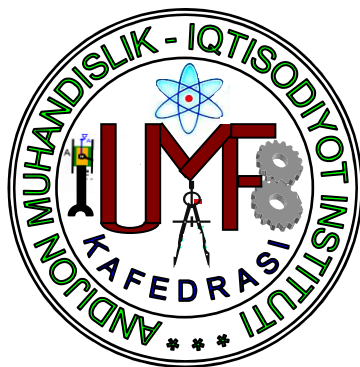


O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
ANDIJON MUHANDISLIK- IQTISODIYOT INSTITUTI
«UMUMMUHANDISLIK FANLARI» KAFEDRASI



OLIY TA'LIMNING
5540500- *“To`qimachilik sanoati mahsulotlari texnologiyasi”*
5540600 – *“Yengil sanoat mahsulotlari texnologiyasi”*
yo`nalishlarining talabalari uchun

“FIZIKA” (mexanika, elektromagnetizm) fanidan

MA'RUZALAR KURSI

Andijon-2010y.

“TASDIQLAYMAN”
Andijon muhandislik-iqtisodiyot instituti
O’quv-uslubiy Kengashida ko’rib chiqilgan
va ma’qullangan
Kengash raisi _____ A.Xakimov
(O’quv-uslubiy Kengashning №____sonli bayonnomasi)
«_____» _____ 2010 y.

«MA’QULLANGAN»
«Muhandislik» fakulteti Kengashida
muhokama qilingan va ma’qullangan
Kengash raisi _____ H.Sarimsaqov
(Fakultet Kengashining №____sonli bayonnomasi)
«_____» _____ 2010 y).

«TAVSIYA ETILGAN»
«Umummuhandislik fanlari» kafedrası
majlisida muhokama qilingan
va tavsiya etilgan
Kafedra mudiri _____ Q.Ermatov
(Kafedrası majlisining №____-sonli bayonnomasi)
«_____» _____ 2010 y).

Taqrizchilar:

Nosirov M.– Andijon Davlat Universiteti «Qattiq jismlar fizikasi» kafedrası dotsenti, fizika-matematika fanlari nomzodi.

Halilov M. – «Umummuhandislik fanlari» kafedrası dotsenti, texnika fanlari nomzodi.

Tuzuvchi:

«Umummuhandislik fanlari» kafedrası katta o’qituvchisi, pedagogika fanlari nomzodi G.Umarova. “Fizika (mexanika, elektromagnetizm)” fanidan ma’ruzalar kursi. –A.: AndMII. 2010 yil.

Ushbu “Fizika” (mexanika, elektromagnetizm) fanidan tayyorlangan ma’ruzalar kursi 5540500- “To’qimachilik sanoati mahsulotlari texnologiyasi”, 5540600–“Yengil sanoat mahsulotlari texnologiyasi” yo’nalishlari bo’yicha bakalavrlar tayyorlash namunaviy va ishchi dasturlar asosida tuzilgan.

MUNDARIJA

Kirish.....	4
-------------	---

MEXANIKA

1-Ma'ruza: Mexanikaviy harakat. Nuqtaning aylana bo'ylab harakati	5
2-Ma'ruza: Dinamika asoslari. Moddiy nuqtalar sistemasining harakati.....	14
3-Ma'ruza: Mexanik tizimda impul'sning o'zgarish va saqlanish qonuni. Qattiq jismning aylanma harakat dinamikasi	21
4-Ma'ruza: Ish, quvvat va energiya.....	27
5-Ma'ruza: Suyuqliklar mexanikasi.....	33
6-Ma'ruza: Nisbiylik nazariyasi asoslari.....	37

ELEKTR

7-Ma'ruza: Elektrostatika asoslari. Elektr maydonining fizik kattaliklari va ularning o'zaro bo'g'liqligi ...	43
8-Ma'ruza: Elektr maydonida bajariladigan ishlar. Elektrostatik maydonning o'tkazgichlar bilan ta'sirlashuvi.....	52
9-Ma'ruza: Elektr sig'imi va kondensatorlar. Elektrostatik maydon energiyasi.....	58
10-Ma'ruza: O'zgarmas elektr toki. Kirxgof qoidalar.....	65
11-Ma'ruza: Magnit maydoni va uning kattaliklari Magnit maydonidagi tokli kontur.....	71
12-Ma'ruza: Bio-Savar-Laplas qonuni.....	79
13-Ma'ruza: Elektromagnit induksiya hodisalari.....	85
14-Ma'ruza: O'tkazgichlarning induktivligi. Magnit maydoni energiyasi va uning xususiyatlari.....	90
15-Ma'ruza: Maksvell tenglamalari.....	98
Ilova	101
Adabiyotlar ro'yxati.....	103

KIRISH

Ushbu ma'ruzalar kursi O'zbekiston Respublikasi Oliy va O'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan tasdiqlangan Davlat ta'lim standartlari va yangi o'quv dasturlari asosida yozilgan bo'lib, 5540500- "To'qimachilik sanoati mahsulotlari texnologiyasi", 5540600 – "Yengil sanoat mahsulotlari texnologiyasi" yo'nalishlari bo'yicha bakalavrlar tayyorlash namunaviy va ishchi dasturlar asosida tuzilgan.

Fizika kursining mexanika, elektromagnetizm bo'limiga tegishli materiallar xalqaro birliklar sistemasi (SI) da bayon qilingan.

Ushbu ma'ruzalar kursining maqsadi talabaga asosiy fizik hodisalar va go'yalarni o'rgatish, hozirgi zamon va klassik fizika qonunlari va nazariyalari hamda fizik tadqiqotlar usullarni o'rgatish bilan birga, talabalarda ilmiy dunyoqarash va zamonaviy fizik fikrlashni shakllantirish, har xil sohalaridagi aniq fizik masalalarni yechish usullari va yo'llarini egallashni bo'lajak muhandislik mutaxassislariga aniq tadbqiqiy masalalarni yechishda fizik modellashtirish ko'nikmalarini shakllantirishdan iborat.

Talabalarning fizika fanini o'zlashtirish uchun o'qitishning ilg'or va zamonaviy usullaridan foydalanish, yangi informatsion pedagogik texnologiyalarni tadbqiq qilish muhim ahamiyatga egadir.

Foydalanish uchun qulay bo'lishini e'tiborga olib, ushbu ma'ruzalar kursi 2 qismga bo'lindi:

I – qism. Mexanika. Elektr. Elektromagnetizm.

II – qism. Garmonik tebranishlar, to'lqinlar, elektromagnit tebranishlar, akustika. To'lqin optikasi va kvant mexanikasi. Molekulyar fizika. Fizikaviy statistika, termodinamika, yadro fizikasi.

1-Ma'ruza

Mexanikaviy harakat Nuqtaning aylana bo'ylab harakati

Reja:

1. Moddiy nuqta. Absolyut qattiq jism. Fazo va vaqt
2. Moddiy nuqta kinematikasi
3. Nuqtaning aylana bo'ylab harakati
4. Egri chiziqli harakat

Tayanch iboralar: Kinematika, Dinamika, Statika, Moddiy nuqta, absolyut qattiq, Ilgarilanma harakat, Aylanma harakat, o'rtacha tezlik, nuqtaning oniy tezlanishi, burchak tezlik, aylanish davri va aylanish chastotasi, burchak tezlanish, tezlik traektoriyasi, tangensial va normal tezlanish, burchak tezlik, tekis aylanma harakat, aylanish davri, aylanish chastotasi, burchak tezlanish, tezlik traektoriyasi, tangensial tezlanish, normal tezlanish

Mexanikaviy harakat. Vaqt o'tishi bilan jismning fazodagi vaziyatini boshqa jismlarga nisbatan o'zgarishi **jismning mexanikaviy harakati** deb ataladi.

Galiley - N'yutonning mexanikasi **klassik mexanika** deb ataladi. Klassik mexanika, tezligi yorug'likning vakuumdagi tezligidan sezilarli ravishda kichik tezlikka ega bo'lgan makroskopik jismlarning harakat qonunlarini o'rganadi.

Yorug'lik tezligiga yaqin yoki teng tezliklarga ega bo'lgan mikroskopik jismlar harakat qonunlarini maxsus nisbiylik nazariyasiga asoslangan **relyativistik mexanika** o'rganadi.

Mexanika asosan uch qismga bo'linadi:

- 1) kinematika; 2) dinamika; 3) statika.

Kinematika – jismlar harakatini, uning kelib chiqish sabablarini e'tiborga olmay, o'rganadi.

Dinamika – jismlar harakatini, uning kelib chiqish sabablarini bilgan holda, o'rganadi.

Statika – jismlar tizimi, to'plamining muvozanat holati qonunlarini o'rganadi.

1. Moddiy nuqta. Absolyut qattiq jism.

Fazo va vaqt

Klassik mexanikada o'rganiladigan eng sodda ob'ekt moddiy nuqta hisoblanadi.

Moddiy nuqta deb, ma'lum massaga ega bo'lgan, o'rganiladigan masofalarga nisbatan o'lchami juda kichik bo'lgan jismga aytiladi.

Jismlar biri-biri bilan o'zaro ta'sirlashganda ularning shakli va o'lchamlari o'zgarishi mumkin. Har qanday sharoitda deformasiyalanmaydigan jism **absolyut qattiq jism** deb ataladi. Qattiq jismning qismlari yoki ikki nuqtasi orasidagi masofa o'zgarmasdir. Qattiq jismlarning istalgan harakati ilgarilanma va aylanma harakatlar majmuasidan iborat bo'ladi.

Ilgarilanma harakat – bu shunday harakatki, unda harakat qilayotgan jism bilan mustahkam bog'langan istalgan to'g'ri chiziqli boshlang'ich holatiga nisbatan parallelligini saqlab qoladi.

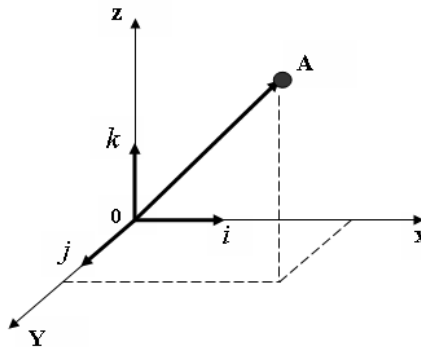
Aylanma harakat – bu harakatda jismning barcha nuqtalarining harakat traektoriyalari aylanalardan iborat bo'lib, ularning markazi esa aylanish o'qi deb ataladigan to'g'ri chiziqli yotadi.

Jismlarning fazodagi vaziyatini aniqlashga imkon beradigan, qo'zg'almas jism bilan bog'langan koordinatalar tizimi **fazoviy sanoq tizimi** deb ataladi.

Tanlab olingan fazoviy sanoq tizimidagi har bir nuqtaning o'rnini uchta x , u , z koordinatalar orqali ifodalash mumkin (*1-rasm*). Koordinata boshidan A nuqtagacha yo'naltirilgan kesma **radius-vektor** deb ataladi. Radius-vektor $\vec{r}$ ning koordinatalari x , u , z o'qlardagi proeksiyalaridan iborat, ya'ni:

$$\vec{r} = x \cdot \vec{i} + y \cdot \vec{j} + z \cdot \vec{k} ,$$

Bu erda, $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$ koordinata o'qlari bo'ylab yo'nalgan birlik vektorlardir.



1-rasm. Fazoviy sanoq tizimida moddiy nuqtaning koordinatalari

Agar A moddiy nuqtaning biror sanoq tizimidagi radius vektori $\vec{r}$ bo'lsa, uning x , y , z koordinatalari t vaqtning funksiyasi ko'rinishida ifodalanadi:

$$\vec{r} = \vec{r}(t) ; x = x(t) ; y = y(t) ; z = z(t) ,$$

Har qanday harakatni o'rganish uchun fazoda turli sanoq tizimlarini tanlab olish mumkin. Shuni qayd etish kerakki, turli sanoq tizimlarida ayni bir jismning harakati turlicha bo'ladi. Lekin, sanoq tizimi sharoitga qarab tanlanadi. Masalan, jismlarning harakati Er bilan bog'langan sanoq tizimi yordamida o'rganiladi.

Erning sun'iy yo'ldoshlari, kosmik kemalarning harakati esa, Quyosh bilan bog'liq bo'lgan geliosentrik sanoq tizimida tekshiriladi.

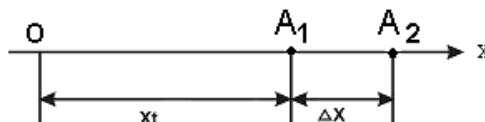
Ma'lum bir tanlangan sanoq tizimidagi nuqta holatini belgilovchi x , y , z koordinatalar qandaydir sonlardan iborat deb hisoblasak, eng avval, ularni o'lchash usulini yoki prinsipini tanlashimiz kerak.

Fazodagi nuqta yoki jism holatini belgilovchi x , y , z koordinatalar uzunlikdan iborat bo'lgani uchun, uzunlikni o'lchash usulini tanlash kerak bo'ladi. Odatda, uzunlikni o'lchash uchun, qandaydir qattiq sterjenni namuna deb hisoblab, uni o'lchov birligi deb qabul qilinadi. Nuqtaning fazodagi koordinatalaridan birini o'lchash uchun, shu yo'nalishga o'lchov birligi bo'lgan namuna necha marta joylashish soni aniqlanadi. Ana shu son tanlangan yo'nalishdagi jismning uzunligini

belgilaydi. Agarda bu son butun bo'lmasa, namuna mayda bo'laklarga (o'ndan bir qismi, yuzdan bir qismi va h.k.) bo'linadi.

2. Moddiy nuqta kinematikasi

Moddiy nuqtaning to'g'ri chiziq bo'ylab harakatini kuzataylik (2-rasm).



2-rasm. Moddiy nuqtaning OX o'qi bo'yicha to'g'ri chiziqli harakati

To'g'ri chiziq OX koordinat o'qi bo'ylab joylashgan deb hisoblaymiz. Moddiy nuqta holati quyidagi ifoda bilan belgilanadi:

$$x = x(t)$$

Belgilangan t vaqtda moddiy nuqta koordinatasi $x_1=x(t)$ bo'lgan A_1 holatda deb hisoblaymiz. Δt vaqtdan so'ng moddiy nuqta koordinatasi $x_2=x(t+\Delta t)$ bo'lgan A_2 holatga ko'chadi. Demak, moddiy nuqta Δt vaqt ichida Δx yo'lni bosib o'tadi.

$$\Delta x = x_2 - x_1 = x(t + \Delta t) - x(t)$$

Bosib o'tilgan Δx yo'lni Δt vaqt oralig'iga nisbati moddiy nuqtaning **o'rtacha tezligi** deb ataladi

$$\langle v \rangle = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t} \quad (1.1)$$

Agarda Δt vaqt oralig'i nisbatan katta bo'lsa, o'rtacha tezlik tushunchasi o'rinli bo'ladi. Ammo Δt vaqt oralig'ini kichraytira borsak, natijada $\Delta x / \Delta t$ nisbat ma'lum bir chegaraviy qiymatga intiladi. Bu chegaraviy qiymat moddiy nuqtaning oniy tezligi deb ataladi

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t} \quad (1.2)$$

Matematikada bu ifoda $x(t)$ ifodadan t vaqt bo'yicha olingan hosila deb aytiladi.

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} = \frac{ds}{dt} \quad (1.3)$$

Bosib o'tilgan yo'ldan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosila moddiy nuqtaning oniy tezligi deb ataladi.

Ko'pincha moddiy nuqtaning tezligi vaqtning funksiyasidan iborat bo'ladi, ya'ni $v = v(t)$. Bu tezlikni vaqt birligida o'zgarishi nuqtaning **o'rtacha tezlanishi** deb ataladi.

$$\langle a \rangle = \frac{\Delta v(t)}{\Delta t} \quad (1.4)$$

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (1.5)$$

Bosib o'tilgan yo'ldan vaqt bo'yicha olingan ikkinchi tartibli hosila moddiy **nuqtaning oniy tezlanishi** deb ataladi.

Bosib o'tilgan S yo'lni, tezlik funksiyasini 0 dan t vaqtgacha chegarada integrallash yo'li bilan hisoblash mumkin.

$$s = \int_0^t v(t) dt$$

Agar harakat to'g'ri chiziqli tekis harakatdan iborat bo'lsa, $v=const$ bo'ladi.

$$s = \int_0^t v \cdot dt = v t$$

bundan,

$$v = \frac{s}{t}$$

Agar moddiy nuqta harakatining boshlang'ich momentida ($\Delta t = 0$) tezlik v_0 ga teng bo'lsa:

$$v(t) = v_0 + \int_0^t a(t) dt$$

ga ega bo'lamiz.

Tezlanish o'zgarmas bo'lgan holda ($a=const$) harakat **tekis o'zgaruvchan harakat** deb ataladi. U holda

$$v_t = v_0 + at$$

$$s = \int_0^t v_t dt = \int_0^t (v_0 + at) dt = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Agar $a > 0$ bo'lsa, harakat **tekis tezlanuvchan harakat** deyiladi, $a < 0$ bo'lganda esa, **tekis sekinlanuvchan harakat** deb ataladi.

