki bitta haqiqiy va ikkita mavhum yechim bo'ladi. Ko'rinib turibdiki birinchi hol uchun bosimning bitta P_1 qiymati uchun hajmning $V'_\mu, V''_\mu, V'''_\mu$ qiymatlari to'g'ri keladi, ikkinchi hol uchun esa yuqori temperatura izotermasida bitta P qiymati uchun bitta $V^\times_\mu$ qiymati to'g'ri keladi.

Amalda Van - der - Waals izotermalarining bunday ko'rinishini qanday tekshirib ko'rish mumkin? Bunday tekshirishni 1869 yilda Van - der - Waals o'z tenglamasini chiqarmasdan avval, Endryus degan olim bajargan. Tajriba sxemasi 12.2-rasmda ko'rsatilgan. Porshen tagiga 1 mol CO_2 gazi kiritiladi. Gazning bosmi va hajmi monometr M va N shkala yordamida o'lchanadi. Germetik ravishda yopilgan shisha deraza D orqali silindr ichidagi gaz kuzatilishi mumkin. Silindr termostatga o'rnatiladi. Agar gazni 31°S dan yuqori temperaturada siqilsa porshen tagiga ko'zga ko'rinadigan hech qanday voqea yuz bermaydi. Agar siqish $+31^\circ\text{C}$ dan past temperaturada amalga oshirilsa, u holda hajm ma'lum qiymatga erishganda porshen tagida suyuqlik tomchilari (tuman) paydo bo'ladi, va silindrning devoriga o'tiraboshlaydi. Provardida silindr butunlay suyuqlikka to'lib ketadi. Gazning suyuqlikka aylanishi o'zgarmas bosmda yuz beradi (rasmga qarang).



12.2-rasm

Demak, ekspremental izotermalarning gorizantal qismi («platasi») gazning suyuqlikka aylanishi jarayoning anglatadi. Platada suyuqlik va gaz birgalikda «yashaydi», V'_μ va V''_μ oralig'ida hajm V'_μ dan kichik bo'lganda CO₂ gazning hammasi suyuqlikka aylangan bo'ladi.

12.3-rasm

Ikkala ham nazariy, ham amaliy izotermalarni solishtirsak ular bir - biriga o'xshash ekanligini ko'rish mumkin, faqat bitta farqi shu yerdaki, gazning suyuqlikka aylanishi Endryus izotermasida platada yuz beradi, Van - der - Vaals izotermasida - to'liqsimon uchastkada.

Endryus tajribasi shuni ko'rsatadiki, har qanday gaz suyuqlikka faqat shu gazga hos bulgan ma'lum temperatura T_k dan past temperaturada aylantirishi mumkin. Agar gaz temperaturasi T_k dan yuqori bo'lsa, uni hech 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 holat, hajim 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 hili 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 tahlil qilamiz. Real gazlar ichki energiyasi molekulalarning kinetik va potentsial energiyalari yig'indisidan iborat: Agar gaz tashqi ish bajarmasdan kengaysa va tashqi muhit bilan issiqlik almashmasa, uning ichki energiyasi o'zgarmay qolish kerak.

$$W = W_k + W_{\Pi} = \text{const} \quad (12.4.)$$

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 potentsial energiyasi ham oshadi. (12.4.) 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 potentsial energiya kamayadi, kinetik energiya W_{Π} oshadi, bu esa T oshganini bildiradi (gaz isiydi).

TAYANCH SO'Z VA IBORALAR

Real gazlar, bosim, hajm, temperatura, ichki bosim, xususiy hajm, nazariy izoterma, eksperimental izoterma, kritik nuqta, kritik bosim, kritik hajm, kritik temperatura, Van-der-Vaals tuzatmalari.

Nazorat savollari

1. Qanday sharoitlarda real gaz o'zining xususiyati bo'yicha ideal gazga yaqinlashib boradi?
2. Joule-Tomson effektini tushuntiring?
3. Van-der-Vaals formulasini yozing va tushuntiring?
4. Van - Der - Valas tenglamasidagi $\frac{a}{V_{\mu}^2}$ va b parametrlarning fizik ma'nosi qanday?
5. Kritik holat nima?
6. Kritik temperatura qanday temperatura?

7. Real gazning ichki energiyasi nima?

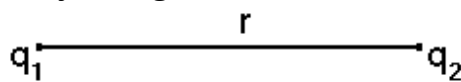
13-Ma'ruza***Elektr maydon. Kulon qonuni. Elektr maydon kuchlanganligi.
Maydonlarning superpozitsiya printsipi. Kuchlanganlik chiziqlari***

Qahrabo shoyi bilan ishqalanganda uning yengil predmetlarni o`ziga tortish xususiyatiga ega bo`lib qolishini odamlar eramizdan avval ham bilishgan. Lekin faqat XVI asrga kelib, ingliz olimi Gilbert bunday xususiyatga qahrabodan tashqari shisha, farfor, ebonit va shunga o`xshash jismlar ham teri yoki yumshoq mato bilan ishqalanganda ega bo`lib qolishini isbotladi. Bu jarayonni Gilbert elektrizatsiya (elektrlanish) deb atadi. “Elektron” so`zi grekchasiga “qahrabo” so`zini bildiradi. Gilbert bu jarayonning fizik mohiyatini tushuntirib bera olmadi. Faqat 1881 yilda nemis fizigi Gelmgolts jismlarning elektrlanishi qandaydir elektr zaryadiga ega bo`lgan elementar zarrachalar bilan bog`liq bo`lishi kerak, degan g`oyani ilgari surdi. Keyinchalik, 1897 yilda ingliz olimi J.J. Tomson elektronni ixtiro qilganda o`z isbotini topdi. 1919 yilda bunga qo`shimcha sifatida Rezerford protonni kashf qildi.

Elektronning massasi $m_e = 9,108 \cdot 10^{-31}$ kg va zaryadi $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Kulon. Protonning massasi $m_p = 1836 \cdot m_e$ va zaryadi $q_e = -e$. Elektrlanmagan jismda manfiy va musbat zaryadlar soni bir xil bo'ladi, aks holda har xil bo'ladi.

Zaryadlari erkin harakatda bo'lgan jism o'tkazgich (metall) deb ataladi. Agar elektronning hammasi bog'langan bo'lib, erkin harakat qilaolmasa, bunday jismlar dielektrik (izolyator) deb ataladi. Agar jism kichik elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lsa, u yarimo'tkazgich deb ataladi. Izolyatsiya qilingan jismda zaryadlarning algerbaik yig'indisi o'zgarmasdir. Bu-elektr zaryadining saqlanish qonunidir. Zaryadning o'lchov birligi Kulon. Bu birlik tok kuchi bilan bog'liq: $q = I \cdot t$ 1 kulon = 1 amper · 1 sekund. Amper haqida keyinroq gaplashamiz.