Xalqaro birliklar tizimi- «XBT»da tezlik metr/sekund bilan o'lchanadi.

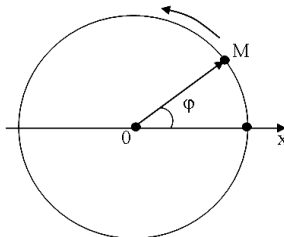
$$|v| = \left| \frac{s}{t} \right| = \frac{memp}{cek}.$$

Tezlanish esa,

$$a = \left| \frac{s}{t^2} \right| = \frac{memp}{cek^2}.$$

3. Nuqtaning aylana bo'ylab harakati

Moddiy nuqtaning aylana bo'ylab harakati 3- rasmda keltirilgan. M moddiy nuqtaning holati o'zgarmas OX o'qi bilan OM radius vektor orasidagi burchak φ bilan belgilanadi.



3-rasm. Moddiy nuqtaning aylana bo'ylab harakati

Bu holda r radiusda yotgan har hil nuqtalarning chiziqli tezliklari har xil bo'ladi ($v_1, v_2, \dots$, va h.k.). SHuning uchun aylanma harakatda moddiy nuqtaning tezligi uchun alohida kattalik kiritiladi.

O'zgarmas OX o'qi bilan OM radius vektor orasidagi burchakdan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosila **burchak tezlik** deb ataladi.

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt},$$

Agar burchak tezlik ω o'zgarmas bo'lsa, aylana bo'ylab harakat **tekis aylanma harakat** deb ataladi. Moddiy nuqta bir marta to'liq aylanishda $\varphi = 2\pi$ burchakka buriladi. 2π burchakka burilishga ketgan vaqt T **aylanish davri** deb ataladi.

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T}; \quad T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (1.6)$$

Birlik vaqt ichida aylana bo'ylab qilingan to'liq aylanishlar soni **aylanish chastotasi** deb ataladi

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}, \quad \omega = 2\pi\nu \quad (1.7)$$

Burchak tezlikdan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosila yoki φ - burchakdan vaqt bo'yicha olingan ikkinchi tartibli hosila **burchak tezlanish** deb ataladi.

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (1.8)$$

XM aylana yoyining uzunligini S deb hisoblasak, chiziqli tezlik va chiziqli tezlanishni quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$v = \frac{dS}{dt}, \quad a = \frac{d^2S}{dt^2} \quad (1.9)$$

Aylana radiusini r deb belgilasak, S aylana yoyi quyidagiga teng bo'ladi.

$$S = r\varphi \quad (1.10)$$

U holda burchak tezlik va tezlanishlarni radius vektor orqali ifodalashimiz mumkin:

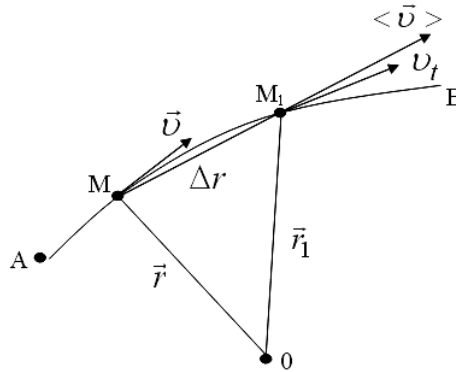
$$v = \frac{ds}{dt} = r \cdot \frac{d\varphi}{dt} = r \cdot \omega \quad (1.11)$$

$$a = \frac{d^2s}{dt^2} = r \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} = r \cdot \frac{d\omega}{dt} = r \cdot \beta \quad (1.12)$$

4. Egri chiziqli harakat

Egri chiziqli traektoriya bo'ylab harakatlanayotgan moddiy nuqtaning chiziqli tezlanish va tezligini ko'rib chiqamiz (4-rasm).

AV egri chiziqli traektoriyada harakatlanayotgan moddiy nuqta holatlari r radius vektorning ko'chishi bilan belgilanadi. t vaqt momentida moddiy nuqta $r = r(t)$ radius vektorli M holatda bo'ladi, Δt vaqt o'tgandan so'ng moddiy nuqta



4-rasm. Moddiy nuqtaning egri chiziqli traektoriya bo'ylab harakati

$r_1 = r(t + \Delta t)$ radius-vektorli M_1 nuqtaga ko'chadi. Rasmdan ko'rinib turibdiki moddiy nuqta AV egri chiziq bo'ylab harakatlanganda $r(t)$ radius-vektor kattaligi va yo'nalishi o'zgaradi.

O'rtacha tezlik quyidagicha ifodalanadi.

$$\langle v \rangle = \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{r(t + \Delta t) - r(t)}{\Delta t} \quad (1.13)$$

Bu tezlik vektor kattaligidir, uning yo'nalishi MM_1 xorda yoki Δr kesma yo'nalishi bilan mos tushadi.

O'rtacha tezlikning Δt vaqtni nolga intilishida olgan chegaraviy qiymati radius-vektor r dan vaqt bo'yicha olingan hosilaga teng bo'ladi:

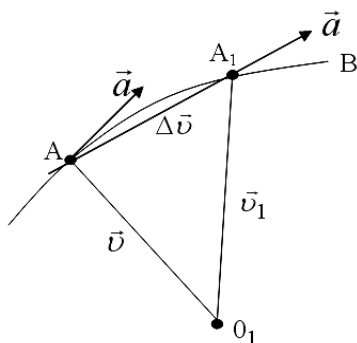
$$\rho = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (1.14)$$

Bu erda v moddiy nuqtaning egri chiziqli harakatidagi oniy tezligidir. Oniy tezlik yoʻnalishi harakatlanayotgan moddiy nuqta traektoriyasiga urinma yoʻnalishda boʻladi. Oniy tezlik belgilangan t vaqtga tegishli M nuqtada egri chiziqqa urinma boʻladi. Tezlanish esa, tezlik vektori v dan vaqt boʻyicha olingan hosilaga teng

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (1.15)$$

$$a = \frac{d^2 r}{dt^2} \quad (1.16)$$

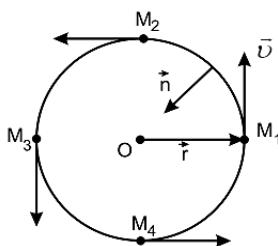
4- va 5-rasmlarga nazar tashlasak, tezlik va tezlanish vektorlari orasidagi oʻxshashliklarni koʻramiz.



5-rasm. Moddiy nuqtaning tezlik traektoriyasi

Qoʻzgʻalmas O_1 nuqtaga har xil vaqt momentida harakatlanayotgan nuqtaning tezlik vektorini (v) joylashtiramiz. Bu holda v - vektorning oxirini tezlanuvchan nuqta A – deb ataymiz.

Tezlanuvchan nuqtalardan iborat geometrik holatlarni **tezlik traektoriyasi** deb ataymiz. 6 – rasmda v tezlik aylanaga urinma boʻlib yoʻnalgan, uning qiymati



6-rasm. Moddiy nuqta radiusining aylana boʻylab harakati

$$v = \omega r = \frac{2 \pi r}{T} \quad (1.17)$$

ga teng.

Tezlanish qiymatini quyidagi koʻrinishda ifoda qilish mumkin.

$$a = \omega v = \frac{2 \pi v}{T} = \frac{v^2}{r} \quad (1.18)$$

bu erda

$$\frac{2 \pi}{T} = \frac{v}{r}$$

Bu markazga intilma tezlanish boʻlib, uni vektor shaklida quyidagicha keltiramiz:

$$\vec{a}_n = -\omega^2 \vec{r} \quad (1.19)$$

$\vec{a}$ bilan $\vec{r}$ vektorlari bir-biriga qarama-qarshi yoʻnalgan uchun minus ishorasi paydo boʻldi.

$$\vec{a} = \frac{v^2}{r} \vec{h}.$$

Bu erda $\vec{h}$ - nuqtaning aylanma harakati traektoriyasiga perpendikulyar boʻlgan va aylana markaziga yoʻnalgan birlik vektordir.

$\vec{t}$ - esa aylanaga urinma yoʻnalishda boʻlgan birlik vektordir. Shuning uchun

$$\vec{v} = v \cdot \vec{t}.$$

Agar

$$\vec{a} = v \frac{d\vec{t}}{dt}, \quad \frac{d\vec{t}}{dt} = \frac{v}{r} \vec{h} \quad (1.20)$$

boʻlsa,

$$\vec{a} = \frac{v^2}{r} \cdot \vec{h}$$

ga teng boʻladi.

Moddiy nuqta aylana boʻylab bir tekis harakat qilganda, tezlanish markazga tomon yoʻnalgan boʻladi, yaʼni traektoriyasiga perpendikulyar ravishda boʻladi.

Agar tezlik qiymati oʻzgara borsa,

$$\vec{v} = v \cdot \vec{t}$$

bu ifodani differensiallasak, quyidagiga ega boʻlamiz:

$$\begin{aligned} \vec{a} &= \frac{d(v\vec{t})}{dt} = \frac{dv\vec{t}}{dt} + v \cdot \frac{d\vec{t}}{dt}, \\ \frac{d\vec{t}}{dt} &= \frac{v}{r} \vec{h}, \\ \vec{a} &= \frac{dv}{dt} \vec{t} + \frac{v^2}{r} \cdot \vec{h} \end{aligned} \quad (1.21)$$

Demak, tezlanish vektori $\vec{a}$, $\vec{t}$ va $\vec{h}$ birlik vektorlar tekisligida yotar ekan.

(2.16) – ifodadagi birinchi had quyidagiga teng boʻladi:

$$\vec{a}_t = \frac{dv}{dt} \vec{t} \quad (1.22)$$

Bu aylanaga urinma boʻlgan vektor – **tangensial tezlanish** deb ataladi.

Ikkinchi had esa:

$$\vec{a}_n = \frac{v^2}{r} \vec{h} \quad (1.23)$$

normal tezlanish deb ataladi va $\vec{u}$ markazga qarab yoʻnalgan boʻladi.

Shunday qilib, umumiy holda $\vec{a}$ - tezlanish tangensial va normal tezlanishlarning geometrik yigʻindisidan iborat boʻladi

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n \quad (1.24)$$

Tangensial tezlanish a_t tezlikni miqdor jihatidan o'zgarishi hisobiga paydo bo'ladi.
Normal tezlanish a_n tezlikning yo'nalishi o'zgarishi hisobiga paydo bo'ladi.

Takrorlash uchun savollar

1. Qanday harakat mexanikaviy harakat deyiladi.
2. Klassik mexanika bilan relyativistik mexanikaning vazifasini ayting.
3. Mexanika bo'limlarini sanang.
4. Ilgarilanma va aylanma harakat haqida o'z fikringizni ayting.
5. Fazoviy sanoq tizimini tushuntiring.
6. Tekis o'zgaruvchan harakat nima? O'rtacha tezlik va tezlanishni
Tushuntiring.
7. Tekis tezlanuvchan va sekinlanuvchan harakatlarning farqi nimada.
8. Egri chiziqli harakatda tezlik va tezlanishlarni tashkil etuvchilarini
tushintirib bering.
9. Normal va tangensial tezlanishlarni ma'nosini tushuntiring.
10. Aylanma harakat kinematikasining asosiy kattaliklarini (burchak tezlik,
tezlanish) vektor yo'nalishlari qanday topiladi? Tezlik traektoriyasi nima?

2-Ma'ruza Dinamika asoslari

Reja:

1. Moddiy nuqta dinamikasi
2. Tabiatda kuchlar
3. Moddiy nuqtalar tizimi.
4. Inersiya markazining harakati

Tayanch iboralar: inersiya, massa, inersial sanoq tizimlari, Gravitasion tortishish, og'irlik kuchi, Elastiklik kuchi, Ishqalanish, Qarshilik kuchi. Moddiy nuqtalar tizimi, massa markazi, inersiya markazi, Tizimning inersiya markazi, ichki kuchlar

1. Moddiy nuqta dinamikasi

Dinamika esa jismlar harakatini uning kelib chiqish sabablarini bilgan holda o'rganadi. Dinamika asosida N'yuton qonunlari yotadi.

N'yutonning birinchi qonuni. Jism o'zining tinch holatini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatini tashqaridan boshqa jismlar ta'sir etmaguncha saqlab qoladi.

Jismlarni o'zining tinch holatini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatini saqlab qolish xususiyati, **inersiya** xususiyati deb ataladi.

Shuning uchun, N'yutonning birinchi qonuni, inersiya qonuni deb ham ataladi.

Mexanik harakat nisbiydir va uning xususiyatlari sanoq tizimiga bog'liq bo'ladi. N'yutonning birinchi qonuni istalgan sanoq tizimida bajarilavermaydi, shuning uchun bu qonun bajariladigan sanoq tizimlari **inersial sanoq tizimlari** deb ataladi.

Boshqa sanoq tizimlariga nisbatan o'zining tinch holatini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatini saqlay oladigan sanoq tizimlari **inersial sanoq tizimlari** bo'laoladi.

Koordinata boshi Quyosh markaziga joylashgan geliosentrik sanoq tizimini juda katta aniqlik bilan inersial sanoq tizimi deb hisoblash mumkin. Uning koordinata o'qlari o'rganiladigan planeta yoki yulduzlarga yo'naltirilgan bo'ladi.

Erdagi mexanikaviy harakatlar uchun Er bilan bog'liq bo'lgan sanoq tizimini inersial sanoq tizim deb hisoblash mumkin.

Tajribalardan ma'lumki, bir xil ta'sir ostida turli jismlar o'zining harakat tezligini bir xil o'zgartirmaydi, boshqacha qilib aytganda, har xil tezlanish qiymatlariga ega bo'ladilar.

Tezlanish faqat ta'sir kuchiga bog'liq bo'lmay, jismning o'zini xususiyatiga, ya'ni massasiga ham bog'liqdir.

Jismning **massasi** – materiyaning asosiy xususiyatlaridan biri bo'lib, uning inersial va gravitatsiyaviy xususiyatlarini belgilaydi.

Inersial massa jism inertligining o'lchov birligi bo'lib, inertlikni o'zi esa, jismning o'z holatini saqlab qolish xususiyatidir.

N'yutonning birinchi qonunidagi ta'sirni ta'riflash uchun kuch tushunchasini kiritish zarurdir. Tashqi kuch ta'sirida jism o'zining harakat tezligini o'zgartiradi, tezlanishga ega bo'ladi yoki o'zining shakli va o'lchamlarini o'zgartirishi mumkin – deformasiyalanadi. Demak kuch ikki xil ta'sirga egadir: dinamik va statik.

Vaqtning har bir belgilangan momentida, kuch o'zining qiymati, fazodagi yo'nalishi va qaysi nuqtaga qo'yilgani bilan xarakterlanadi.

SHunday qilib, kuch vektor kattalik bo'lib, boshqa jism yoki maydonlarning, jismga mexanikaviy ta'sirining o'lchovi bo'laoladi.

N'yutonning ikkinchi qonuni. N'yutonning ikkinchi qonuni – ilgarilanma harakat dinamikasining asosiy qonuni bo'lib, tashqi qo'yilgan kuch ta'sirida moddiy nuqta yoki jismning mexanikaviy harakati qanday o'zgarishini tushuntirib beradi.

Moddiy nuqta yoki jismga har xil kuchlar ta'sir etganda, tezlanish qo'yilgan kuchlarning teng ta'sir etuvchi qiymatiga proporsionaldir.

$$a \sim F, \quad (m = \text{const}) \quad (2.1)$$

Turli jismlarga bir xil kuch ta'sir etsa, ularning olgan tezlanishlari har xil bo'ladi. Jismning massasi qancha katta bo'lsa, uning inertligi shuncha yuqori bo'ladi va olgan tezlanishi kichik bo'ladi.

$$a \sim \frac{1}{m}, \quad (F = \text{const}) \quad (2.2)$$

(3.1) va (3.2) – ifodalardan foydalangan holda, kuch va tezlanish vektor kattalik ekanligini hisobga olib, quyidagi ifodani yozishimiz mumkin:

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

(3.3) – formula N'yuton ikkinchi qonunining matematik ifodasidir.

N'yutonning ikkinchi qonuni faqat inersial sanoq tizimlari uchun o'rinlidir.

«XB» tizimida proporsionallik koeffitsienti K birga teng. U holda:

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

yoki

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (2.4)$$

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} \quad (2.5)$$

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

vektor kattalik, tezlik yo'nalishi bo'yicha yo'nalgan bo'lib, harakat miqdori – **impul's** deb ataladi.