Ma'lum bo'ldiki, zaryadlar o'z atrofida qandaydir bir muhit hosil qilargan va bu muhitga kiritilgan har qanday zaryadga kuch ta'sir qilargan ekan. Bu muhit keyinchalik elekt maydon deb ataldi. Shu muhit orqali zaryadlar bir-biriga ta'sir ko'rsatishlari aniqlandi. Ana shu o'zaro ta'sirni birinchi marta 1785 yilda frantsuz fizigi Kulon o'rgandi. U quyidagi qonunni aniqladi: ikki nuqtaviy zaryad vakuumda zaryadlar ko'paytmasi $q_1 q_2$ ga to'g'ri proporsional va ularning orasidagi masofaning kvadratiga teskari proporsional kuch bilan ta'sirlashadi va bu kuch zaryadlarni birlashtiruvchi chiziq bo'yicha yo'nalgan:



13.1-rasm

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (13.1)$$

Si sistemasida, $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, bu erda ϵ_0 elektr doimiysi (yoki vakuumning dielektrik singdiruvchanligi) deb ataladi.

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{Kl^2}{H \cdot m^2} = [m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2] = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{Farada}{metr}$$

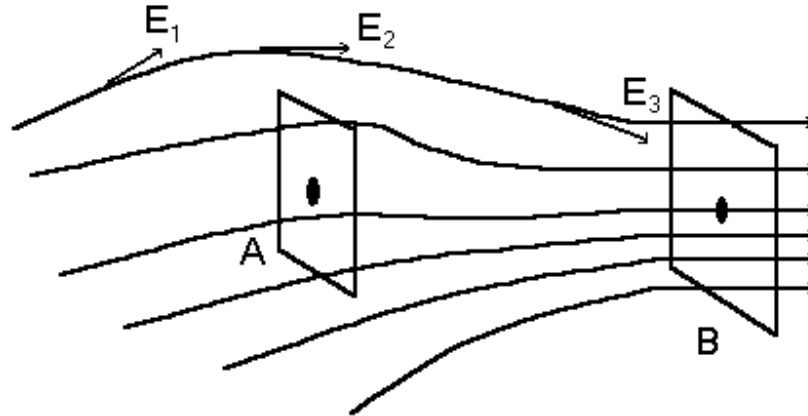
Elektr maydon kuchlanganligi. Faraz qilaylik, elektr maydonning biror nuqtasiga q_0 zaryad (“sinov” zaryadi) joylashgan bo'lsin va unga ta'sir qilayotgan kuch F_0 bo'lsin. Bu kuch $F_0 = q_0 \cdot E$ deb olinadi va bu yerda E maydon kuchlanganligi deb ataladi. Uning fizik ma'nosi shuki, u birlik zaryad ($q_0 = 1Kл$) ga ta'sir qiladigan kuchga teng.

$$[E] = \frac{[F]}{[q]} = \frac{[H]}{[Kл]} = m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$$

Keyinchalik $\frac{H}{Kл} = \frac{Volt}{metr}$ ekanligini ko'ramiz.

Kuchlanganlik chiziqlari. Elektr maydon xossalarini kuch chiziqlari tushunchasi yordamida ham chuqurroq tushunish mumkin. Elektr maydonning kuch chiziqlari

shunday chiziqlar-ki, ularning harqanday nuqtasidagi urinma shu nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligi vektoriga mos tushadi. Kuch chiziqlarini shunday zichlik bilan chiziladi-ki, 1m^2 yuzani kesib o'tayotgan kuch chiziqlari soni son jihatdan shu yuzadagi elektr maydon kuchlanganligiga teng bo'lishi kerak. Misol uchun, 13.2-rasm



13.2-rasm

$$E_A = 3 \frac{V}{m} \text{ va } E_B = 6 \frac{V}{m}$$

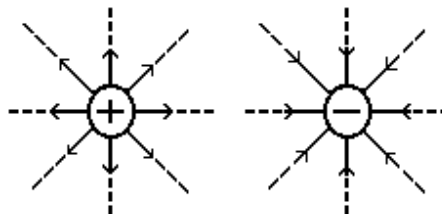
Agar maydonning istalgan nuqtasida kuchlanganligi E bir xil bo'lsa, bu maydon bir jinsli deb ataladi., aks holda bir jinsli bo'lmagan maydon deb ataladi.

Agar birqancha $q_1, q_2, \dots, q_n$ zaryad bo'lsa, u holda istalgan nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligi shu zaryadning shu nuqtada hosil qilayotgan maydon kuchlanganliklarining vektor yig'indisiga teng:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$$

Bunga superpozitsiya prinsipi deyiladi.

13.3-rasmda musbat va manfiy zaryadlarning hosil qilgan kuch chiziqlari ko'rsatilgan:



13.3-rasm

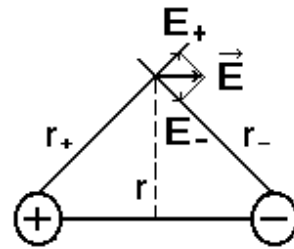
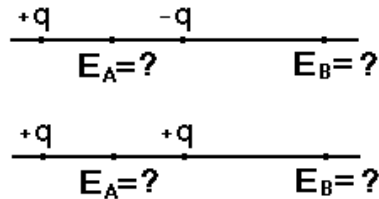
q zaryadning r masofadagi nuqtada hosil qiladigan maydon kuchlanganligi quyidagi formula orqali topiladi:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

S yuzani kesib o'tayotgan maydon kuch chiziqlarining soni shu yuzadan o'tayotgan maydon kuchlanganligi oqimi N deb ataladi. Agar S yuza kuch chiziqlariga perpendikulyar bo'lsa va uning har bir nuqtasida E bir xil bo'lsa, u holda $N=E \cdot S$ deb olinadi.

Misollar:

1.



$$\vec{E} = \frac{\vec{P}}{4\pi\epsilon_0 r^3} \quad (r_+ = r_- \cong r \text{ va } r \gg l), \quad P = q \cdot l$$

Demak, katta masofada dipolning maydon kuchlanganligi masofaning kubiga teskari proportsional ekan.

TAYANCH SO'Z VA IBORALAR

Elektrlanish, elektron, zaryad, dielektrik, kuchlanganlik, superpozitsiya, kuch chiziqlari, elektr maydon, nuqtaviy zaryad, Kulon qonuni.

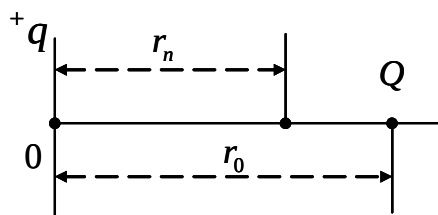
Nazorat savollari

1. Elektrlanishning mazmunini tushuntiring?
2. Elektr zaryadi qanday fizik kattalik?
3. Zaryadning qanday turlari mavjud?
4. Kulon tajribasini izohlang?
5. Kulon qonunini ta'riflang?
6. Elektr maydon kuchlanganligining fizik ma'nosini tushuntiring?
7. Kuch chiziqlari oqimi deb nimaga aytiladi?

14-Ma'ruza

Elektr maydon ishi. Potentsial. Elektr maydon kuchlanganligi va potentsial orasidagi bog'lanish. Ekvipotentsial sirtlar

Elektr maydonda turgan q zaryadga Q zaryad F kuch bilan ta'sir qilyapti deb hisoblaylik (14.1-rasm).



14.1-rasm

Bu kuchning qiymati quyidagi formula orqali topiladi;

$$F = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (14.1)$$

Bu yerda r o'zgaruvchan masofa, bu kuch ta'sirida q zaryad harakatga keladi. O nuqtadan n nuqtaga zaryadni surishda bajarilgan ishni hisoblaymiz.

$dA = Fdr$ bo'lganligi uchun:

$$A = \int_{r_0}^{r_n} F \cdot dr = q\theta \int_{r_0}^{r_n} \frac{dr}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_0}^{r_n} \frac{dr}{r^2} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_n} \right) = q \left(\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r_0} - \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r_n} \right) \quad (14.2)$$

$W_p = \frac{q\theta}{4\pi\epsilon_0 r}$ qiymat zaryadning berilgan nuqtadagi potentsial energiyasvi deb ataladi;

Agar zaryadlar o'rdasidagi masofa cheksiz ortib borsa ($r \rightarrow \infty$) potentsial energiya nolga intiladi. q va Q zaryadlar bir xil ishorali bo'lsalar ular o'rtasida itarish kuchi mavjud bo'ladi va potentsial energiya musbat bo'ladi. Agar q va Q zaryadlar har xil ishorali bo'lsalar ular o'rtasida tortishish kuchi mavjud bo'ladi va potentsial energiya manfiy bo'ladi.

$\varphi = \frac{\theta}{4\pi\epsilon_0 r}$ qiymat bir musbat zaryadning ($q = +1k$) potentsial energiyasi bo'lib, maydonning potentsiali deb ataladi. Potentsial ko'chirilayotgan zaryad miqdoriga bog'liq emas, u maydonni hosil qiluvchi zaryad Q ga bog'liq. (14.3) ni (14.2) ga qo'yamiz va

$$A = q(\varphi_0 - \varphi_n) \quad (14.4)$$

ni hosil qilamiz. $q = 1$ bo'lsa:

$$\varphi_0 - \varphi_n = A \quad (14.5)$$

Demak, ikki nuqta potentsiallari farqi shu nuqtalar o'rtasida bir birlik musbat zaryadni ko'chirishda bajarilgan ishga teng ekan. Agar zaryadni maydon kuchlariga qarshi cheksizga surib qo'yilsa ($r_n \rightarrow \infty$), u holda $\varphi_n = 0$ va

$$\varphi_0 = \frac{A}{q} \quad (14.6)$$

bo'ladi. Demak, berilgan nuqtadagi bir birlik musbat zaryadni nuqtadan cheksizga surib borishda bajarilgan ishga teng ekan.

(14.6) formuladan potentsialning birligi 1 Volti chiqaramiz:

$$1V = \frac{1J}{1Kl}$$

Demak, 1 Volt shunday nuqtaning potentsialiki shu nuqtadan 1 Kulonni cheksizga surishda bajarilgan ish 1 Joulga teng. $E = \frac{F}{q} = \frac{H}{Kl} = \frac{V}{m}$ ekanligini

endi isbotlasa bo'ladi. Demak

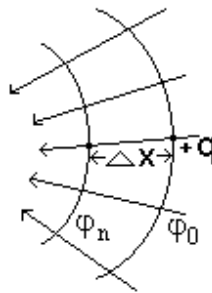
$$\frac{H}{Kl} = \frac{H \cdot m}{Kl \cdot m} = \frac{Joul}{Kl \cdot m} = \frac{V}{m}$$

Agar maydonni hosil qiluvchi zaryad Q manfiy bo'lsa, u holda musbat birlik zaryadni cheksizlikka ko'chirishda bu zaryad qarshilik ko'rsatadi (manfiy ish bajaradi). Manfiy zaryadni potentsiali esa manfiy bo'ladi. Agar Q musbat bo'lsa, u

holda maydon musbat birlik zaryadni cheksizga o'zi ko'chiradi. Bunda zaryad musbat ish bajaradi. Demak musbat zaryadning potentsiali ham musbat bo'ladi:

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (14.7)$$

Ekvipotentsial chiziqlar (sirtlar). Biz ko'rdik-ki, Zaryadni elektr maydonda ko'chirishda bajarilgan ish yo'lning shakliga emas, balki boshlang'ich va oxirgi nuqtalardagi potentsiallar ayirmasiga bog'liq ekan. Demak elektr kuchlari potentsial kuchlar ekan. Potentsiallar bir xil bo'lgan nuqtalardan iborat yuza yoki chiziq ekvipotentsial sirt (yoki chiziq) deb ataladi. (14.4) dan ko'rinib turibdi-ki, ekvipotentsial sirt (yoki chiziq)da zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish nolga teng (chunki $\varphi_0 = \varphi_n$). Demak maydonning kuch chiziqlari ekvipotentsial sirt (chiziq)ga perpendikulyar ekan.



Shunday qilib, elektr maydon ikkita parametr bilan belgilanar ekan: maydon kuchlanganligi $\vec{E}$ va potentsial φ . E-vektor kattalik, φ -esa skalyar kattalikdir.

E va φ o'rtasidagi bog'lanish? Faraz qilaylik, musbat q zaryad potentsiali φ_0 bo'lgan yuzadan potentsiali $\varphi_n < \varphi_0$ bo'lgan yuzaga maydon ta'sirida ko'chirilsin. Agar ko'chish dx kichik bo'lsa, $E = \text{const}$ deb hisoblanishi mumkin va shunda bajarilgan elementar ish $\Delta A = qE\Delta x$ (14.8) ga teng. Boshqa nuqtai nazardan,

$$\Delta A = q(\varphi_0 - \varphi_n) = q\Delta\varphi \quad (14.9)$$

$$\text{Bu ikki formulani solishtirsak; } qE\Delta x = q\Delta\varphi \quad (14.10)$$

$$\text{Bundan } E = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = -\text{grad}\varphi \quad (14.11)$$

bu yerda minus ishora shuning uchun qo'yilganqki, kuchlanganlik vektori E potentsialning kamayish yo'nalishi bo'ylab yo'nalgan, aksincha, potentsial gradienti potentsialning ko'payish (ortish) tomoniga qarab yo'nalgan. Demak $\vec{E}$ qiymat jihatdan potentsial gradientiga teng, yo'nalishi bo'yicha esa unga teskari yo'nalgan.

TAYANCH SO'Z VA IBORALAR

Zaryad, ish, maydon, energiya, potentsial, Volt, kuchlanganlik, potentsial maydon, elektr maydon kuchlanganligi, gradient, kuch chiziklari, ekvipotentsial sirt.

Nazorat savollari

1. Potentsial tushunchasining fizik ma'nosi nima?
2. Ikki nuqta potentsiallar farqi nimaga teng?
3. Potentsial birligi nima va u nimaga teng?
4. Ekvipotentsial chiziq degani nima?
5. Elektr maydon kuchlanganligi va potentsial qanday o'zaro qanday bog'langan?
6. Zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish qanday aniqlanadi?
7. Potentsial maydon deb nimaga aytiladi?