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (2.6)$$

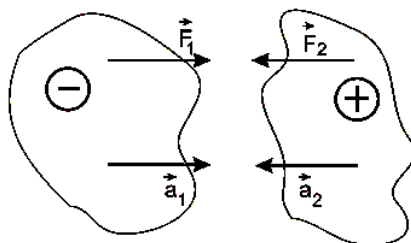
Moddiy nuqta harakat miqdorining vaqt bo'yicha hosilasi jismga ta'sir etuvchi kuchga tengdir.

$$1H = 1 \frac{\kappa_2 \cdot m \cdot \text{temp}}{ce \kappa^2}$$

N'yutonning uchinchi qonuni. Moddiy nuqtalarning o'zaro ta'siri xarakterini N'yutonning uchinchi qonuni bilan ifodalash mumkin. Moddiy nuqta yoki jismlarning bir-biriga ta'siri, o'zaro ta'sir kuchlari xarakteriga ega, bu kuchlar moduli bo'yicha teng bo'lib, bir-biriga qarama-qarshi yo'nalgan:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad (2.7)$$

Musbat va manfiy zaryadlar bilan zaryadlangan m_1 va m_2 massali jismlar bir-biriga tortishishgandagi o'zaro ta'sirni ko'rib chiqaylik (8-rasm).



8-rasm. Zaryadlangan jismlarning o`zaro ta`siri

$\vec{F}_1$ va $\vec{F}_2$ kuchlar ta`sirida jismlar  $\vec{a}_1$  va  $\vec{a}_2$  tezlanishlarga ega bo`ladi. N`yutonning ikkinchi qonunini quyidagicha yozish mumkin:

$$\vec{F}_1 = \vec{a}_1 m_1 \quad \vec{F}_2 = \vec{a}_2 m_2 \quad (2.8)$$

$$m_1 \vec{a}_1 = -m_2 \vec{a}_2 \quad \text{yoki} \quad \vec{a}_1 = -a_2 \frac{m_2}{m_1} \quad (2.9)$$

O`zaro ta`sir etuvchi jismlarning olgan tezlanishlari massalariga teskari proporsional va bir-biriga qarama-qarshi yo`nalgan bo`ladi.

2. Tabiatda kuchlar

Gravitasion tortishish kuchi – bu ikkita moddiy nuqtalar orasidagi o`zaro ta`sir etuvchi kuchdir. Butun dunyo tortishish qonuniga asosan m_1 va m_2 massali jismlar orasidagi gravitasion tortishish kuchi jismlar massalariga to`g`ri proporsional va oralaridagi masofaning kvadratiga teskari proporsional bo`lib, ikki jism markazlarini tutashtiruvchi to`g`ri chiziq bo`ylab yo`nalgandir:

$$\vec{F} = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \left| \frac{\vec{r}}{r} \right| \quad (2.10)$$

bu erda γ - gravitasion doimiylik.

$$\gamma = 6,6720 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$$

Bu ifodada massalar tortishish xususiyatini belgilagani uchun ularni gravitasion massalar deb atashadi, ammo qiymati bo`yicha inersion massalarga tengdir.

Kulon kuchi. Bu ikkita q_1 va q_2 nuqtaviy zaryadlar orasidiga ta`sir etuvchi kuchdir:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (2.11)$$

k – proporsionallik koeffisienti, r – zaryadli nuqtalar orasidagi masofa.

Gravitasion tortishish kuchidan farqli ravishda Kulon kuchi tortishish yoki itarish xususiyatlariga ega bo`lishi mumkin.

Agar zaryadlar harakatlansa, Kulon qonuni aniq bajarilmaydi, chunki zaryadlar harakatiga bog`liq magnit maydon va uning kuchlari paydo bo`la boshlaydi.

**Bir jinsli og`irlik kuchi.** Butun olam tortishish qonuniga ko`ra, tabiatdagi barcha jismlar bir-birini tortishish xususiyatiga egadirlar. Bu qonunga binoan, Er atrofidagi barcha jismlar Erning tortish kuchi ta`sirida bo`ladi. Erning tortish kuchi ta`sirida hosil bo`ladigan kuch **og`irlik kuchi** deyiladi va bu kuch jismlarning erkin tushish tezlanishiga bog`liqdir.

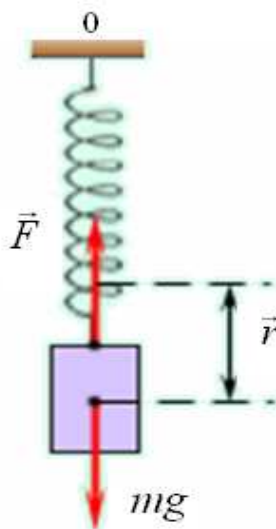
$$F = mg \quad (2.12)$$

m – jism massasi, g – erkin tushish tezlanishi

Elastiklik kuchi moddiy nuqtaning muvozanat holatidan koʻchishiga proporsional va muvozanat holati tomon yoʻnalgan boʻladi (9-rasm).

$$\vec{F} = -\alpha \vec{r} \quad (2.13)$$

bu erda $\vec{F}$ - jismning muvozanat holatidan siljishini belgilovchi radius-vektordir.
 α - jismning elastiklik xususiyatiga bogʻliq boʻlgan proporsionallik koeffisienti.



9-rasm. Prujinaga osilgan jismning muvozanat holatidan siljishi

Ishqalanish kuchi jismning boshqa jism sirtida sirpanishiga qarshilik koʻrsatadigan kuch boʻlib, jismning sirtiga normal boʻyicha bergan bosim kuchiga tengdir.

$$\vec{F} = k \vec{R}_n \quad (2.14)$$

k – jism sirtining holatiga bogʻliq boʻlgan ishqalish koeffisienti. R_n – jism sirtiga normal boʻyicha yoʻnalgan bosim kuchi.

Qarshilik kuchi gaz va suyuqliklarning ilgarilanma harakatlarida hosil boʻladigan kuchdir.

Gaz va suyuqliklarda harakatlanuvchi har qanday jism qarshilikka uchraydi va bu ilgarilanma harakatni susaytirishga olib keladi. Bu kuch harakatlanuvchi jismni harakat tezligiga kuchli bogʻlanishda boʻladi:

$$\vec{F} = -k_1 \vec{v} \quad (2.15)$$

bu erda k_1 – muhitni xarakterlovchi doimiylik (moy, suv, yopishqoq suyuqliklar).

Bu kuch suyuqlik yoki gazning harakat tezligiga proporsional kuch boʻlib, kichik tezliklar uchun oʻrinli boʻladi. Katta tezliklarda esa formula biroz boshqacha koʻrinishga ega boʻlib, kuch tezlikning kvadratiga proporsional boʻladi.

$$\vec{F} = -k_2 \vec{v}^2 \quad (2.16)$$

3.Moddiy nuqtalar tizimi

Endi n ta moddiy nuqtalardan tashkil topgan tizimni (jismlar tizimini) qarab chiqaylik.

Kuchlar ta'sirida tizimdagi har bir moddiy nuqta o'z harakatini o'zgartiradi. Binobarin, tizimning harakatini tekshirish uchun tizimdagi har bir moddiy nuqta uchun tuzilgan harakat tenglamalari tizimini echish kerak.

Bunday masalani echib, moddiy nuqtalar tizimi harakatini butunligicha tekshirib hal qilish mumkin. Buning uchun, moddiy nuqtalar tizimini tavsiflovchi yangi tushunchalar kiritamiz:

1. Moddiy nuqtalar tizimining massasi m_s ni tizimdagi moddiy nuqtalar massalarining algebrik yig'indisiga teng deb hisoblaymiz:

$$m_c = m_1 + m_2 + \dots + m_n = \sum_{i=1}^n m_i \quad (2.17)$$

2. Moddiy nuqtalar tizimining massa markazini – inersiya markazi deb hisoblab, mazkur nuqtaning vaziyatini koordinata boshiga nisbatan quyidagi radius vektor bilan ifodalash mumkin:

$$\rho_c = \frac{m_1 \rho_1 + m_2 \rho_2 + \dots + m_n \rho_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \rho_i}{m_c} \quad (2.18)$$

Tizim inersiya markazi radius-vektorining dekart koordinata o'qlariga proeksiyalari quyidagilarga teng bo'ladi:

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{m_c}; \quad y_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{m_c}; \quad z_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i z_i}{m_c} \quad (2.19)$$

Shuni ta'kidlab o'tish kerakki, tizimning inersiya markazi uning og'irlik markazi bilan ustma-ust tushadi.

4. Inersiya markazining harakati

3. Moddiy nuqtalar tizimi inersiya markazining radius-vektoridan vaqt bo'yicha birinchi tartibli hosila olinsa, **inersiya markazining tezligi** kelib chiqadi:

$$\dot{\rho}_c = \frac{d\rho_c}{dt} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \frac{d\rho_i}{dt}}{m_c} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \dot{\rho}_i}{m_c} \quad (2.20)$$

buerda, $m_i \dot{\rho}_i = \dot{P}_i$ ekanini hisobga olsak:

$$\dot{\rho}_c = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{P}_i}{m_c} = \frac{\dot{P}_c}{m_c} \quad (2.21)$$

bunda $\dot{P}_c$ tizimning impul'si bo'lib, tizimdagi moddiy nuqtalar impul'slarining geometrik yig'indisiga teng

$$\dot{P}_c = \sum_{i=1}^n \dot{P}_i \quad (2.22)$$

(4.5) – ifodadan moddiy nuqtalar tizimining impul'si quyidagiga teng bo'ladi.

$$\dot{P}_c = m_c \dot{\rho}_c \quad (2.23)$$

Bu nihoyatda katta ahamiyatga ega bo'lgan xulosani keltirib chiqaradi: tizim nuqtalarining hamma massalari, uning inersiya markaziga to'plangan holda harakatlanganda, ularning markazga to'plangan umumiy impul'slari qanday bo'lsa, tizimning to'la impul'si ham shunga teng bo'ladi.

Shuning uchun tizimning impul'siga uning inersiya markazining impul'si ham deyiladi. Tizim inersiya markazining impul'sini (2.23) ifodaga asosan quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\vec{P}_c = m_c \vec{v}_c = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i \quad (2.24)$$

bunda m_c – tizimning to'liq massasi, $\vec{v}_c$ – tizim inersiya markazining tezligi; $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \dots, \vec{v}_n$ – tizimdagi moddiy nuqtalarning tezliklaridir.

4. Tizimdagi moddiy nuqtalar orasidagi o'zaro ta'sir va aks ta'sir kuchlarini **ichki kuchlar** deb ataymiz.

Masalan, tizimdagi 1-jismga 2-jismning ta'sir kuchini $\vec{F}_{12}$, 2 - jismga 1-jismning aks ta'sir kuchini esa $\vec{F}_{21}$, bilan belgilaymiz, shu bilan birga N'yutonning uchinchi qonuniga muvofiq $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ yoki $\vec{F}_{12} + (-\vec{F}_{21}) = 0$ bo'ladi.

Takrorlash uchun savollar

1. Dinamika qanday hodisalarni o'rganadi?
2. Inersial sanoq tizimlari nima?
3. N'yuton qonunlari qanday sanoq sistemalarda bajariladi?
4. N'yuton qonunlarini tushuntiring.
5. Gravitatsiya kuchini tavsiflang.
6. Tabatda mavjud yana qanday kuchlarni bilasiz?
7. Moddiy nuqtalar tizim massa markazi qanday aniqlanadi.
8. Inersiya markazining tezligini tushuntiring.
9. Ichki kuchlar nima?
10. Tizim to'la impul'sini tushuntiring.

3-Ma'ruza

Reja:

- ## 1. Mexanik tizim uchun impul'sning o'zgarish

- ## 2. Impul'sning saqlanish qonuni

- ### 3. Kuch momenti

- #### 4. Impuls momenti

- ## 5. Qattiq jism aylanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasi

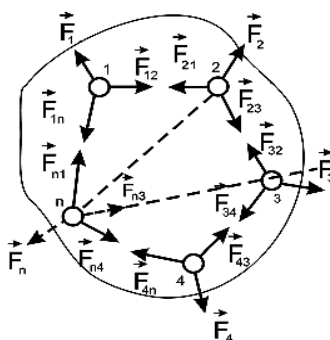
Tayanch iboralar: tizim impul'si, tizim inersiya markazi, impul'sning tashkil etuvchisi, impul'slarining geometrik yig'indisi, moddiy nuqtalar tizimi, kuch momenti, impul's momenti, bosh nuqta, qutb, parma qoidasi, o'qqa nisbatan kuch momenti

1. Mexanik tizim uchun impul'sning o'zgarish

Tizimdan 1-, 2- va h.k. n -ta moddiy nuqtalarga ta'sir qiluvchi tashqi kuchlarning teng ta'sir etuvchisini esa bitta indeks bilan, ya'ni

$$F_1^p, F_2^p, \dots, F_n^p$$

bilan belgilaymiz.



10-rasm. Mexanik tizimdagi moddiy nuqtalar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari

Endi moddiy nuqtali mexanik tizim uchun impul'sning o'zgarish va saqlanish qonunini qarab chiqaylik (10 - rasm).

Mexanik tizimdagi n ta nuqtaning har biri uchun

$$\frac{d(mv)}{dt} = F$$

bo'lishini hisobga olib, harakat tenglamasini yozamiz:

[illegible]

Bu tenglamalarni hadma-xad qo`shib, ichki kuchlar mos ravishda guruhlanga, quyidagi ko`rinishdagi tenglama hosil bo`ladi.

$$\sum_{i=1}^n \frac{d}{dt} (m_i \vec{v}_i) = (\vec{F}_{12} + \vec{F}_{21}) + (\vec{F}_{13} + \vec{F}_{31}) + \dots + (\vec{F}_{n(n-1)} + \vec{F}_{(n-1)n}) + \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \quad (3.2)$$

N`yutonning uchinchi qonuniga asosan, har bir qavs ichidagi kuchlar yig`indisi nolga teng. Demak, tizim ichki kuchlarining to`liq vektor yig`indisi ham nolga teng bo`ladi. U holda (5.2) tenglamani quyidagi ko`rinishda yozish mumkin.

$$\sum_{i=1}^n \frac{d}{dt} (m_i \vec{v}_i) = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \quad (3.3)$$

Bu ifodaning chap tomonidagi $(m_i \vec{v}_i)$ ko`paytma impul`s $\vec{P}_i$ ga teng bo`lib,  $\sum_{i=1}^n \vec{P}_i$  esa tizim impul`siga teng bo`ladi

$$\vec{P}_c = \sum_{i=1}^n \vec{P}_i = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i \quad (3.4)$$

O`ng tomondagi ifoda esa mexanik tizimga ta`sir qiluvchi tashqi kuchlarning teng ta`sir etuvchisidan iborat:

$$\vec{F}_c = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \quad (3.5)$$

natijada,

$$\frac{d\vec{P}_c}{dt} = \vec{F}_c \quad (3.6)$$

Demak, ichki kuchlar moddiy nuqtalar tizimi impul`sini o`zgartira olmaydi.

(5.6) – tenglamaga binoan quyidagi xulosaga kelamiz:

Tizim inersiya markazi, unda tizimdagi barcha moddiy nuqtalar massalari mujassamlashgandek va tizimdagi moddiy nuqtalarga qo`yilgan tashqi kuchlarning geometrik yig`indisiga teng kuch ta`sir qilgandek harakatlanadi.

2. Impul`sning saqlanish qonuni

Agar moddiy nuqtalar tizimiga ta`sir qilayotgan tashqi kuchlarning geometrik yig`indisi nolga teng bo`lsa, ko`rilayotgan tizim berk tizim deyiladi, ya`ni

$$\vec{F}_c = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0 \quad \text{bo`lsa,}$$

(5.6) – ifoda $\frac{d\vec{P}_c}{dt} = 0$ ko`rinishga keladi va

$$\vec{P}_c = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \dots + \vec{P}_n = \text{const} \quad (3.7)$$

bo`ladi.

Bu ifoda tizim inersiya markazi impul`sining saqlanish qonuni deb ataladi.

Berk tizimdagi jismlar impul`slarining geometrik yig`indisi o`zgarmas bo`lib qoladi.

Endi $\vec{F}_c \neq 0$ bo`lib, uning biror OX o`qiga proeksiyasi nolga teng bo`lsa, ya`ni $\frac{dP_x}{dt} = 0$

bo`lsa, impul`sning shu o`qqa proeksiyasi o`zgarmas bo`lib qoladi $P_x = \text{const}$.

Bu holat (og`irlik kuchi maydoni ta`siridagi jism harakati) gorizontga burchak ostida otilgan tosh yoki otilgan o`q harakatida namoyon bo`ladi.

Bu holda tizimning natijalovchi impul'si $\vec{P}_c \neq 0$ bo'lib, faqat uning x o'qiga proeksiyasi o'zgarmas holda saqlanadi.

Masalan, jismning erkin tushishida impul'sning gorizontol x o'qi yo'nalishidagi tashkil etuvchisi

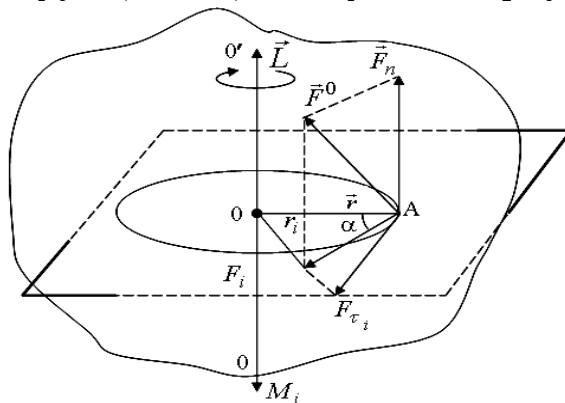
$$\vec{P}_x = const$$

bo'lib, vertikal u o'qi yo'nalishidagi tashkil etuvchi $\vec{P}_y$ esa uzluksiz o'zgara boradi.

3. Kuch momenti

Qattiq jism aylanma harakat dinamikasining asosiy kattaliklari - impul's momenti va kuch momenti tushunchalari bir-biri bilan chambarchas bog'liqdir. Kuch momenti nuqtaga nisbatan bo'lsa, impul's momenti o'qqa nisbatandir. SHuning uchun ularni bir-biri bilan almashtirish mumkin emas. Har qanday vektorning biror nuqtaga nisbatan momenti vektor kattalik bo'lgani uchun, kuch momenti ham vektor kattalikdir. Impul's momenti esa vektor kattalik emas.

Endi qattiq jismning biror O nuqtasiga nisbatan kuch vektori $\vec{F}$ ning yoki impul's vektori $\vec{P}$ ning momentini qarab chiqaylik (11-rasm). Bu nuqta **bosh nuqta yoki qutb** deb ataladi.



11-rasm. OO' aylanish o'qiga o'rnatilgan qattiq jismga ixtiyoriy tashqi kuch ta'siri

Massa markazidan o'tgan OO' o'qqa mahkamlangan jismning, shu o'qdan r masofaga joylashgan qandaydir A nuqtasiga istalgan yo'nalishda $\vec{F}^0$ kuch qo'yamiz.

$\vec{F}^0$ – kuch vektori bilan ustma-ust tushgan chiziqqa kuchning ta'sir chizig'i deb ataladi.

Aylanish o'qiga perpendikulyar bo'lgan tekislikda yotuvchi kuchning $\vec{F}_i$ tashkil etuvchisi jismning aylanishiga sabab bo'lishi mumkin. $\vec{F}_n$ – tashkil etuvchisi esa, OO' o'q

bo'ylab ilgariylanma harakatni vujudga keltiradi. Kuchning $\vec{F}_t$ –tangensial tashkil etuvchisi ta'sirida, m_i massali A nuqta $\vec{F}$ radiusli aylanani chizishi mumkin. $\vec{F}_i$ kuchning aylantirish effekti OO' o'q bilan kuchning ta'sir chizig'i orasidagi masofa katta bo'lishi bilan orta boradi.

Radius vektor $\vec{r}_i$ ning $\vec{F}_i$ kuchga vektor ko'paytmasi kuchning ixtiyoriy qo'zg'almas OO' o'qqa nisbatan kuch momenti deb ataladi.

$$\vec{M}_i = [\vec{r}_i \cdot \vec{F}_i] \quad (3.8)$$

Kuch momentining moduli quyidagiga teng

$$|\vec{M}_i| = [|\vec{r}_i| \cdot |\vec{F}_i| \sin \alpha] = M_i = F_i \cdot r \sin \alpha \quad (3.9)$$

Uchta $\vec{F}_i$, $\vec{E}_i$, $\vec{M}_i$ vektorlar o'ng parma qoidasiga bo'ysungani uchun kuch momentining yo'nalishi 00' o'q bo'yicha yo'nalgan bo'ladi.

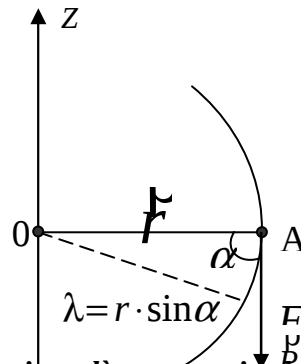
Massasi m ga teng bo'lgan moddiy nuqta $\vec{v}$ tezlik bilan harakatlanayotganda $\vec{p}$ impul'sga ega bo'ladi.

4. Impuls momenti

$\vec{r}$ – radius vektorning $\vec{p}$ impul'sga vektor ko'paytmasi impul's momenti deb ataladi.

$$\vec{L} = [\vec{r} \cdot \vec{p}] = [\vec{r}(m \cdot \vec{v})] = m[\vec{r} \cdot \vec{v}] \quad (3.10)$$

$\vec{L}$ – impul's momentining vektori yo'nalishi parma qoidasi asosida aniqlanadi (12-rasm).



12-rasm. Moddiy nuqta impul's momenti vektorining yo'nalishi

$\vec{r}$ - radius vektor va $\vec{p}$ - impul's vektori yotgan tekislikka perpendikulyar ravishda 0 nuqtaga joylashtirilgan parma dastasining aylanma harakat yo'nalishi impul's yo'nalishi bilan mos tushganda, parmaning ilgarilanma harakat yo'nalishi impul's momenti $\vec{L}$ ning yo'nalishini ko'rsatadi.

Impul's momentining moduli quyidagiga tengdir

$$[\vec{L}] = [\vec{r} \cdot \vec{p}] = r \cdot p \sin \alpha \quad (3.11)$$

Moddiy nuqta impul's momenti o'zgarish qonunini impul's momentining vaqt bo'yicha hosilasi orqali topamiz

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d}{dt} [\vec{r} \cdot \vec{p}] = \left[\frac{d\vec{r}}{dt} \cdot \vec{p} \right] + \left[\vec{r} \cdot \frac{d\vec{p}}{dt} \right] \quad (3.12)$$

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = [\vec{v} \cdot \vec{p}] + [\vec{r} \cdot \vec{F}] \quad (3.13)$$

$\vec{v}$ va $\vec{p}$ vektorlar parallel, kolleniar vektorlarning ko'paytmasi bo'lgani uchun $[\vec{v} \cdot \vec{p}] = 0$ ga teng bo'ladi, u holda

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = [\vec{r} \cdot \vec{F}] = \vec{M}_c$$

ya'ni

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}_c \quad (3.14)$$

Moddiy nuqta impul'sining biror nuqtaga nisbatan o'zgarishi, shu moddiy nuqtaga ta'sir qiluvchi kuch momentiga tengdir.

Agar $\vec{M} = 0$ bo'lsa, impul's momentining saqlanish qonunini ifodasiga ega bo'lamiz.

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = 0, \quad \vec{L} = [\vec{v} \cdot \vec{p}] = [\vec{v} \cdot m \cdot \vec{v}] = \text{const} \quad (3.15)$$

Ixtiyoriy o'q atrofida aylanma harakat qilayotgan moddiy nuqtaga tashqi kuch momenti ta'sir etmasa, u o'zining impul's momentini miqdor va yo'nalishi jihatdan o'zgarmas holda saqlaydi.

5. Qattiq jism aylanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasi

Shu vaqtgacha aylana bo'ylab harakat tenglamalarini chiziqli tezlik orqali ifoda qilgan edik. Endi shu ifodalarni burchak tezlik ω va burchakli tezlanish β

$$\frac{d\omega}{dt} = \beta$$

orqali ifodalaymiz.

1. Impul's momenti.

$$\vec{L} = [\vec{r} \cdot \vec{p}] = [\vec{r} \cdot m \cdot \vec{v}] = m[\vec{r} \cdot \vec{v}] \quad (3.16)$$

chiziqli tezlik burchak tezlik bilan quyidagicha bog'langan $\vec{v} = \omega \vec{r}$, u holda

$$L_z = m[\vec{r} \cdot \omega \vec{r}] = mr^2 \cdot \omega \quad (3.17)$$

$\vec{L}_z$ - moddiy nuqta impul'sining z o'qqa nisbatan impul's momentidir.

Moddiy nuqta impul'sining z aylanish o'qiga nisbatan **inersiya momenti** uning massasining aylanish radiusi kvadrati ko'paytmasiga teng bo'lgan fizik kattalikdir.

$$I_z = \frac{\vec{L}_z}{\omega} = mr^2 \quad (3.18)$$

Qattiq jismning z aylanish o'qiga nisbatan impul's momenti - $\vec{L}_z$ shu o'qqa nisbatan inersiya momenti I_z - ning burchak tezlikka ko'paytmasiga tengdir.

$$L_z = I_z \cdot \omega$$

Endi impul's momentining o'zgarishini aniqlaymiz.

$$\frac{d\vec{L}_z}{dt} = \frac{d(I_z \omega)}{dt} = M_z \quad (3.19)$$

$$\frac{dL_z}{dt} = I_z \cdot \frac{d\omega}{dt} = I_z \cdot \beta = \vec{M}_z \quad (3.20)$$

Shunday qilib, qattiq jismning z aylanish o'qiga nisbatan inersiya momentini burchak tezlanishga ko'paytmasi, tashqi kuchning shu o'qqa nisbatan natijaviy kuch momentiga teng bo'ladi.

(3.20) – ifoda qattiq jism aylanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasidir, u $\vec{F} = m\vec{a}$ tenglamaga o'xshash bo'lgani uchun ba'zan uning qattiq jism aylanma harakati uchun N'yutonning ikkinchi qonuni deb ataladi.

Agar aylanish o'qiga ega bo'lgan jismga tashqi kuchlar ta'sir qilmasa

$$\begin{aligned} \vec{M}_z &= 0 \\ d\vec{L}_z &= \vec{M}_z dt = 0 \end{aligned}$$

yoki

$$\begin{aligned} d\vec{L}_z &= d(I_z \cdot \omega) = \vec{M}_z dt = 0 \\ L_z &= I_z \omega = \text{const} \end{aligned} \quad (3.21)$$

Bu ifoda **impul's momentining saqlanish qonunidir**.

Aylanish o'qiga ega bo'lgan qattiq jismga tashqi kuchlar ta'sir etmasa yoki ularning aylanish o'qiga nisbatan kuch momenti nolga teng bo'lsa, qattiq jismning aylanish o'qiga nisbatan impul's momenti miqdor va yo'nalishi jihatidan o'zgarmay qoladi.

Takrorlash uchun savollar

1. Ichki kuchlar tizim impul'sini o'zgartira oladimi?

2. Impul'sning saqlanish qonunini tushuntiring.
3. Erkin tushishda impul'sning gorizontal tashkil etuvchisi o'zgaradimi?
4. Bosh nuqta nima?
5. Kuch momentini tushuntiring.
6. Qattiq jism aylanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasini yozing.
7. Inersiya momenti nima?
8. Impul's momentining saqlanish qonunini tushuntiring?
9. Impuls momenti va kuch momentlarining yo'nalishi qanday usullar bilan aniqlanadi?
10. Impuls momenti va kuch momenti birliklari qanday?

4-Ma'ruza

Ish, quvvat va energiya

Reja:

1. Ish va quvvat
2. Kinetik va potentsial energiya
3. Energiyaning saqlanish qonuni

Tayanch iboralar: oniy quvvat, potentsial maydonlar, konser-vativ kuchlar, dissipativ kuchlar, umumiy mexanik energiya, yopiq tizim, konservativ kuchlar, kinetik energiya, potentsial energiya,

1. Ish va quvvat

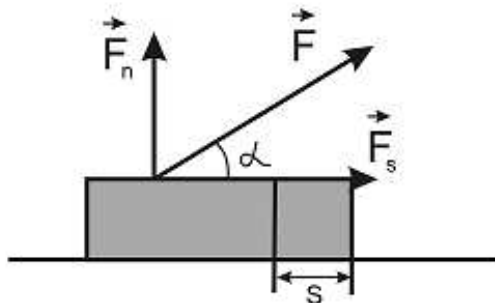
Energiya – barcha turdagi moddalarning harakati va o'zaro ta'sirining universal miqdoriy o'lchovidir.

Modda harakatining shakliga qarab, energiyaning har xil turlariga ega bo'lamiz: mexanik energiya, issiqlik energiyasi, elektromagnit energiya, quyosh energiyasi va h.k.

Barcha hollarda boshqa jismga uzatilgan energiya, ikkinchi jism olgan energiyaga teng bo'ladi.

Jism mexanik harakatining o'zgarishi unga boshqa jismlar tomonidan ta'sir etgan kuchlar hisobiga bo'ladi. Shu sababli, o'zaro ta'sirlashayotgan jismlar orasidagi energiya almashuvi miqdorini baholash uchun, kuzatilayotgan jismga qo'yilgan kuchning bajargan ishi ko'rib chiqiladi.

Agar, jism to'g'ri chiziqli harakat qilayotgan bo'lsa va unga ko'chish yo'nalishi bilan α burchak hosil qilgan doimiy $\vec{F}$ kuch ta'sir etsa, shu kuchning bajargan **ishi** kuchning harakat yo'nalishiga proeksiyasini kuch qo'yilgan nuqtaning siljishiga ko'paytmasiga tengdir (13-rasm).

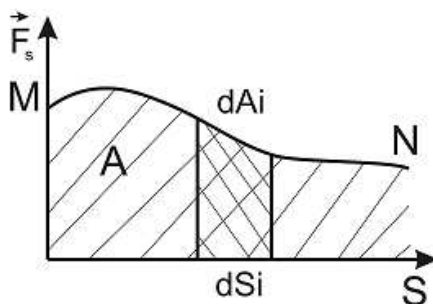


13-rasm. F - kuch ta'sirida to'g'ri chiziqli harakat qilayotgan jismning ko'chishi

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

Umumiy hollarda, kuch moduli va yo'nalishi bo'yicha o'zgarib turishi mumkin.

O'zgaruvchan kuch bajargan ishini aniqlash uchun, bosib o'tilgan yo'lni shunday kichik bo'lakchalarga bo'lamizki, ularning har birini to'g'ri chiziqdan iborat va ulardagi ta'sir kuchni o'zgarmas deb hisoblaymiz (14-rasm).



14-rasm. O'zgaruvchi tashqi kuch ta'sirida jismning ko'chishda bajargan ishi

U holda elementar ish

$$dA_i = F_{Si} dS_i = F_i dS_i \cos \alpha_i \quad (4.2)$$

O'zgaruvchan kuchning MN ko'chishida bajargan ishi

$$A = \int_M^N F_S dS_i = \int_M^N F_i dS_i \cos \alpha_i \quad (4.3)$$

ga teng bo'ladi. Bu integralni hisoblash uchun F_s kuchning S traektoriya bilan bog'liqligini bilish zarur. Bu kuchning bajargan ishi S traektoriya ostidagi maydon yuziga tengdir.

Agar jism to'g'ri chiziqli harakat qilsa, ta'sir etuvchi kuch va α - burchak o'zgarmas bo'ladi.

Shu sababli

$$A = F \cos \alpha \int_M^N dS = F \cdot S \cos \alpha$$

ga ega bo'lamiz. Bu erda S – jismning bosib o'tgan yo'li.

(4.3) - ifodadan:

$\alpha < \frac{\pi}{2}$ bo'lganda, kuchning bajargan ishi musbat bo'ladi,

$\alpha > \frac{\pi}{2}$ bo'lganda, kuchning bajargan ishi manfiy,

$\alpha = \frac{\pi}{2}$ bo'lganda, kuchning bajargan mexanik ishi nolga teng bo'ladi.

Ish birligi – 1 jouldan iborat:

$$1J = 1N \cdot m.$$

Bajarilayotgan ishning jadalligini tavsiflash uchun quvvat tushunchasidan foydalaniladi.

N – **quvvat** deb, ΔA bajarilgan ishning, shu ishni bajarish uchun ketgan Δt vaqtga nisbatiga teng fizik kattalikka aytiladi.

$$N = \frac{\Delta A}{\Delta t} \quad (4.4)$$

Agarda jism $\vec{F}$ kuch ta'sirida $\vec{v}$ o'zgarmas tezlik bilan harakatlansa, quvvat quyidagicha ifodalanadi:

$$N = \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{F_s \cdot \Delta S}{\Delta t} = F_s \cdot v$$

va kuchning harakat yo'nalishiga proeksiyasi F_s ni jismning tezligiga ko'paytmasiga teng bo'ladi.

Quvvat o'zgaruvchan bo'lganda oniy quvvat tushunchasidan foydalaniladi:

$$N = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{dA}{dt}$$

Agarda oniy quvvat o'zgaruvchan bo'lib Δt vaqt noldan sezilarli farq qilsa, u holda o'rtacha quvvat tushunchasi o'rinli bo'ladi

$$\langle N \rangle = \frac{\Delta A}{\Delta t}$$

Quvvat birligi – Vt bilan o'lchanadi

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

2. Kinetik va potentsial energiya

Kinetik energiya jism mexanik harakatining o'lchovidir va bu harakatni vujudga keltirish uchun bajarilgan ish bilan baholanadi.