15-Ma'ruza

Kuchlanganlik vektorining oqimi. Gauss teoremasi.

Ba'zi elektrostatik maydonlar uchun Gauss teoremasining tadbiqu

Avvalgi ma'ruzada ta'riflaganimizdek, S yuza orqali kuchlanganlik vektorining oqimi $N = E \cdot S$ ga teng.. bunda $E \perp S$ deb hisoblanadi. Endi $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ zaryadlar kuchlanganliklarining berk yuza orqali oqimini topamiz (15.1- rasm).



15.1-rasm

Bunda oqim yuza ichidan tashqariga yoʻnalgan boʻlsa, u musbat deb qabul qilinadi, aks holda-manfiy boʻladi. Avval R radiusli sferik yuzani koʻrib chiqamiz. Uning markazida bitta q zaryad joylashgan. Formulaga binoan sferaning istalgan nuqtasida kuchlanganlik bir xil boʻladi:

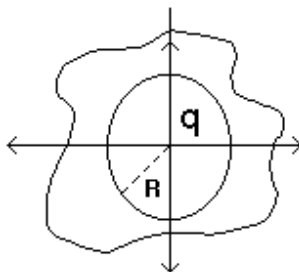
$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2}$$

Kuch chiziqlari radius boʻylab yoʻnalgan. ($E \perp S$). Shuning uchun oqim:

$$N = E \cdot S = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \cdot 4\pi R^2 = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (15.1)$$

ga teng.

Endi sferani ixtiyoriy berk yuza bilan oʻraymiz.



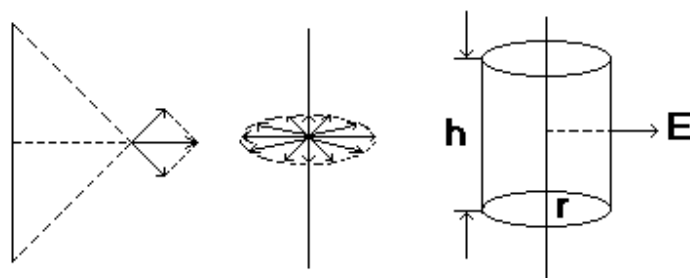
15.2-rasm

Koʻrinib turibdiki, sferani kesib oʻtayotgan har bir kuchlanganlik chizigʻi berk yuzadan ham oʻtadi. Demak, (15.1) formula har qanday istalgan yuza uchun toʻgʻri kelaveradi. Endi berk yuza ichida n ta zaryad hosil boʻlsin. Ravshan-ki. Yuzadan chiqayotgan (oʻtayotgan) kuchlanganlik chiziqlari oqimi zaryadlarning hosil qilgan oqimlarining yigʻindisiga teng:

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{\epsilon_0} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i \quad (15.2)$$

Demak, berk yuzani kesib oʻt uvchi kuchlanganlik oqimi shu yuza ichidagi zaryadlarning algebraik yigʻindisiga proporsional ekan. Bu Gauss teoremasi deb ataladi. Bu teorema yordamida har xil shaklli zaryadlangan jismlarning maydon kuchlanganligini topish mumkin.

1. Cheksiz uzun zaryadlangan toʻgʻri simning maydon kuchlanganligi.



15.3-rasm

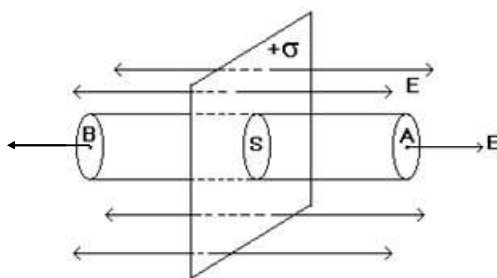
15.3-rasmdan ko`rinib turibdi-ki,  $E$  simga perpendikulyar. Simni silindrik yuza bilan o`raymiz. ρ -chiziqli zichlik (bir metr uzunlikdagi zaryad miqdori). Gauss teoremasiga asosan:

$$N = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i^n q_i = \frac{\rho h}{\epsilon_0} \quad (15.3)$$

Bu yerada $\sum_i^n q_i = \rho h$ -silindr ichidagi zaryad. Boshqachasiga $N = ES = E \cdot 2\pi r h$, yoki,

$$\frac{\rho h}{\epsilon_0} = E \cdot 2\pi r h, \text{ bundan} \quad E = \frac{\rho}{2\pi\epsilon_0 r} \quad (15.4)$$

2. Zaryadlangan cheksiz tekislikning maydon kuchlanganligi. Bu misolda ham E yuzaga perpendikulyardir. A nuqtadagi E kuchlanganlikni topamiz.



15.4-rasm

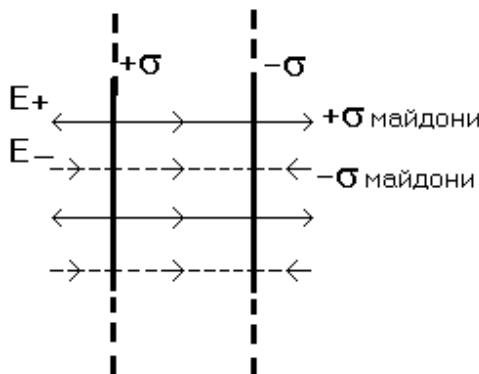
Yuzaga perpendikulyar bo`lgan silindr yuzani chizamiz. Yuza silindrni teng ikkiga bo`ladi. Gauss teoremasiga asosan silindr yuzadan o`tayotgan oqim

$$N = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_i^n q_i = \frac{\delta S}{\varepsilon_0} \quad (15.5) \text{ ga teng.}$$

Bu erda δ -yuza birligidagi zaryad. Yoki $N = E \cdot 2S = \frac{\delta S}{\varepsilon_0}$.

Demak, $E = \frac{\delta}{2\varepsilon_0} \quad (15.6)$ va u yuzadan bo'lgan masofaga bog'liq emas.

3. Zaryadlangan ikki prallel cheksiz tekislik o'rtasidagi maydon kuchlanganligi.



15.5-rasm

$|\sigma^+| = |\sigma^-|$ bo'lgani uchun $E_+ = E_- = \frac{\sigma}{2\sigma_0} \quad (15.7)$ tekisliklar o'rtasida $E = E_+ + E_-$ va

$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \quad (15.8)$ 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.