Agar $\vec{F}$ kuch tinch turgan jismga ta'sir etib, unga $\vec{v}$ harakat tezligini bersa, u holda u ish bajarib jismning harakat energiyasini shu bajarilgan ish miqdoriga oshiradi. Shunday qilib, bu bajarilgan ish jismning kinetik energiyasining oshishiga olib keladi.

$$dA = dW_k$$

N'yuton II qonunining skalyar formasidan foydalansak

$$F = m \frac{dv}{dt}$$

bajarilgan ishni quyidagicha ifodalashimiz mumkin.

$$dA = F \cdot dS = m \frac{dv}{dt} \cdot dS$$

$v = \frac{dS}{dt}$ bo'lgani uchun;

$$dA = m dv \cdot \frac{dS}{dt} = m v \cdot dv = dW_k$$

To'la kinetik energiya ifodasi esa

$$W_k = \int_0^v m v \cdot dv = m \cdot \int_0^v v \cdot dv = \frac{mv^2}{2} \quad (4.5)$$

ga teng bo'ladi.

Shunday qilib v - tezlik bilan harakatlanayotgan, m – massali jismning kinetik energiyasi

$$W_k = \frac{mv^2}{2} \quad (4.6)$$

ga teng ekan. Kinetik energiya m – massaga bog'liq bo'lishi bilan harakat tezligi funksiyasi hamdir.

Potensial energiya - umumiy mexanik energiyaning bir qismi bo'lib, jismlarning bir-biriga nisbatan qanday holatda turishi va ular orasidagi ta'sir kuchlarining xarakteriga bog'liqdir.

Agarda jismlarning o'zaro ta'siri kuch maydonlari orqali bajarilsa (masalan, elastik kuch maydoni, gravitatsiya kuchi maydoni, elektr ta'sir kuchi maydoni) bu holda jismni ko'chishida bajarilgan ish, bir nuqta bilan ikkincha nuqta orasidagi traektoriyaga bog'liq bo'lmay, jismning

boshlang'ich va oxirgi holatiga bog'liqdir. Bunday ish bajaradigan maydonlar **potensial maydonlar** deb ataladi va ularda ta'sir qiluvchi kuchlar **konservativ kuchlar** deb ataladi.

Agarda kuch bajargan ish harakat traektoriyasiga bog'liq bo'lsa, bunday kuchlar **dissipativ kuchlar** deb ataladi.

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

Odatda jismning ma'lum bir holatdagi potesial energiyasini nol deb hisoblab, hisob boshini belgilashadi. Boshqa holatdagi energiya hisob boshidagi holatga nisbatan aniqlanadi. Shuning uchun ayrim vaqtlarda potensial energiyalar farqi degan tushunchadan foydalaniladi.

Jismga qo'yilgan konservativ kuchlar bajargan ish, shu jism potensial energiyasini o'zgarishiga tengdir.

$$dA = -dW_n \quad (4.7)$$

Bunda potensial energiya **sarf bo'lishi natijasida ish bajarilgani uchun** minus ishora paydo bo'ldi. Bajarilgan ish $dA = Fdr$ bo'lgani uchun

$$Fdr = -dW_n \quad (4.8)$$

Agarda $W_n(r)$ - funksiya aniq bo'lsa, kuchning moduli va yo'nalishini aniqlash mumkin.

$W_n(r)$ funksiyaning aniq ko'rinishi kuch maydonining xarakteri bilan aniqlanadi. Masalan, Er sirtidan h balandlikka ko'tarilgan jismning potensial energiyasi

$$W_n = \int dW_n = \int_0^h Pdh = mgh \quad (4.9)$$

ga tengdir.

Bu erda potensial energiya h balandlikdan tushayotgan m massali jismning bajargan ishiga tengdir.

Tizimning to'liq energiyasi, doimo mexanik harakat va o'zaro ta'sir energiyalarning yig'indisidan iboratdir.

$$W = W_k + W_n \quad (5.10)$$

3. Energiyaning saqlanish qonuni

Massalari $m_1, m_2, \dots, m_n$, va $v_1, v_2, \dots, v_n$ tezlik bilan harakatlanayotgan moddiy nuqtalardan iborat bo'lgan yopiq tizimni olaylik.

Har bir moddiy nuqtaga $f_1, f_2, \dots, f_n$ teng ta'sir etuvchi ichki konservativ kuchlar va $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ teng ta'sir etuvchi tashqi kuchlar ta'sir etayotgan bo'lsin.

$v < c$ bo'lganda, moddiy nuqtalar massalari o'zgarmaganligi sababli, ularga N'yutonning II qonunini tadbqiq etish mumkin:

$$\begin{aligned}
m_1 \frac{d v_1}{dt} &= f_1 + F_1 \\
m_2 \frac{d v_2}{dt} &= f_2 + F_2 \\
&\dots\dots\dots \\
m_n \frac{d v_n}{dt} &= f_n + F_n
\end{aligned}$$

Barcha nuqtalar qandaydir dt vaqt oralig'ida $dx_1, dx_2, \dots, dx_n$ masofalarga ko'chgan bo'lsin. Shu ko'chishlarni tezlik orqali, skalyar ko'rinishda ifodalasak, quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned}
m_1(v_1 dv_1) - (f_1 + F_1)dx_1 &= 0 \\
m_2(v_2 dv_2) - (f_2 + F_2)dx_2 &= 0 \\
&\dots\dots\dots \\
m_n(v_n dv_n) - (f_n + F_n)dx_n &= 0
\end{aligned}$$

Yopiq tizim uchun, uning moddiy nuqtalariga ta'sir etuvchi tashqi kuchlar yig'indisi nolga tengdir

$$F_1 + F_2 + \dots + F_n = 0$$

Shu sababli yuqoridagi tenglamalarni jamlasak, quyidagiga ega bo'lamiz

$$\sum_{i=1}^n m_i v_i dv_i - \sum_{i=1}^n f_i \cdot dx_i = 0$$

Bu erda

$$\sum_{i=1}^n m_i v_i dv_i = \sum_{i=1}^n d\left(m_i \frac{v_i^2}{2}\right) = dW_k \quad (5.11)$$

dW_k – tizim kinetik energiyasining cheksiz kichkina o'zgarishidir $-\sum_{i=1}^n f_i \cdot dx_i = 0$ yopiq tizim ichida moddiy nuqtalarning ichki konservativ kuchlarga qarshi bajargan ishidir va u tizim potensial energiyasini o'zgarishiga tengdir

$$dA = -dW_n$$

Butun yopiq tizim uchun

$$dW_k + dW_n = 0$$

ga teng. Demak yopiq tizimning to'liq mexanik energiyasi

$$W_k + W_n = W = \text{const} \quad (5.12)$$

ga ega bo'lamiz.

(5.12) – ifoda mexanik energiyaning saqlanish qonunidir.

Jismlarning yopiq tizimida faqat konservativ kuchlar ta'sir etsa, mexanik energiya saqlanib qoladi yoki vaqt bo'yicha o'zgarmas bo'ladi.

Takrorlash uchun savollar

1. Energiya, ish, quvvat tushinchalarini aniqlab bering.
2. Qanday mexanik energiya turlarini bilasiz?
3. Konservativ va dissipativ kuchlar qanday kuchlar?
4. Nima uchun tortishish kuchlar maydoni potensial maydon deyiladi?
5. Mexanik energiyani saqlanish qonunini tushuntiring. U qanday tizimlar uchun to'g'ri bo'ladi?
6. Potensial maydon deb qanday maydonga ataladi?
7. Kinetik energiya qanday aniqlanadi?
8. Potensial energiya qanday aniqlanadi?
9. Quvvat birligi nima bilan o'lchanadi?
10. Ish birligi nimadan iborat.

5-Ma'ruza

Suyuqliklar mexanikasi

Reja:

1. Suyuqliklarning umumiy xossalari
2. Suyqlikning muvozanat va harakat holat tenglamalari
3. Ideal suyuqlik gidrostatikasi
4. Bernulli tenglamasi va uning tadbiqu

Tayanch iboralar: suyuqlik, siquvchanlik koeffitsienti, hajmiy elastiklik moduli, massa kuchining hajmiy zichligi, gradient, dinamik bosim, statik bosim, gidrostatik bosim

1. Suyuqliklarning umumiy xossalari

Suyuqlik – moddaning qattiq va gazsimon holatlari o'rtasidagi gazsimon holatdir. U ham siquvchanlik, ham elastiklik xossasi bilan tavsiflanadi. Suyuqliklarda bosim ta'sirida namoyon bo'ladigan hajmiy elastiklik xususiyati siquvchanlik koeffitsienti β bilan aniqlanadi:

$$\beta = -\frac{1}{v} \frac{dv}{dp} \quad (5.1)$$

Suyuqlikning siquvchanlik koeffitsienti deb, bosim bir birlikla o'zgarganda suyuqlik hajmining nisbiy o'zgarishiga miqdor jihatdan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi.

Odatda siquvchanlik koeffitsientining reskari ifodasi K ga teng bo'lgan fizik kattalikka suyuqlikning hajmiy elastiklik moduli deyiladi:

$$K = \frac{1}{\beta} = -v \frac{dp}{dv} \quad (5.2)$$

Suyuqlikning hajmiy elastiklik moduli deb, uning nisbiy hajmini bir birlikka o'zgartirish uchun zarur bo'lgan bosimga miqdor jihatdan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi.

2. Suyuqlikning muvozanat va harakat holat tenglamalari

Har qanday suyuqliklarda ta'sir qiluvchi kuchlar odatda massa (hajmiy) kuchlarga va sirt kuchlarga bo'linadi. Massa kuchi o'zi ta'sir qilayotgan suyuqlikning elementar massasi dm ga, binobarin elementar hajmi dv ga proporsionaldir:

$$dF = \rho dv = f dv \quad (5.3)$$

bunda f - proporsionallik koeffitsienti bo'lib, unga **massa kuchining hajmiy zichligi** deb ataladi va u quyidagiga tengdir.

$$f = \frac{dF}{dv} = \rho = \frac{dP}{dz} \quad (5.4)$$

bu yerda: $\rho = \frac{dP}{dz}$ tezlanish, $dm = \rho dv$ suyuqlikning dv hajmiga mos kelgan massasi, ρ esa uning zichligi.

Massa kuchining hajmiy zichligi f suyuqlikdagi bosim (kuchlanish) bilan quyidagicha bog'lanishga ega:

$$f = \frac{dp}{dx} \rho_x + \frac{dp}{dy} \rho_y + \frac{dp}{dz} \rho_z \quad (5.5)$$

Vektor analizdan ma'lumki, (8.5)ning o'ng tomonidagi vektor ifodasi skalyar P ning **gradienti** deb ataladi va u $grad\ p$ orqali belgilanadi:

$$grad\ p = \frac{dp}{dx} \vec{i} + \frac{dp}{dy} \vec{j} + \frac{dp}{dz} \vec{k} \quad (5.6)$$

Shunday qilib (8.5) va (8.6)ga binoan, quyidagi tenglama kelib chiqadi:

$$grad\ p = \vec{f} \quad (5.7)$$

Bu formula suyuqlikmuvozanat holatining, ya'ni gidrostatikaning asosiy tenglamasi bo'lib, bunday ta'riflanadi:

Suyuqlik muvozanat holatda bo'lganda massa kuchining hajmiy zichligi bosimning gradientiga teng bo'ladi.

Shuni aytish kerakki, (5.7) shart bajarilganda suyuqlikka ta'sir qiluvchi kuch konservativ kuchdan, uning maydoni esa konservativ maydondan iborat. Binobarin, nokonservativ kuch maydonidagi suyuqliklar muvozanat holatda bo'lishi mumkin emas.

(5.7) formula asisida, suyuqlik harakati holatining, ya'ni gidrodinamikaning asosiy tenglamasini osongina chiqarish mumkin. Muvozanat ($\vec{f} - grad\ p = 0$)dagi suyuqlikka $\rho a = \beta \frac{d\vartheta}{dt}$ hajmiy zichligiga teng kuch ta'sir qilganda, u harakatga keladi va quyidagi tenglama o'rinli bo'ladi:

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{f} - grad\ p \quad (5.8)$$

Bu formula **suyuqlikning harakat holat tenglamasi yoki Eyler tenglamasi** deb ataladi.

3. Ideal suyuqlik gidrostatikasi

Gidrostatikaning umumiy vazifasi muvozanatdagi suyuqlikning idish devoroga yoki suyuqlikka tushirilgan jismlarga ta'sirini, suyuqlik egallagan hajmda gidrostatik bosimning tarqalish qonunlarini hamda har xil qurilma elementlariga tinch turgan suyuqlikning ta'sir kuchlarini aniqlashdan iboratdir.

1. Paskal qonuni. Agar suyuqlik (yoki gaz)ning og'irligi nazarga olinmasa, massa kuchining hajmiy zichligi mavjud bo'lmaydi, ya'ni $\vec{f} = 0$ bo'ladi. U vaqtda (8.5)dan:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp}{dx} = \frac{dp}{dy} = \frac{dp}{dz} = 0 \\ p = const \end{aligned} \right\} \quad (5.9)$$

Bu formula suyuqlik va gazlar uchun Paskal qonuni-ning matematik ifodasi bo'lib, bunday ta'riflanadi: *tinch turgan suyuqlikning(gazning) istalgan joyida bosim hamma yo'nalishda bir xil bo'lib, shu bilan birga suyuqlik (gaz)ning butun hajmi bo'ylab bir xil uzatiladi*

2. Suyuqlik ustunining bosimi. Agar suyuqlik og'irlik maydonoda bo'lsa, massa kuchining hajmiy zichligi $f = \rho g$ bo'ladi. Z oqni vertical yuqoriga ko'taramiz, u holda suyuqlik muvozanat holatining (8.6) tenglamasi

$$\frac{dp}{dx} = \frac{dp}{dy} = 0 \quad \text{va} \quad \frac{dp}{dz} = \rho g$$

Ko'rinishga keladi.

Suyuqlik ustunining balandligi h ga qarab bosimning o'zgarishini oxirgi tenglamani integrallab osongina aniqlash mumkin:

$$\int_{p_0}^p dp = \int_0^h \rho g dz : p_0 - p = \rho gh \quad (5.10)$$

Bu yerda ρ_0 suyuqlik $z = h$ balandligidagi bosimi, ya'ni kordinatalar boshi suyuqlikning erkin sirtida olingan bo'lsa, u atmosfera bosimi bo'ladi. Faqat suyuqlik ustuni hosil qilgan p_{gid} bosimga gidrostatik bosim deyiladi:

$$p_{gid} = \rho gh \quad (5.11)$$

Shunday qilib, faqat suyuqlik ustuni hosil qilgan bosim suyuqlik solishtirma og'irligi (ρg) ning balandlik h ga ko'paytmasiga teng ekan.

Arhimed qonuni. Agar suyuqlikka tashqi kuch ta'sir etmasa, suyuqlikka botirilgan jismlarga faqat gidrostatik bosim ta'sir qiladi. Jismning ustki va ostki asoslariga ta'sir qiluvchi gidrostatik $p_1 = \rho_0 gh_1$ va $p_2 = \rho_0 gh_2$ bosimlar farqi $p = p_2 - p_1 = \rho_0 g(h_2 - h_1)$ jismning ostki asosidan yuqoriga yo'nalgan bosimdan iborat bo'ladi. U vaqtda suyuqlikdagi asosaning yuzi S bo'lgan jismni yuqoriga ko'taruvchi Arximed kuvhi quyidagiga teng bo'ladi:

$$F_a = pS = \rho_0 g(h_2 - h_1)S = \rho_0 ghs = \rho_0 gV \quad (5.12)$$

bunda ρ_0 - suyuqlikning zichligi, g - erkin tushish tezlanishi, h_1 va h_2 jismning ustki va ostki asoslariga bo'lgan suyuqlik ustunlarining balandliklari, h esa jismning balandligi.

(5.12) formula Arximed qonunining matematik ifodasi bo'lib, bunday ta'riflanadi:

Suyuqlik yoki gazga botirilgan har qanday jismga shu jism siqib chiqargan suyuqlik yoki gazlarning og'irligiga teng va yuqoriga yo'nalgan kuch ta'sir qiladi.

4. Bernulli tenglamasi va uning tadbiqu

Ideal suyuqlikning og'irlik maydonidagi barqaror oqimini qarab chiqamiz. Bu oqimga energiyaning saqlanish qonunini tadbiqu qilib, ideal suyuqlikning oqim tezligi va bosimi orasidagi bog'lanishni aniqlaymiz.

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = const \quad (5.14)$$

Bu munosabatga Daniel Bernulli tenglamasi deb ataladi. Bunda ρ - suyuqlikning zichligi, v - oqim tezligi, h - oqim chizig'ining biror sathdan balandligi.

Bernulli tanglamasidagi qo'shiluvchi hadlarning fizik ma'nosini aniqlaylik:

1. Uchinchi qo'shiluvchi p kattalik suyuqlik ichidagi bosimni anglatadi. Unga **statik bosim** deyiladi.

2. Ikkinchi qo'shiluvchi $\rho gh = p_{gid}$ **gidrostatik bosim** deyiladi.

3. Birinchi qo'shiluvchi $\frac{\rho v^2}{2} = p_{din}$ esa **dinamik bosim** deyiladi.

U vaqtda Bernulli tenglamasi quyidagicha ta'riflash mumkin:

Ideal suyuqlik barqaror oqimidagi to'la bosimi dinamik, gidrostatik, va static bosimlarining yig'indisiga teng.