TAYANCH SO'Z VA IBORALAR

Kuchlanganlik, plastinka, sirt, zaryad, dipol, kuchlanganlik oqimi, elektr doimiysi, zaryadning chiziqli zichligi, zaryadning sirt zichligi,

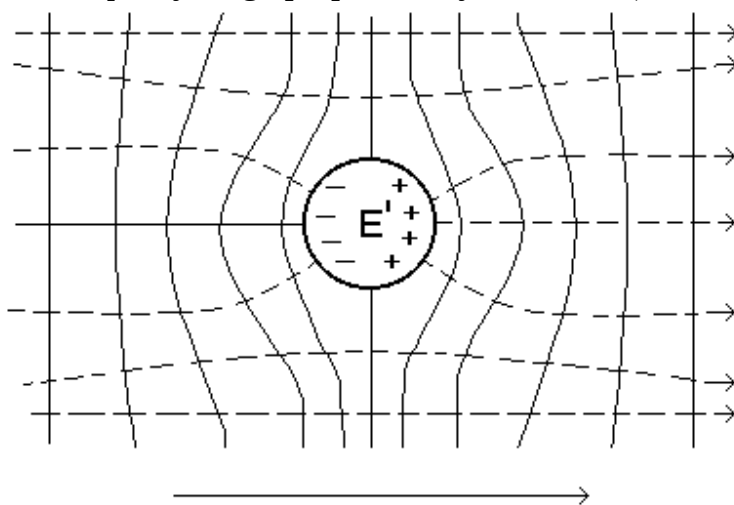
Nazorat savollari

1. Elektr maydon kuchlanganligi oqimi nimaga teng?
2. Gaus teoremasini matematik ifodasini tushuntiring?
3. Uzunligi cheksiz va to'g'ri chiziq shaklli zaryadlangan simning r masofadagi elektr maydonning hisoblang?
4. Zaryadlangan cheksiz tekislikning va zaryadlangan bir - biriga parallel ikki tekislikning elektr maydoni kuchlanganligini aniqlang?
5. Sirt zichligi va chiziqli zichliklarni izohlang?
6. Zaryadlangan yassi plastinka atrofidagi elektr maydon qanday ifodalanadi?
7. Ikki parallel zaryadlangan plastinka oralig'ida hosil buladigan maydon kuchlanganligini yozing?

16-Ma'ruza

Elektrostatik maydonda o'tkazgich. Zaryadlarning taqsimlanishi. Elektr sig'im. Kondensatorlar. Elektrostatik 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. Xarakat 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 potentsial bir xil bo'ladi va kuch chiziqlari yuzaga perpendikulyar bo'ladi (16.1-rasm).



16.1-rasm

Bundan tashqari elektr maydon ichi bo'sh sharda ham nol bo'ladi. Bu hodisaga elektrostatik himoya asoslangan:

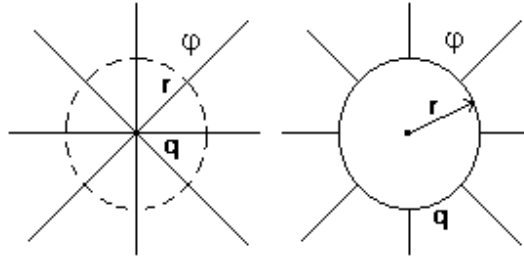
Agar bir priborni tashqi maydondan himoya qilish kerak bo'lsa, uni metal setka ichiga qo'yiladi.

Agar o'tkazgichga qo'shimcha zaryadlar berilsa, ular o'tkazgichda bir-biridan itarilib, uning yuzasida taqsimlanadilar va yuza ma'lum potentsialga ega bo'lib qoladi. Agar zaryad yana berilsa potentsial ham oshadi. Agar zaryad dq ga ohsa potentsial ham $d\phi$ ga oshadi va

$$C = \frac{dq}{d\phi} = \frac{q}{\phi} \quad (16.1)$$

o'tkazgichning elektr sig'imi deb ataladi. Sig'im o'tkazgichning o'lchami va shakliga bog'liq. (16.1) formuladan ko'rinib turibdiki, yolg'iz o'tkazgichning elektr sig'imi uning potentsialini 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.

$$1\Phi = \frac{1KI}{1M}$$



16.2-rasm

Nuqtaviy zaryad va shar markazidan r masofada maydon (potentsial) bir xil.

$$\varphi = \frac{q}{C} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}; \text{ bu yerdan}$$

$$C = 4\pi\epsilon_0 r \quad (16.2)$$

$$\text{va } \epsilon_0 = \frac{C}{4\pi r} = \left[\frac{\Phi}{\mathcal{M}} \right]$$

(16.2) dan sharning radiusini topamiz:

$$r = \frac{C}{4\pi\epsilon_0} \quad (16.3)$$

Agar $C=1F$ bo'lsa va $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$ hisobga 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 1F 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 yengish 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

$$dA = (\varphi_0 - \varphi)dq \quad (16.4)$$

ish bajariladi. Agar zaryad cheksizdan olib kelinsa $\varphi_0 = 0$ bo'ladi, demak

$$dA = -\varphi dq = -C\varphi d\varphi \quad (16.5)$$

bo'ladi.

To'liq ish:

$$A = \int_0^\varphi dA = -C \int_0^\varphi \varphi d\varphi = -\frac{1}{2} C \varphi^2 \quad (16.6)$$

Minus ishora tashqi kuchlar zaryadlangan o'tkazgich maydon kuchlariga qarshi ish bajarishini anglatadi. Demak, zaryadlangan o'tkazgich energiyasi:

$$W = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{q\varphi}{2} = \frac{q^2}{2C} \quad (16.7)$$

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 sistemasi 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 ingichka dielektrigi bor ikki metall plastinkalardir. Bu plastinkalarga miqdori bir xil, lekin ishorasi har xil zaryad beriladi. Ta'rifga binoan bunday sistemaning sig`imi:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} \quad (16.8)$$

ga teng. Bu erda q-bitta plastinkadagi zaryad.

16.3-rasm

d kichik bo`lsa, ikki plastinka orasidagi maydonni bir jinsli deyish mumkin. Bu hol uchun quyidagi munosabat o`rinlidir:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} d; \quad (16.9)$$

$$\left(E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} \right)$$

$$C = \frac{q \epsilon_0 \epsilon}{\sigma d} = \frac{\sigma S \epsilon_0 \epsilon}{\sigma d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} \quad (16.10)$$

Kondensatorlarni bir-biriga ulash. Bir nechta kondensatorlarni ulab, o`zgacha sig`imga ega boshqa kondensatorlarni hosil qilish mumkin (buni kodensatorlar batareyasi deb ham atash mumkin).

**1. Parallel ulangan kondensatorlar sig`imini topish.** Parallel ulangan kondensatorlar plastinkalaridagi potentsiallar farqi  $\varphi_a - \varphi_s$  bir xil bo`ladi. Bir xil ishorali zaryadlar yig`indisi  $q_1 + q_2 + \dots + q_n = q$ . Bunday batareyaning sig`imi:

$$C = \frac{q}{\varphi_a - \varphi_s} = \frac{q_1}{\varphi_a - \varphi_s} + \frac{q_2}{\varphi_a - \varphi_s} + \dots + \frac{q_n}{\varphi_a - \varphi_s} = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_i^n C_i \quad (16.11)$$

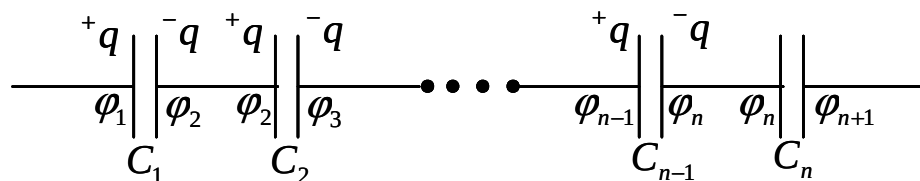
16.4-rasm

Demak, parallel ulangan kondensatorlarning umumiy sig'imi ularning sig'imlarining yig'indisiga teng ekan.

2. Ketma-ket ulangan kondensatorlar sig'imini topish. Kondensatorlar ketma-ket ulanganda ularning plastinkalarida bir xil zaryad bo'ladi (ishorasi har xil) va u q ga teng. Potentsiallar farqi esa quyidagiga teng:

$$\varphi_1 - \varphi_n = (\varphi_1 - \varphi_2) + (\varphi_2 - \varphi_3) + \dots + (\varphi_{n-1} - \varphi_n)$$

Bunday batareyaning sig'imi:



16.5-rasm

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_n}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{\varphi_1 - \varphi_n}{q} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{q} + \frac{\varphi_2 - \varphi_3}{q} + \dots + \frac{\varphi_{n-1} - \varphi_n}{q} + \frac{\varphi_n - \varphi_{n+1}}{q} \quad (16.12)$$

Lekin $\frac{\varphi_i - \varphi_{i+1}}{q} = \frac{1}{C_i}$ bo'lgani uchun $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_i^n \frac{1}{C_i}$ (16.13)

Zaryadlangan bo'lgani uchun kondensatorlar energiyaga ega va u:

$$W = \frac{C(\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2} \quad (16.14)$$

$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed$ va $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot S}{d}$ bo'lgani uchun

$$W = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot E^2 Sd}{2} \quad (16.15)$$

Lekin $Sd=V$ -kondensator plastinkalari o`rtasidagi xajm. Shuning uchun kondensatorlarning elektr energiyasi teng:

$$W = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot E^2}{2} V \quad (16.16)$$

bu yerda $W = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot E^2}{2}$ xajm birligidagi elektr energiyasiga teng, boshqacha aytganda u elektr energiyasining zichligidir.

TAYANCH SO'Z VA IBORALAR

Zaryad, maydon, elektrostatik, ion, elektron, o'tkazgich, sig'im, kondensator, kondensatorlarni parallel ulash, kondensatorlarni ketma-ket ulash, elektr maydon energiyasi.

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. Ikkitadan ortiq kondensator ketma-ket ulanganda umumiy sig'im ifodasini yozing?
7. Elektr maydoniga qo'yilgan o'tkazgich qanday ta'sirlanadi?
9. Elektr sig'im qanday fizik kattalik?
10. Kondensator qanday elektr qurilma, u qanday vazifani bajaradi?
11. Elektr maydon energiyasi ifodasini yozing?

17-Ma'ruza

Elektrostatik maydondagi dielektrik. Elektr maydonda dielektriklar polyarizatsiyasi. Segnetoelektriklar

Agar dielektrik elektr maydoniga kiritilsa, u qublanadi (polyarizatsiyalanadi). Dielektrikka kuch chiziqlari kirgan tomon manfiy zaryadlanadi., teskari tomoni-musbat zaryadlanadi. Lekin bu elektrostatik induktsiya emas, chunki metallidagi 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 holda polyarizatsiya molekulalarning burilishi tufayli yuz beradi.

17.1-rasm

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. Umumiy holda $P = \alpha E$

17.2-rasm

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 (rasm). 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 xaotik 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. Segnetoelektriklarda 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 buza olmaydi. Bunga ko'proq energiya kerak bo'ladi. Bu ishni yuqori temperaturada bajarish mumkin. Segnetoelektriklarga misol: segnet tuzi ($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) va bariy titanati (BaTiO_3).

17.3-rasm

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 hosil qiladi.

17.3-rasm

$$E = E_0 - E' \quad (17.1)$$

Vakuumdagi elektr maydon kuchlanganligining izotrop dielektrik ichidagi maydon kuchlanganligiga bo'lgan nisbati dielektirk singdiruvchanlik deb ataladi:

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E} \quad (17.2)$$

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 dielektriklarda - $2,5 \div 8$, polyar suyuqliklarda - $10 \div 81$ atrofida bo'ladi. Segnetoelektriklarda $\varepsilon = 10^4$ largacha etishi mumkin, vakuum uchun esa $\varepsilon = 1$.

Ikki zaryad o'rtasidagi ta'sir kuchi, Kulon qonuniga binoan, quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r^2} = \frac{F}{\varepsilon} \quad (17.3)$$

bu erda F_0 -zaryadlarning vakuumdagi o'zaro ta'sir kuchi. Demak, ε biror muhit ichidagi ikki zaryad o'rtasidagi ta'sir kuchi vakuumdagiga qaraganda necha marta kamayishini anglatadi. Bir jinsli izotrop muhit uchun quyidagi formulalar mavjud:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r^2} \quad (17.4)$$

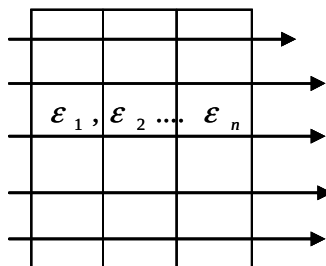
$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r^2} \quad (17.5)$$

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r} \quad (17.6)$$

$$\text{va } N = \frac{1}{\varepsilon_0 \varepsilon} \sum_i^n q_i \quad (17.7)$$

Vakuum uchun bu formulalarda $\varepsilon = 1$ deb olish kifoya.

Lekin bu formulani bir jinsli bo'lmagan muhitlar uchun ishlatib bo'lmaydi, chunki muhitlar chegarasida ε sakrab o'zgaradi. Bu qiyinchilikni bartaraf qilish mumkin, agar yangi maydonning yangi fizikaviy harakteristikasini - elektr induksiya 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 (17.2) formulaga binoan:



17.4-rasm

$$\varepsilon_1 E_1 = \varepsilon_2 E_2 = \dots = E_0 = \text{const} \quad (17.8)$$

Bu tenglamani ε_0 ga ko'paytiramiz:

$$\varepsilon_0 \varepsilon_1 E_1 = \varepsilon_0 \varepsilon_2 E_2 = \dots = \varepsilon_0 E_0 = \text{const} \quad (17.9)$$

Yangi ifoda kiritamiz:

$$\epsilon_0 \epsilon \vec{E} = \vec{D} \quad (17.10)$$

U holda quyidagini hosil qilamiz:

$$\vec{D}_1 = \vec{D}_2 = \dots = \vec{D}_n = \text{const} \quad (17.11)$$

D elektr induktsiyasi deb ataladi. E dan farqli ravishda $\vec{D}$ hamma dielektrlarda bir xil bo'ladi. Shuning uchun bir jinsli bo'lmagan muhitlarda maydonni $\vec{E}$ bilan emas $\vec{D}$ bilan ifodalagan yaxshi. Shu tufayli yangi terminlar kiritilgan: induksiya chiqzilari, induksiya oqimi.

TAYANCH SO'Z VA IBORALAR

Dielektrik, atom, elektron, maydon, qutublangan molekula, qutublanmagan molekula, molekulaning dipol momenti, qutublanish vektori, qoldiq qutublanish, segnetoelektriklar.