Takrorlash uchun savollar

1. Suyuqlik qanday agregat holat?

2. Suyuqlikning siquvchanlik koeffitsienti deb nimaga aytiladi.
3. Massa kuchining hajmiy zichligi formulasini tushuntiring.
4. Eyler tenglamasi qanday?
5. Paskal qonuni nima?
6. Arhimed qonunidan hayotda qanday foydalaniladi?
7. Bernulli tenglamasini tushuntiring va bosim turlarini sanang.
8. Stoks formulasidagi yopishkoklik koeffisienti nimalarga bogliq?
9. Ideal suyuqlik deganda nimani tushuniladi?
10. Suyuqlikning laminar va turbulent oqishi nima.
11. Qovushqoqlik nima.

6-Ma'ruza

Nisbiylik nazariyasi asoslari

Reja:

1. Inersial sanoq tizimlari. Galiley almashtirishlari
2. Eynshteyn postulatlar.
3. Lorens almashtirishlari

Tayanch iboralar: invariant, relyativistik nazariya, Eynshteyn postulatlar, Lorens almashtirishlari, relyativistik dinamika, relyativistik impul's

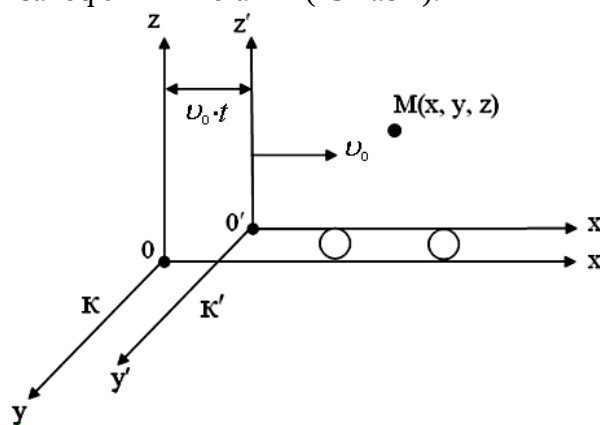
1. Inersial sanoq tizimlari. Galiley almashtirishlari

Jismning harakati va tinch holati biz kuzatayotgan sanoq tizimlariga nisbatan nisbiy tushunchalardir.

Bir-biriga nisbatan tekis va to'g'ri chiziqli harakat qilayotgan sanoq tizimlarning birida N'yuton qonunlari bajarilsa, bunday sanoq tizimlar **inersial sanoq tizimlar deb ataladi**.

Oddiy misolda bir inersial tizimdagi nuqta koordinatalaridan ikkinchi tizimdagi koordinatalarga o'tish formulalarini keltirib chiqarishga harakat qilamiz.

Shartli tinch holatda bo'lgan K sanoq tizimiga nisbatan OX o'qi bo'ylab $v_0 = \text{const}$ tezlik bilan harakatlanayotgan K' sanoq tizimini olamiz (15-rasm).



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

$t=0$ momentda ikki sanoq tizimi bir-birining ustiga tushadi.

t vaqtdan so'ng K - tizimdagi qandaydir M nuqtaning koordinatalari $M(x, u, z)$ bo'lsin.

K' - sanoq tizimida esa, bu nuqtaning koordinatalari

$$x = x' - v_0 \cdot t, \quad y' = y, \quad z' = z \quad (6.1)$$

$$K' \rightarrow K$$

Natijada

$$x = x' + v_0 \cdot t, \quad y = y', \quad z' = z, \quad t = t' \quad (6.2)$$

ga ega bo'lamiz. Har ikki tizimda vaqt bir xil o'tadi $t = t'$.

Bular **Galileyning koordinatalarni almashtirish ifodalari** yoki klassik mexanikaning koordinatalarni almashtirish formulalari deb ataladi.

(6.2) – ifodalardan t bo'yicha hosila olamiz:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dx'}{dt} + v_0 ; \quad \frac{dy}{dt} = \frac{dy'}{dt} ; \quad \frac{dz}{dt} = \frac{dz'}{dt}$$

$$v_x = v_x^1 + v_0 ; \quad v_y = v_y^1 ; \quad v_z = v_z^1 .$$

yoki vektor ko'rinishda:

$$\mathcal{V} = \mathcal{V}' + \mathcal{V}_0 \quad (6.3)$$

Bu ifoda **klassik mexanikada tezliklarni qo'shish formulasi** deb ataladi.

Bir sanoq tizimidan ikkinchi sanoq tizimiga o'tishda koordinatalarni almashtirish (6.1) – ifoda bilan, tezliklarni almashtirish esa (6.3) – ifoda bilan amalga oshiriladi.

(6.3) – ifodadan t vaqt bo'yicha hosila olsak:

$$\frac{d\mathcal{V}}{dt} = \frac{d\mathcal{V}'}{dt} ; \quad \mathcal{A} = \mathcal{A}' \quad (6.4)$$

ga ega bo'lamiz. Barcha sanoq tizimlarida tezlanish bir-xil bo'lib, bir inersial sanoq tizimidan ikkinchi sanoq tizimiga o'tish invariant bo'ladi.

2. Eynshteyn postulatları

Eynshteynning maxsus nisbiylik – relyativistik nazariyasi ikkita postulatga asoslangan:

1. Nisbiylik prinsipi: barcha inersial sanoq tizimlari teng huquqlidir, bu tizimlarda tabiat hodisalari bir xilda o'tadi va qonunlar bir xil ifodalanadi.

Boshqacha qilib aytganda, barcha fizik hodisalar turli inersial sanoq tizimlarida bir xil sodir bo'lib, mexanik, elektromagnit, optik va shu kabi tajribalar yordamida, berilgan inersial sanoq tizimining tinch turganligini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatlanayotganligini aniqlab bo'lmaydi.

2. Yorug'lik tezligining invariantlik prinsipi: yorug'likning bo'shliqdagi tezligi barcha inersial sanoq tizimlarida bir xil bo'lib, manba va kuzatuvchining nisbiy harakat tezligiga bog'liq emas.

Maxsus nisbiylik nazariyasining birinchi postulati Galileyning nisbiylik prinsipiga muvofiq keladi va uni yorug'likning tarqalish qonunlariga joriy etib, umumlashtiradi.

Ammo, ikkala postulatning bir vaqtdagi tadbiqi Galiley almashtirishlariga ziddir.

Bu ikkala postulat barcha eksperimental faktlar bilan tasdiqlangani uchun, bu ziddiyat postulatlar orasida emas, balki postulatlar bilan Galiley almashtirishlari orasida mavjuddir. Chnki Galiley almashtirishlarini yorug'lik tezligiga yaqin tezlikdagi harakatlarga tadbiq etib bo'lmaydi.

Eynshteyn shunday almashtirishlarni topdiki, bu almashtirishlar maxsus nisbiylik nazariyasining ikkala pastulatiga ham, Galiley almashtirishlariga ham muvofiq keladi.

3. Lorens almashtirishlari

almashtirishlar oldinroq Lorens tomonidan yuzaki topilganligi uchun – Lorens almashtirishlari deb ataladi.

$$x = \frac{x' + v_0 t'}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} ; \quad y = y', \quad z = z', \quad t = \frac{t' + \frac{v_0 x'}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} \quad (6.5)$$

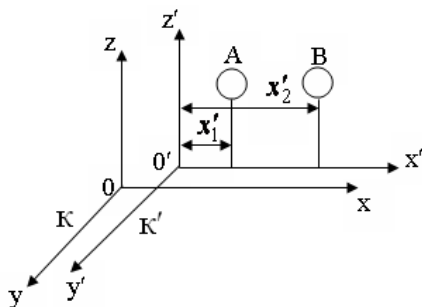
Lorens almashtirishlariga bir necha misollar keltiramiz:

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

16-rasmda K' sanoq tizimida, koordinatalari

$$x'_1 \neq x'_2$$

bo'lgan A va B nuqtalarda bir vaqtda ($t_1^1 = t_2^1$) ikkita lampa yorishgan bo'lsin (16-rasm).



16-rasm. Bir-biriga nisbatan tekis va to'g'ri chiziqli harakat qilayotgan sanoq tizimlarida sodir bo'ladigan hodisalarning vaqt momentlari

K-sanoq tizimida t_1 va t_2 vaqt momentlari (6.5) – ifodaga binoan quyidagicha bo'ladi:

$$t_1 = \frac{t'_1 + \frac{v_0 x'_1}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} \quad \text{va} \quad t_2 = \frac{t'_2 + \frac{v_0 x'_2}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} \quad (6.6)$$

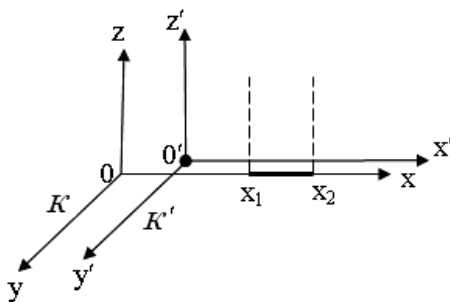
$$t'_1 = t'_2 \quad \text{va} \quad x'_1 \neq x'_2$$

bo'lgani uchun

$$t_1 \neq t_2$$

ya'ni K – sanoq tizimida ikkita lampa har xil vaqtlarda yorishadi.

2) K sanoq tizimida OX o'qi bo'ylab koordinatalari x_1 va x_2 bo'lgan sterjen yotgan bo'lsin (17-rasm).



17-rasm. Bir-biriga nisbatan harakatda bo'lgan sanoq tizimida uzunlik o'lchamining o'zgarishi

K sanoq tizimida sterjenning uzunligi

$$\lambda_0 = x_2 - x_1$$

bo'ladi, K' - tizimda esa

$$\lambda = x'_2 - x'_1$$

bu erda $t'_1 = t'_2$ (6.1) - Lorens almashtirishlariga asosan

$$\lambda_0 = x_2 - x_1 = \frac{x'_2 + v_0 t'_2}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} - \frac{x'_1 + v_0 t'_1}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} \quad (6.7)$$

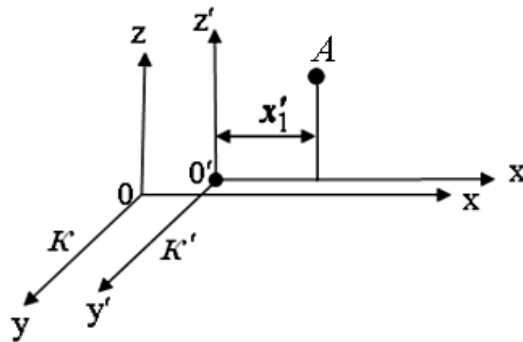
yoki

$$\lambda = \lambda_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}} \quad (6.8)$$

Sterjen tinch holatda bo'lgan K - sanoq tizimiga nisbatan v_0 - tezlik bilan harakatlanayotgan K' - sanoq tizimida sterjenning uzunligi $\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}$ marta kichikdir.

Tizimning v_0 - tezligi, yorug'lik tezligiga yaqinlashishi bilan, sterjenning uzunligi nolga tenglashadi va uning haqiqiy uzunligi yo'qola boradi.

3) K' tizimda koordinatalari $x'_1 \neq x'_2$ bo'lgan A - nuqtada lampa t'_1 - vaqtda yorishib, t'_2 - momentda o'chadi (18-rasm).



18-rasm. Bir-biriga nisbatan harakatda bo'lgan sanoq tizimida vaqtning o'zgarishi

K' - tizimda lampaning yonish vaqti

$$\Delta t' = t'_2 - t'_1$$

ga teng.

Lorens almashtirishlaridan foydalanib K - tizimda yonish vaqtini ifodalab ko'ramiz.

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{t'_2 + \frac{v_0}{c^2} x'_2}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} - \frac{t'_1 + \frac{v_0}{c^2} x'_1}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} = \frac{\Delta t^1}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} \quad (6.9)$$

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

Hodisa sodir bo'layotgan tizimning tezligi yorug'lik tezligiga yaqinlashishi bilan K - tizimda yonish vaqti cheksizlikka intiladi va o'z ma'nosini yo'qotadi.

4) (6.3)- va (6.5)- formulalardan foydalanib tezliklarni qo`shishning relyativistik ifodasini keltirib chiqarish mumkin. Yuqoridagi formulalarning hosilalarini keltiramiz

$$dx = \frac{dx' + v_0 dt'}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}; \quad dt = \frac{dt' + \frac{v_0}{c^2} dx'}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}, \quad (6.10)$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dx' + v_0 dt'}{dt' + \frac{v_0}{c^2} dx'}, \quad v_x = \frac{v'_x + v_0}{1 + \frac{v_0}{c^2} v'_x} \quad (6.11)$$

yoki

$$v'_x = \frac{v_x - v_0}{1 - \frac{v_0}{c^2} v_x} \quad (6.12)$$

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

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} \quad (6.13)$$

bu erda m_0 – tinch holatda turgan elektronning massasi.

m – relyativistik massa deb ataladi.

N`yutonning dinamikasiga asosan

$$\overset{p}{F} = m \frac{d\overset{p}{v}}{dt} \quad (6.14)$$

Moddiy nuqta relyativistik dinamikasining asosiy qonunini shunday yozish mumkin:

$$\overset{p}{F} = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} \cdot \overset{p}{v} \right) \quad (6.15)$$

yoki

$$\overset{p}{F} = \frac{d\overset{p}{p}}{dt}; \quad \overset{p}{p} = m \overset{p}{v} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} \cdot \overset{p}{v} \quad (6.16)$$

Bu moddiy nuqtaning **relyativistik impul`s**idir.

Takrorlash uchun savollar

1. Galileyning koordinatalarni almashtirish ifodalarini ayting.
2. Eynshteyn postulatlarini bilasiz.
3. Lorens almashtirishlari nima?
4. Vaqt va masofa o`zgarishini tushuntiring.
5. Relyativistik impul`s formulasini bilasizmi?
6. Eynshteynning maxsus nisbiylik – relyativistik nazariyasi nechta postulatga asoslangan.

7. Moddiy nuqta relyativistik dinamikasining asosiy qonunini bilasizmi?
8. Galileyning nisbiylik prinsipini tushuntiring.
9. Lorens almashtirishlariga misollar keltiring.
10. Klassik mexanikada tezliklarni qo`shish formulasi qanday ifodalanadi.

ELEKTR

7-Ma'ruza

Elektrostatika asoslari

Reja:

1. Elektr o`zaro ta`sir
2. Kulon qonuni
3. Elektr maydoni. Maydon kuchlanganligi
4. Elektr induksiya vektori kuch chiziqlari va oqimi
5. Ostrogradskiy – Gauss teoremasi

Tayanch iboralar: elektromagnit kuchlar, zaryadning saqlanish qonuni, nuqtaviy zaryad, kuch chiziqlari, superpozitsiya prinsipi, elektr induksiya vektori, yopiq sirt, induksiya oqimlari, sirt zichligi, hajmiy zaryad, maydon induksiyasi, ichki sfera

1. Elektr o`zaro ta`sir

Tajribalar ko`rsatishicha, zaryadlangan va magnitlangan jismlar, shuningdek elektr toki oqayotgan jismlar orasida **elektromagnit kuchlar** deb ataluvchi o`zaro ta`sir kuchlari mavjuddir.

Jismlar orasidagi bu o`zaro ta`sir elektromagnit maydon deb ataluvchi o`ziga xos vositachi materiya orqali uzatiladi.

Elektromagnit maydon nazariyasining asoschisi Faradey bir jismning boshqasiga ta`siri ularni bir-biriga tekkazish orqali yoki elektromagnit maydon deb ataluvchi, oraliq muhit orqali uzatilishi mumkin, deb hisobladi.

Maksvell esa, Faradeyning asosiy g`oyalarini matematik shaklda ifodalab, elektromagnit to`lqinlar mavjudligini ko`rsatib berdi va ularning tarqalish tezligi yorug`likning vakuumdagi tezligiga mos ekanligini isbotladi.

Elektromagnit maydon energiya, impul`s va boshqa fizikaviy xususiyatlarga egadir.

Zaryadlangan A jism atrofidagi fazoda elektr maydon hosil bo`ladi. Bu maydon unga kiritilgan boshqa biror bir zaryadlangan  $V$  jismga ko`rsatayotgan ta`siri orqali namoyon bo`ladi. Lekin, shuni ta`kidlash lozimki,  $A$  jismning zaryadlari hosil qilgan maydon boshqa zaryadlangan jism joylashtirilmaganda ham fazoning har bir nuqtasida mavjuddir. Elektromagnit maydon mavjud bo`lgan fazo-efir yoki **vakuum** deb ataladi.

Elektron nazariyaning asosiy g`oyasini zamonaviy fizika tilida quyidagicha ifodalash mumkin: har qanday modda musbat zaryadli atom yadrosidan va manfiy zaryadli elektronlardan tashkil topgan.