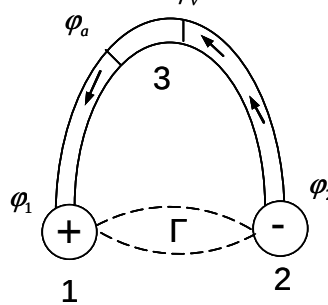
Nazorat savollari

1. Elektr maydonda dielektrik qanday qutblanadi?
2. Dielektrik singdiruvchanlikning fizik ma'nosi qanday?
3. Elektr indktsiyasi vektori nima?
4. Segnetoelektrik nima va u qanday qutblanadi?
5. Segnetoelektrik jismlarga, temperature qanday ta'sir qiladi?
6. Dielektrlarning asosiy xususiyati nimada?
7. Dielektrik elektr maydoniga kiritilsa qanday hodisa ro'y beradi?
8. Segnetoelektrik jismlarning elektr maydonidagi xususiyatini tushuntiring?

18-Ma'ruza

O'zgarmas tok. Tok kuchi va zichligi. Om qonuni. Elektr yurituvchi kuch. Kirxgof qoidalari. Tokning ishi va quvvati

Zaryadlarning tartibli harakatiga o'zgaras tok deb ataladi. Tokning yo'nalishi sifatida musbat zaryadlarning harakat yo'nalishi qabul qilingan. Odatda tok elektr maydonining ta'sirida yuz beradi. 1 va 2 o'tkazgichni φ_1 va φ_2 potentsialgacha zaryadlaymiz va uch o'tkazgich bilan o'zaro ulab qo'yamiz.



18.1-rasm

Potentsiallar farqi uch utkazgich ichida elektr maydonini hosil qiladi va bu maydon potentsialning kamayishi tarafiga qarab (2ga qarab) yunalgan bo'ladi. Bu maydon ta'sirida elektronlar 2-3-1 yo'nalishda harakat qila boshlaydi, demak tok 1-3-2 yo'nalishda oqadi.

O'tkazgichning kundalang kesimidan 1 sekund ichida oqib o'tuvchi zaryad miqdori Δq tok kuchi deb ataladi:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (18.1)$$

Tok kuchining birligi 1Amper.

3-simda tok o'tgan sari $\varphi_1 - \varphi_2$ kamayadi va nolga intiladi, natijada tok to'xtaydi.

Tok to'xtamasdan oqib turishi uchun nima qilish kerak?

Buning uchun 1 va 2 utkazgich orasida shunday bir qurilma bo'lishi kerak-ki, uning vazifasi harxil ishorali zaryadlarni ajratib olib musbat zaryadlarni 1-o'tkazgichga, manfiy zaryadlarni 2-o'tkazgichga o'tkazib turish bo'lsin. Shunday bo'lsa potentsiallar farqi $\varphi_1 - \varphi_2$ o'zgaras bulib turadi. Bunday qurilma generator yoki tok manbai deb ataladi. Lekin bunday generator elektr maydon yordamida ishlayolmaydi, chunki elektr maydonda har xil ishorali zaryadlarni bir-biridan ajratib bo'lmaydi, bunday maydonda har xil ishorali zaryadlar, aksincha, bir-biriga qarab intiladi, birlashadi. Shuning uchun generatordagi zaryadlarni ajratuvchi kuch elektr tabiatiga ega bo'la olmaydi, bunday kuchlar shu sababli "tashqi" kuchlar deb ataladi. Bu kuchlarning tabiati har xil bo'lishi mumkin. Masalan, akkumlyator va galvanik elementlarda bunday kuchlar kimyoviy reaksiyalar energiyasi hisobiga, yarimo'tkazgichli fotoelementlarda – yorug'lik energiyasi hisobiga paydo bo'ladilar.

Demak, eng oddiy elektr zanjiri quyidagi elementlardan tuzilgan bo'ladi: tok manbai G, uning qutblari 1 va 2 hamda ularni birlashtiruvchi o'tkazgich 3, lekin tok manbaining ichida zaryadlarning ajralishiga ikki narsa qarshilik ko'rsatadi. Biriinchisi - bu 1 va 2 qutblar orasidagi elektr maydoni, bu maydonning kuch chiziqlari musbat qutb (1) dan manfiy qutb (2) ga yo'nalgan va musbat zaryadlarni tarafga, manfiy

zaryadlarni chap tarafga itaradi. Ikkinchisi - qutblar orasidagi muhitning zaryadlar harakatiga ko'rsatadigan qarshiligi. Masalan akkumlyatordagi elektrolitning quyushqoqligi. Bu quyushqoqlik zaryadlarning harakatiga oddiy mexanik qarshilik ko'rsatadi.

Demak, zaryadlarni ajratuvchi "tashqi" kuchlar bajaradigan ish ikki qismdan iborat bo'ladi: ishning birinchi qismi A_1 tok manbai ichidagi elektrostatik maydon kuchlariga qarshi bajariladi, ikkinchi qismi A' qutblar orasidagi muhitning mexanik qarshiligi kuchlariga qarshi bajariladi:

$$A = A_1 + A' \quad (18.2)$$

O'zning ma'nosi bo'yicha elektr maydonda bajarilgan ish $A_1 = q(\varphi_1 - \varphi_2)$. Demak, (18.2) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) + A'$$

Qutblar orasida birlik zaryadni tashishda "tashqi" kuchlarni bajargan ishi elektr yurituvchi kuch (E.Yu.K.) deb ataladi. Agar E.Yu.K. ni ε harfi bilan belgilasak,

$$\varepsilon = \frac{A}{q} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \frac{A'}{q} \quad (18.3)$$

hosil bo'ladi.

Agar qutblarni birlashtiruvchi o'tkazgich (yoki sim) uzib qo'yilsa, bu holda $A' = 0$ bo'ladi, chunki qutblar orasida zaryad tashilmaydi, faqat mavjud potentsiallar farqi $\varphi_1 - \varphi_2$ ushlab turiladi. Bu hol uchun $\varepsilon = \varphi_1 - \varphi_2$.

Demak, qutblari bir-biridan uzilgan hol uchun E.Yu.K. qutblardagi potentsillar farqiga teng ekan. Agar tok manbai tashqi 3 sim bilan ulangan bo'lsa, qutblardagi potentsiallar farqi manbaning kuchlanishi deb ataladi. Kuchlanish E.Yu.K. dan $\frac{A'}{q}$ qiymatga kichik bo'ladi. E.Yu.K. Voltlarda o'lchanadi.

Om qonuni. 1826 yilda nemis fizigi Om tajriba orqali o'tkazgichdagi tok kuchi kuchlanish (U) ga to'g'ri proporsional, R qarshilikka teskari proporsional ekanligini aniqladi.

$$I = \frac{U}{R} \quad (18.4)$$

Qarshilik Om larda o'lchanadi.

$$1Om = \frac{1V}{1A}$$

Qarshilik o'tkazgichning ℓ uzunligiga to'g'ri proporsional va ko'ndalang kesim yuzasi S ga teskari proporsional bo'ladi:

$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

ρ - o'tkazgichning solishtirma qarshiligi.