Elektr zaryadi ayrim elementar zarrachalarning muhim xususiyati hisoblanib, bu zarrachalarning zaryadi e – elementar zaryadga teng.

Har qanday q zaryad bir qancha elementar zaryadlardan tashkil topganligi tufayli, u doimo e – ga karrali bo`ladi.

$$q = \pm Ne \quad (7.1)$$

(10.1) – ifodadan, zaryad diskret qiymatlarni qabul qilgani uchun u kvantlangan hisoblanadi.

Har xil inersial sanoq tizimlarda o'lanadigan zaryad miqdori bir xil bo'lgani uchun u relyativistik invariantdir. Boshqacha qilib aytganda, zaryad miqdori zaryad harakatda bo'lsa ham, tinch holatda bo'lsa ham bir xildir.

Elektr zaryadlari paydo bo'lishi va yo'qolishi mumkin, ammo bu holda albatta har xil ishorali ikkita zaryad bo'lishi shart.

Shunday qilib, elektrdan ajratilgan tizimlarda zaryadlar yig'indisi o'zgarmas bo'ladi va bu zaryadlarning **saqlanish qonuni** deb ataladi.

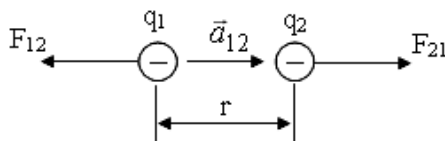
$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \sum_{i=1}^n q_i$$

2. Kulon qonuni

Nuqtaviy zaryad deb, shunday zaryadlangan jismga aytiladiki, uning o'lchamlari boshqa zaryadlangan jismlarga bo'lgan masofaga nisbatan sezilarli darajada kichik bo'lishi kerak.

Kulon burama tarozi orqali nuqtaviy zaryadlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchini, ularning zaryadlari miqdori va oralaridagi masofaga bog'liqligini o'rgandi va quyidagi xulosaga keldi: ikkita qo'zg'almas nuqtaviy zaryadlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchi zaryadlarning har birining miqdorlari ko'paytmasiga to'g'ri proporsional va ular orasidagi masofaning kvadratiga teskari proporsionaldir.

Kuchning yo'nalishi zaryadlarni tutashtiruvchi to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalgandir (19-rasm).



19-rasm. Qo'zg'almas nuqtaviy zaryadga ta'sir etuvchi kuch

$$\vec{F}_{12} = -k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{a}_{12} \quad (7.2)$$

bu erda k – proporsionalllik koeffisienti, q_1 va q_2 ta'sir qiluvchi zaryadlar miqdori, r – zaryadlar orasidagi masofa, $\vec{a}_{12}$ – q_1 zaryaddan q_2 zaryadga yo'nalgan birlik vektor, $\vec{F}_{12}$ q_1 zaryadga ta'sir etuvchi kuchdir.

$\vec{a}_{12}$ – birlik vektor bilan o'zaro ta'sir kuchning yo'nalishini belgilasak, $\vec{F}_{21}$ – kuch $\vec{F}_{12}$ kuchdan yo'nalishi va ishorasi bilan farq qiladi

$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{a}_{12} \quad (7.3)$$

$\vec{F}_{12}$ va $\vec{F}_{21}$ – kuchlarning moduli bir-biriga tengdir.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (7.4)$$

Ikkita zaryadlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchi, ular oldiga boshqa zaryadlar yaqinlashtirilsa, o'zgarmaydi.

Agar q_a – zaryad atrofida $q_1, q_2, \dots, q_n$ zaryadlar to'plami bo'lsa, natijaviy kuch quyidagiga teng bo'ladi.

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{a_i} \quad (7.5)$$

Kulon qonunida k – proporsionallik koeffisientining son qiymatini xohlagancha tanlab, unga istalgan birlikni berish mumkin, ammo amalda eng qulay boʻlgan birliklar tizimi ishlatiladi.

Elektrostatikada qulay birliklardan biri absolyut yoki Gauss birliklar tizimidir. Bu SGS birliklar tizimi bilan elektr birliklari majmuasidir – yaʼni SGSE zaryadlar birliklar tizimidir. Baʼzi paytlarda, SGSE ni – absolyut elektrostatik birliklar tizimi deb ataladi.

Gauss birliklar tizimida k – proporsionallik koeffisienti 1 ga teng hisoblanadi va zaryad birligi quyidagiga teng boʻladi:

$$|q| = [F^{1/2} L] = M^{1/2} L^{3/2} T^{-1}$$

SGSE – zaryad birligi qilib, shunday nuqtaviy zaryad olinadiki, bu zaryadga vakuumda 1 sm masofada shunday nuqtaviy zaryad 1 dina kuch bilan taʼsir qiladi.

Zaryadning amaliy birligi qilib 1 Kulon (Kl) olinadi.

$$1Kl = 2,998 \cdot 10^9 \text{ CFC} \quad \text{zaryad birligi (z.b.)}$$

XB tizimida 1 Kulon zaryad birligi 1 sek vaqt ichida 1 Amper tok oʻtishi uchun zarur boʻlgan zaryad miqdoriga tengdir.

$$q = I \cdot t = 1A \cdot 1cek = 1Kl \quad .$$

Bu holda $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ga tengdir.

Zaryadlar taʼsir etuvchi muhit vakuum boʻlsa, u muhit ϵ_0 – dielektrik singdiruvchanlikka ega boʻladi, u holda, Kulon qonuni quyidagicha yoziladi.

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad .$$

Agar $q_1, q_2 = 1Kl = 3 \cdot 10^9 \text{ CFC}$ z.b. boʻlsa

$$F = \frac{3 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^9}{(10^2 \text{ cm})^2} = 9 \cdot 10^{14} \frac{\text{z.cm}}{\text{c}^2} (\text{duna}) = 9 \cdot 10^9 H$$

ga teng boʻladi.
Boshqa tarafdin

$$F = \frac{1Kl \cdot 1Kl}{4\pi\epsilon_0 \cdot 1 \cdot \text{m}^2} = 9 \cdot 10^9 H \quad .$$

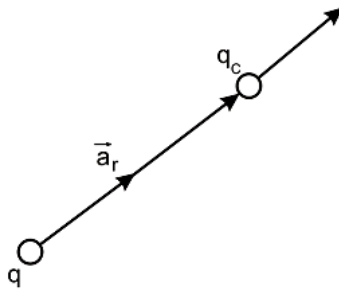
Bundan,

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \left(\frac{\Phi}{\text{m}} \right) = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{m}} \left(\frac{Kl^2}{\text{H} \cdot \text{m}^2} \right)$$

3. Elektr maydoni. Maydon kuchlanganligi

Qoʻzgʻalmas zaryadlar orasidagi oʻzaro taʼsir elektr maydoni orqali sodir boʻladi. Har qanday zaryad oʻzi egallagan fazoda elektr maydoni hosil qilishi bilan, fazoga oʻzgartirish kiritadi. Hosil boʻlgan elektr maydoni, shu maydonning istalgan nuqtasiga kiritilgan zaryadga, maʼlum bir kuch bilan taʼsir qiladi. Bu maydon birligini bilish uchun shu fazoga – maydonga sinovchi zaryadni kiritamiz.

Agar q – zaryad maydoniga q_c sinovchi zaryad kiritsak va uni qoʻzgʻalmas deb hisoblasak, q_c – zaryadga quyidagi kuch taʼsir etadi (20-rasm).



20-rasm. Elektr maydoniga kiritilgan sinovchi zaryadga ta'sir etuvchi kuch

$$\vec{F} = \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{a}_r \right) \cdot q_c \quad (7.6)$$

$\vec{a}_r$ – birlik vektor. Demak, bu kuch q_c – sinovchi va elektr maydonini hosil qiluvchi q – zaryadlar miqdoriga bog'liqdir.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_c} \quad (7.7)$$

(10.7) nisbatni elektr maydonining kuchlanganligi deb ataladi.

Bu maydon kuchlanganligi asosan, $\vec{F}$ - kuch va sinovchi zaryad turgan masofa bilan belgilanadi.

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot \vec{a}_r \quad (7.8)$$

Elektr maydon kuchlanganligi birligi quyidagiga teng.

SGSE zaryad birligi tizimida 1 SGSE zaryadga 1 sm masofada ta'sir qilgan 1 dina kuchga teng.

XB – tizimida 1 Kl zaryadga 1 m masofada 1 N kuch ta'sir etishini bildiradi va V/m bilan o'lchanadi.

$$E = \frac{1}{4\pi[1/4\pi \cdot 9 \cdot 10^9]} = 9 \cdot 10^9 \text{ B/m}$$

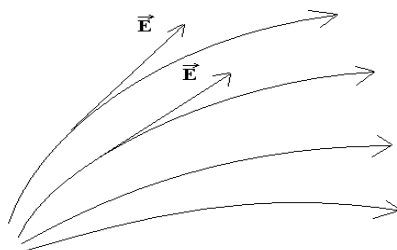
Agar $\vec{F} = q\vec{E}$ bo'lsa, musbat zaryadga ta'sir etuvchi kuch yo'nalishi $\vec{E}$ vektor bilan mos tushadi, manfiy zaryadga ta'sir etuvchi kuch esa, $\vec{E}$ maydon yo'nalishiga teskari bo'ladi.

Agar N ta zaryadlar to'plami bo'lsa, ular hosil qilgan maydon kuchlanganligi alohida zaryadlar elektr maydon kuchlanganligining vektor yig'indisiga teng bo'ladi:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i \quad (7.9)$$

Ana shu ifoda elektr maydonlarining **superpozitsiya prinsipi** yoki qo'shilish prinsipi deb ataladi.

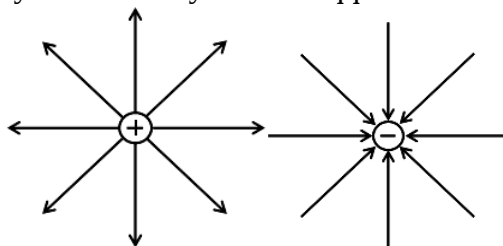
Zaryadning fazodagi elektr maydonini tasvirlash uchun elektr maydon kuchlanganligi chiziqlaridan foydalanamiz (21-rasm).



21-rasm. Elektr maydon kuchlanganligi chiziqlari

Agar elektr maydon kuch chiziqlari egri chiziqdan iborat bo'lsa, kuchlanganlik chiziqlari har bir nuqtaga o'tkazilgan urinmadan iborat bo'ladi. Chiziqlar zichligi elektr maydon kuchlanganligining shu nuqtadagi kattaligini bildiradi.

Nuqtaviy zaryad maydon kuchlanganlik chiziqlari radial chiziqlardan iboratdir. Musbat zaryad uchun kuch chiziqlari yo'nalishi zaryaddan chiqqan bo'ladi (22-rasm).



22-rasm. Musbat va manfiy nuqtaviy zaryadlarning elektr maydon kuch chiziqlari

4. Elektr induksiya vektori kuch chiziqlari va oqimi

Vakuumda kuch chiziqlari uzluksizdir. Dielektrlarda bo'linish chegarasigacha davom etadi, ya'ni cheklangan bo'ladi.

Bir jinsli bo'lgan dielektrlarda kuch chiziqlarining uzluksizlik sharti bajarilmaydi. Shuning uchun ham, ixtiyoriy ko'rinishdagi dielektrlar ichidagi maydonni tavsiflash uchun uning bo'linish chegarasidan uzluksiz o'tadigan yangi $\vec{D}$ vektor kattalik kiritiladi. Bu vektor kattalik **elektr induksiya vektori** deb ataladi.

Elektr induksiya vektori chiziqlari ixtiyoriy muhitda uzluksiz bo'lishi uchun, $\vec{E}$ kuchlanganlik vektori bilan quyidagi munosabatda bog'langan bo'lishi shart.

$$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E} \quad (7.10)$$

ya'ni

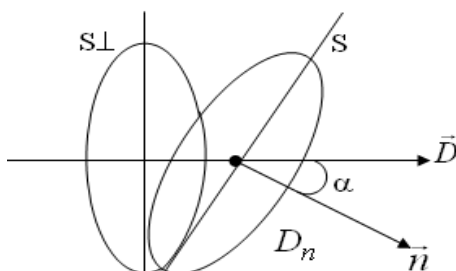
$$D = \frac{\epsilon \epsilon_0}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r^3} = \frac{1}{4\pi} \frac{q}{r^3} \quad (7.11)$$

bu erda $\epsilon \epsilon_0$ – vakuum bilan dielektrikning elektr singdiruvchanliklaridan qutilganimiz uchun, elektr induksiya vektori $\vec{D}$ ning uzluksizligi ta'minlanadi.

Skalyar ko'rinishda

$$D = \frac{1}{4\pi} \frac{q}{r^2} \quad (7.12)$$

ga ega bo'lamiz. Elektr induksiya vektori $\vec{D}$ miqdor jihatdan bir birlik yuzadan tik ravishda o'tayotgan induksiya chiziqlarini, ya'ni uning sirt zichligini ifodalaydi (24-rasm).



24-rasm. Elektr induksiya vektori

Bir jinsli elektr maydonidagi ixtiyoriy S yuza orqali tik ravishda o'tayotgan induksiya chiziqlariga **induksiya oqimlari** deb ataladi.

$$N = D_n S = DS_{\perp} = DS \cos \alpha \quad (7.13)$$

Agar elektr maydoni bir jinsli bo'lmasa

$$\vec{D} \neq \text{const}$$

u holda, dS elementar yuza sohasidagi maydonni bir jinsli deb hisoblash mumkin. U vaqtda (20.4) ifoda quyidagi differensial ko'rinishga ega bo'ladi:

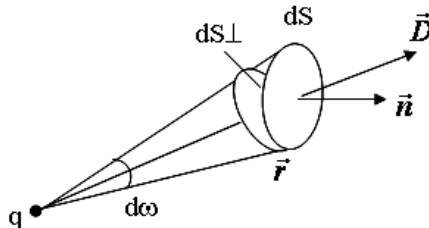
$$dN = D_n dS = D dS \cdot \cos \alpha \quad (7.14)$$

Ixtiyoriy S sirtidan o'tuvchi elektr induksiya oqimi N cheksiz ko'p shunday elementar elektr induksiya oqimlari dN ning yig'indisi bilan ifodalanadi:

$$N = \int_S D_n dS = \int_S D dS_{\perp} \quad (7.15)$$

5. Ostrogradskiy – Gauss teoremasi

Faraz qilaylik, q zaryad ixtiyoriy yopiq S sirt ichida joylashgan bo'lsin (25-rasm).



25-rasm. Yopiq sirtning fazoviy burchagiga to'g'ri keluvchi elektr induksiya vektori

Elektr induksiya vektorining formulasiga ko'ra

$$\vec{D} = \frac{1}{4\pi} \frac{q}{r^3} \vec{r}$$

bu erda $\vec{D}$ – vektor zaryad joylashgan nuqtadan chiqqan bo'lib, $\vec{r}$ – radius vektor bo'ylab yo'naladi. Shuning uchun $\vec{n}$ normal bilan $\vec{D}$ vektor orasidagi fazoviy burchak dS va $dS_{\perp}$ sirlari orasidagi burchakka tengdir. U vaqtda elementar dS sirtidan chiqayotgan elektr induksiya oqimi

$$dN = \frac{1}{4\pi} \frac{q}{r^2} \cdot dS_{\perp} \quad (7.16)$$

bu erda $\frac{dS_{\perp}}{r^2} = d\omega$ – elementar fazoviy burchakka teng bo'lgani uchun

$$dN = \frac{1}{4\pi} q \cdot d\omega \quad (7.17)$$

ega bo'lamiz.

Agar butun shar sirti bo'yicha integrallasak

$$N = \oint_S \frac{q}{4\pi} d\omega = \frac{q}{4\pi} \cdot 4\pi = q \quad (7.18)$$

Ostrogradskiy – Gauss teoremasining matematik ifodasiga ega bo`lamiz. Yopiq sirtidan chiqayotgan elektr induksiya oqimi shu sirt ichidagi zaryad miqdoriga teng.

Yopiq sirt ichida

$$q_1, q_2, \dots, q_n$$

zaryadlar bo`lsa, elektr induksiya vektori quyidagiga teng bo`ladi:

$$\vec{D} = \vec{D}_1 + \vec{D}_2 + \dots + \vec{D}_n = \sum_{i=1}^n \vec{D}_i.$$

$$N = \sum_{i=1}^n q_i \quad (7.19)$$

ya`ni yopiq sirt ichidagi zaryadlarning arifmetik yig`indisiga teng bo`ladi.

Ostrogradskiy – Gauss teoremasini amalda tadbqiq etish uchun, quyidagi tushunchalarni kiritamiz.

- Zaryadlarning hajmiy zichligi deb, jismning bir birlik xajmiga mos kelgan zaryadga miqdor jihatdan teng bo`lgan fizik kattalikka aytiladi, ya`ni

$$\rho = \frac{q}{V} \quad (7.20)$$

bu erda q – jismning V – hajmiga mos kelgan zaryad miqdori.