Qarshilik temperaturaga ham bog'liq bo'ladi:

$$R = R_0(1 + \alpha t) \quad \alpha \approx 0,004 \text{grad}^{-1}$$

α - qarshilikning temperatura koeffitsienti deb ataladi.

Endi $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ kuchlanish ta'sirida bo'lgan R qarshilikda o'zgarmas tokning q zaryadni ko'chirishda bajargan ishini topamiz. Bilamiz-ki, bu ish $A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU$ ga teng. (18.1) formulasini va Om qonunini hisobga olsak, tokning bajargan ishi uchun quyidagi formulalar hosil bo'ladi:

$$\begin{aligned} A &= IUt \\ A &= I^2 Rt \quad (18.5) \\ A &= \frac{U^2}{R} t \end{aligned}$$

Har bir (18.5) formulani vaqtga bog'lasak o'zgarmas tok quvvati uchun ifodalar hosil bo'ladi:

$$\begin{aligned} N &= IU \\ N &= I^2 R \quad (18.6) \\ A &= \frac{U^2}{R} \end{aligned}$$

Ish Joul da va kuvvat Vatt larda o'lchanadi. Elektrotexnikada sistemadan tashqari kilovatt-soat degan birlik ishlatiladi:

$$1kVtsoat = 10^3 Vtsoat = 3,6 \cdot 10^6 J$$

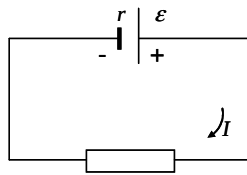
Qarshilikda bajarilgan ishning hammasi issiqlikka aylanadi., demak ajralib chiqqan issiqlik:

$$Q = A = IUt = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t \quad (18.7)$$

ga teng.

Bu ifodaga Joul-Lents qonuni deb ataladi.

Butun zanjir uchun Om qonuni. Rasmda keltirilgan berk zanjirda $\varepsilon = IR + Ir$, r - tok manbaining ichki qarshiligi. Bu erdan:



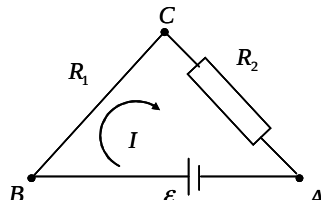
18.2-rasm

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \quad (18.8)$$

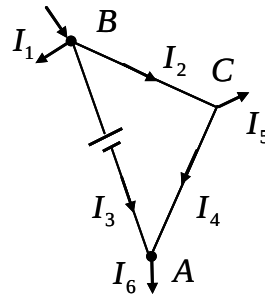
R-tashqi qarshilik.

Kirxgof qoidalari. Berk zanjirlar uchun Om qonuni oson qo'llaniladi, lekin tarmoqlarga bo'lingan zanjiga bu qonunni ishlatish qiyin. (a) rasmda berk zanjir, (b) rasmda tarmoqlangan zanjir keltirilgan. Berk zanjirning xamma qismida tok bir xil,

(b) rasmda esa BC, CA va AB larda tok qiymati harxildir. Bunday zanjirlarni hisoblashda Kirxgof qoidalarini ishlatiladi. Bu qonun 1847 yilda taklif qilingan.

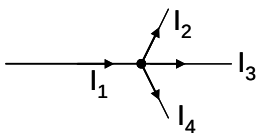


18.3-rasm



a) Kirxgofnin birinchi qonuni:

Tugunda toklarning algebraik yig'indisi nolga teng.

$$\sum_i I_i = 0 \quad (18.9)$$


$$I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

18.4-rasm

Tugunga kirayotgan tok musbat, chiqayotgan tok manfiy hisoblanadi.

b) Kirxgofnin ikkinchi qonuni:

Bu qoida tarmoqlangan zanjirning berk konturiga tegishli. Kontur bo'yicha soat strelkasi bo'ylab aylanish yo'nalishi musbat hisoblanadi. Agar tok aylanish yo'nalishi bo'yicha oqayotgan bo'lsa, u musbat, teskari tarafga-manfiy hisoblanadi. Agar aylanish paytida manbaning minusdan kirib, plusdan chiqilsa, bunday E.Yu.K. musbat hisoblanadi, aks holda-manfiy.

18.5-rasm

Ana endi Kirxgofning ikkinchi qoidasini keltiramiz:

Tarmoqlangan zanjirning berk konturidan E.Yu.K. larning algebraik yig'indisi kontur uchastkalaridagi toklarning qarshilikka ko'paytmasining algebraik yig'indisiga teng:

$$\sum_i \bar{\varepsilon}_i = \sum_i \bar{I}_i R_i \quad (18.10)$$

Ana shu qoidalarni rasmdagi konturga ishlatamiz.

A tugun uchun $I_3 - I_4 + I_5 - I_6 + I_1 = 0$

B tugun uchun $I_8 - I_1 - I_2 = 0$

C tugun uchun $I_7 + I_2 - I_3 = 0$

ABCA kontur uchun $-\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = -I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3$

TAYANCH SO'Z VA IBORALAR

Elektr, elektron, ion, zaryad, tok kuchi, kuchlanish, qarshilik, elektr maydon, tok zichligi, Om qonuni, elektr yurituvchi kuch, tokning bajargan ishi, quvvat.

Nazorat savollari

1. Tok kuchi deb nimaga aytiladi?
2. Zanjirning bir kismi uchun Om qonuni kanday ifodalanadi?
3. Berk zanjir uchun Om qonuni qanday ifodalanadi?
4. Elektr yurituvchi kuch deb nimaga aytiladi?
5. Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlarini tushuntirib bering.
6. Joule-Lent 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?

ADABIYOTLAR

1. M.Ismoilov, P.Xabibullaev, M.Xaliulin «Fizika kursi», Toshkent «O'zbekiston» 2000 yil, 469 b.
2. A.S.No'monxo'jaev «Fizika kursi», 1-qism, Toshkent, «O'qituvchi» 1992 yil.
3. O'.Q.Nazarov, H.Z.Ikromova, K.A.Tursunmetov. Umumiy fizika kursi, «Mexanika va molekulyar fizika», Toshkent, «O'zbekiston» 1992 yil, 279 b.
4. O.I.Axmadjonov, Fizika kursi, «Mexanika va molekulyar fizika», Toshkent, «O'qituvchi», 1988 yil, 253 b.
5. T.Turg'unov, «Amaliy fizika», Toshkent, «O'zbekiston», 2003 yil, 476 b.
6. B.O.Otaqulov, Yu.P.Po'latov, N.A.Xalilov, A.Z.G'oziev, «Fizika», (Mexanika), Toshkent, «O'AJBNT», Markazi, 2003 yil, 251 b.
7. O.I.Axmadjonov, Fizika kursi, «Elektr va magnetizm», Toshkent, «O'qituvchi», 1988 yil, 214 b.
8. O'.Q.Nazarov, Umumiy fizika kursi, «Elektr va elektromagnetizm», Toshkent, «O'zbekiston», 2002 yil, 320 b.