- Zaryadning sirt zichligi deb, jismning bir birlik sirt yuzasiga mos kelgan zaryadga miqdor jihatdan teng fizik kattalikka aytiladi, ya`ni

$$\sigma = \frac{q}{S} \quad (7.21)$$

bu erda q – jismning S yuzasiga mos kelgan zaryad miqdori.

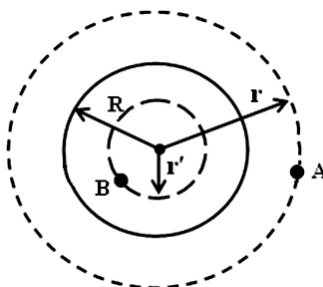
- Zaryadning chiziqli zichligi deb, jismning uzunlik birligiga mos kelgan zaryadga miqdor jihatdan teng fizik kattalikka aytiladi, ya`ni

$$\tau = \frac{q}{\lambda} \quad (7.22)$$

bu erda q - jismning λ uzunligiga mos kelgan zaryad miqdori.

1-misol. Bir tekis hajmiy zaryadlangan sharning maydoni.

Radiusi R bo`lgan, xajm bo`yicha zaryadlangan oladigan shar zaryadining hajmiy zichligi $\rho > 0$ bo`lsin (27-rasm).



27-rasm. Bir tekis hajmiy zaryadlangan shar maydoni

Zaryadlangan sharning tashqi ($r > R$) va ichki ($r' < R$) qismlarida maydonni hisoblab ko`ramiz.  $A$  nuqtani olamiz. Sharning zaryadi hajmiy zaryad bilan quyidagicha bog`langan

$$q = \rho V = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 \quad (7.23)$$

Maydon induksiyasi va maydon kuchlanganligi quyidagiga teng bo`ladi

$$D = \frac{1}{4\pi} \frac{q}{r^2} ; \quad D = \frac{1}{4\pi} \frac{\rho}{r^2} \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{\rho}{3} \frac{R^3}{r^2} \quad (7.24)$$

$$E = \frac{D}{\epsilon \epsilon_0} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0 \epsilon} \cdot \frac{q}{r^2} ; \quad E = \frac{D}{\epsilon \epsilon_0} = \frac{\rho}{3\epsilon \epsilon_0} \cdot \frac{R^3}{r^2} \quad (7.25)$$

V nuqtaga nisbatan maydon induksiyasi va kuchlanganligi quyidagiga teng bo'ladi. zaryadi q' ga teng bo'lsa

$$q' = \rho \cdot V' = \rho \frac{4}{3} \pi r'^3, \quad \rho = \frac{q}{\frac{4}{3} \pi R^3}$$

$$q' = \frac{4}{3} \pi r'^3 \cdot \frac{q}{\frac{4}{3} \pi R^3} = q \left(\frac{r'}{R} \right)^3 \quad (7.26)$$

Demak $S' = 4\pi r'^2$ ichki yopiq sirtidan chiqayotgan elektr induksiya oqimi N' quyidagiga teng bo'ladi

$$N' = \int_{S'} D' dS = \int_0^{4\pi r'^2} D' dS = D' 4\pi r'^2$$

Boshqa tarafdin, Ostrogradskiy – Gauss teoremasiga asosan, bir tekis hajmiy zaryadlangan sharning ichki yopiq sirtidagi maydon kuchlanganligi

$$N' = \int_{S'} D' dS = q' = \rho \frac{4}{3} \pi r'^3 = q \left(\frac{r'}{R} \right)^3$$

ga teng bo'ladi.

Takrorlash uchun savollar

1. Qanday maydon elektrostatik maydon va uning asosiy xarakteristikasi, maydon kuchlanganligi va maydon potentsiali nima? Ular orasida qanday bog'lanish mavjud?
2. 1 kulon qanday kattalik?
3. Zaryadlarning saqlanish qonunini tushuntiring.
4. Elektrostatik maydonning superpozitsiya prinsipini tushuntiring.
5. Vakumda kuch chiziqlari qanday bo'ladi?
6. Induksiya oqimlari nima?
7. Ostrogradskiy-Gauss teoremasi va formulasini yozing. Uni har xil sirtlarga tatbiq qilinishini isbotlang.
8. Sharning hajmiy zaryad zichligini tushuntiring.
9. Elektr siljish vektori nima?
10. Musbat zaryad uchun kuch chiziqlari yo'nalishi qanday?

8 - Ma'ruza

Elektr maydonida bajariladigan ishlar

Reja:

1. Elektr maydonida zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish
2. Maydonning potentsiali
3. Zaryadning potentsial energiyasi
4. Elektrostatik maydondagi o'tkazgichlar

Tayanch iboralar: ishlarning algebraik yig'indisi, yopiq kontur, potentsial maydon, zaryadning potentsial energiyasi

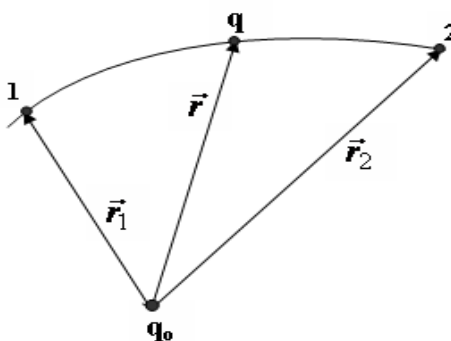
1. Elektr maydonida zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish

Har qanday maydon va shu maydondagi kuchning tabiati bajarilgan ishning ko'rinishi bilan aniqlanadi. Jumladan, bajarilgan ish yo'lining traektoriyasiga bog'liq bo'lishi yoki bo'lmasligi, kuch va maydon tabiatining mezoni bo'lib xizmat qiladi.

Misol uchun, qo'zg'almas nuqtaviy zaryad q_0 vakuumda

$$\vec{E} = \frac{q_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^3} \cdot \vec{r}$$

elektr maydonini hosil qilgan, deb hisoblaymiz. Su maydonda boshqa nuqtaviy q zaryad harakat qilayotgan va 1-nuqtadan 2-nuqtaga ko'chgan bo'lsin (28-rasm).



28-rasm. Qo'zg'almas nuqtaviy q_0 zaryad maydonida q sinovchi zaryadning harakat traektoriyasi

Elektr maydon kuchi ta'sirida bajarilgan ish quyidagi integral bilan ifodalanadi

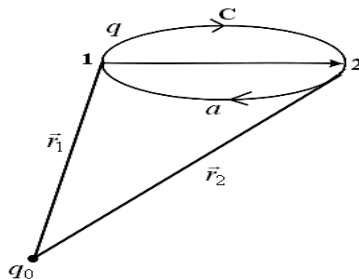
$$A_{12} = \int_{12} q \vec{E} d\vec{r} = q \frac{q_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \int_{12} \frac{dr}{r^3}$$
$$A_{12} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (8.1)$$

Bu ifodadan ko'rinadiki, bir xil ishorali q va q_0 zaryadlarning o'zaro itarish kuchi ta'sirida, zaryadlar uzoqlashishida musbat ish bajariladi.

Aksincha, har xil ishorali zaryadlarning tortishish kuchi ta'sirida q va q_0 zaryadlar yaqinlashib, manfiy ish bajariladi.

Yana misol tariqasida q zaryadni a va s yo'nalishda 1-nuqtadan 2-nuqtaga ko'chiramiz (29-rasm). Bu holda ham bir xil ish bajariladi.

$$A_{12} = A_{1a2} = A_{1c2} \quad (8.2)$$



29-rasm. Konservativ kuch ta'sirida zaryadning ko'chishi

Shunday qilib, elektrostatik maydon kuchining bajargan ishi yo'lning traektoriyasiga bog'liq bo'lmagani uchun elektrostatik maydon kuchi konservativ kuch hisoblanadi.

Agarda n - ta nuqtaviy zaryadlar ($q_1, q_2, \dots, q_n$) hosil qilgan maydonda q - nuqtaviy zaryad harakat qilsa, unga $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$ kuchlar ta'sir qiladi. Bu natijalovchi $\vec{F}$ kuchning bajargan ishi A har bir kuch mustaqil bajargan ishlarning algebraik yig'indisiga teng bo'ladi.

$$A = \sum_{i=1}^n \frac{q_i q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_{i1}} - \frac{1}{r_{i2}} \right) \quad (8.3)$$

Yopiq kontur bo'yicha q - zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish quyidagicha ifodalanadi

$$A_0 = q \oint_L \vec{E} d\vec{\ell} \quad (8.4)$$

Yopiq konturda, maydonning boshlang'ich va oxirgi nuqtalari ustma-ust tushgani uchun bajarilgan ish nolga teng bo'ladi.

$$A_0 = \oint_L dA = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = 0$$

Shuning uchun

$$\oint_L \vec{E} d\vec{\ell} = 0 \quad (8.5)$$

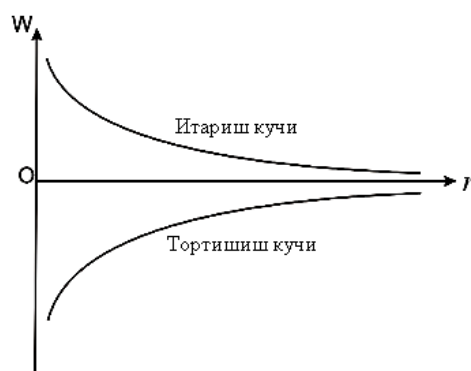
Maydon kuchlanganligi vektorining yopiq kontur bo'yicha sirkulyasiyasi nolga teng bo'lgan maydon potensial maydon deb ataladi.

2. Maydonning potentsiali

(12.1) – ifodani chuqurroq tahlil qilib ko'ramiz. Agar qo'zg'almas nuqtaviy q_0 – zaryadning maydonida q – zaryad $1(r_1)$ – nuqtadan $2(r_2)$ – nuqtaga ko'chirilsa, uning energiyasi o'zgarib boradi. Bu ish elektrostatik potensial maydonda bajarilgani uchun q – zaryadning potensial energiyasi o'zgaradi.

$$A_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r_1} - \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r_2} = W_1 - W_2 \quad (8.6)$$

Zaryadlarning ishorasiga qarab, ular orasidagi o'zaro ta'sir kuchi tortishish va itarish kuchlaridan iborat bo'ladi. Ammo zaryadlar orasidagi $\vec{r}$ – radius-vektor ortishi bilan, o'zaro ta'sir kuchi ko'rinishiga qaramasdan, potensial energiya kamayib boradi (30-rasm).



30-rasm. O`zaro ta`sir tortishish va itarish kuchlarining zaryadlar orasidagi masofaga bog`liqligi

Demak, potensial maydonda bajarilgan ish q – zaryadning potensial energiyasining kamayishi hisobiga bajariladi.

$$dA = -dW \quad (8.7)$$

3. Zaryadning potensial energiyasi

Elektrostatik maydonning biror nuqtasidagi zaryadning potensial energiyasini umumiy holda quyidagi ko`rinishda yozish mumkin:

$$W = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{qq_0}{r} \quad (8.8)$$

Bu ifodadan elektrostatik maydondagi q zaryadning potensial energiyasi maydonni hosil qilgan qo`zg`almas q_0 zaryadga ham bog`liq bo`lgani uchun zaryadlarning o`zaro potensial energiyasi ham deyiladi. Elektrostatik maydon biror nuqtasining **potensial** deb, maydonning shu nuqtasiga kiritilgan bir birlik musbat sinov zaryadiga mos kelgan potensial energiyaga miqdor jihatdan teng bo`lgan fizik kattalikka aytiladi:

$$\varphi = \frac{W}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_0}{r} \quad (8.9)$$

Shunday qilib, nuqtaviy zaryad hosil qilgan elektrostatik maydonning biror nuqtasidagi potensial zaryad miqdoriga to`g`ri va masofaga teskari proporsionaldir.

Elektrostatik maydon potensial, uning energetik tavsifi bo`lgani uchun zaryadni ko`chirishda elektrostatik maydon kuchining bajargan ishi, maydon potensiallar ayirmasi bilan o`zaro bog`lanishga ega bo`lishi kerak.

$$A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (8.10)$$

Maydonning ikki nuqtasi orasidagi potensiallar ayirmasi quyidagiga tengdir:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q} \quad (8.11)$$

Elektrostatik maydonning ikki nuqtasi orasidagi **potensiallar ayirmasi** deb, bir birlik musbat zaryadni 1-nuqtadan 2 – nuqtaga ko`chirishda bajarilgan ishga miqdor jihatdan teng bo`lgan fizik kattalikka aytiladi.

Agar bajarilgan ish quyidagicha bo`lsa

$$dA = qE dr = -dW = -q d\varphi$$

elektr maydon kuchlanganligi potensial bilan quyidagicha ifodalanadi

$$E = -\frac{d\varphi}{dr} \quad (8.12)$$

Shunday qilib, **elektrostatik maydonning kuchlanganligi** deb kuch chiziqlarining uzunlik birligiga mos kelgan potensial ayirmasiga miqdor jihatdan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi.

Elektrostatik maydonning kuchlanganligini boshqacha ko'rinishda yozish mumkin:

$$E = -\text{grad}\varphi \quad (8.13)$$

yoki

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} E dr \quad (8.14)$$

Potensiallari bir xil bo'lgan nuqtalarning geometrik o'rniga **ekvipotensial sirtlar** deyiladi.

Ekvipotensial sirt uchun

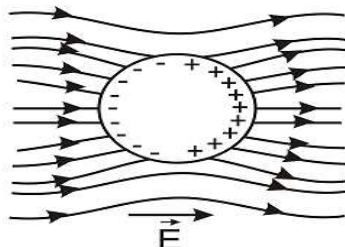
$$\varphi = \text{const} \quad (8.15)$$

4. Elektrostatik maydondagi o'tkazgichlar

Erkin elektronlarga yoki ionlarga ega bo'lgan moddalar o'tkazgichlar deb ataladi, chunki tashqi elektr maydon ta'sirida elektron yoki ionlar tartibli harakat qilishi mumkin.

Agar erkin zaryadlarga ega bo'lgan o'tkazgich tashqi elektrostatik maydonga joylashtirilsa, elektrostatik kuch ta'sirida, o'tkazgichdagi erkin elektronlar maydon kuchlanganligining vektori $\vec{E}$ ga qarama-qarshi tomonga siljiydi. Natijada o'tkazgichning ikki tomonida har xil ishorali zaryadlar hosil bo'ladi: elektronlari ortiqcha bo'lgan uchi manfiy zaryadlanadi, elektronlar etishmaydigan uchi esa, musbat zaryadlanadi. Shunday qilib, tashqi elektrostatik maydon ta'sirida, o'tkazgichdagi mavjud zaryadlarni musbat va manfiy sirt zaryadlarga ajratish hodisasi elektrostatik induksiya yoki ta'sir orqali zaryadlash deyiladi. Hosil bo'lgan zaryadlar **induksiyalangan zaryadlar** deb ataladi.

Elektrostatik maydonga kiritilgan o'tkazgichdagi induksiyalangan zaryadlar maydonning manzarasini o'zgartiradi. 36-rasmda bir jinsli ($\vec{E} = \text{const}$) elektrostatik maydonga kiritilgan metall sharning bu maydonni deformasiyalashi tasvirlangan.



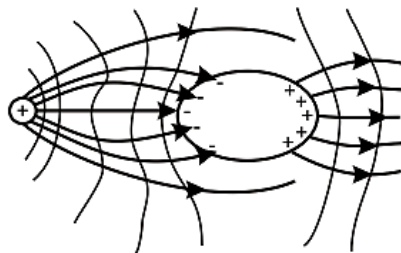
36-rasm. Metall sharning elektrostatik maydonni deformasiyalashi

37-rasmda esa, nuqtaviy zaryad hosil qilgan elektrostatik maydonga kiritilgan o'tkazgichning bu maydonni qanday deformasiyalashi ko'rsatilgan.

Musbat va manfiy zaryadlar qutbi hosil bo'lgani uchun ekvipotensial chiziqlar o'tkazgich sirti shakliga bog'liq. Ammo, o'tkazgichga kiruvchi va chiqayotgan kuch

chiziqlarining soni teng bo'lgani uchun o'tkazgich ichidagi zaryadlarning algebraik yig'indisi nolga teng bo'ladi.

Tashqi elektrostatik maydon ta'sirida o'tkazgichda zaryadlarni siljishi yoki manfiy va musbat qutblarni hosil bo'lishi ekvipotensial sirtlar paydo bo'lguncha davom etadi.



37-rasm. O'tkazgichning nuqtaviy zaryad elektrostatik maydonini deformasiyalashi

Tashqi elektrostatik maydonning kuch chiziqlari o'tkazgich sirti bo'yicha induksiyalangan manfiy zaryadlarda tugaydi. Kuch chiziqlari yana sirtqi musbat zaryadlarda davom etadi. Ammo, o'tkazgich ichida kuch chiziqlari yo'q bo'lgani uchun o'tkazgich ichida elektr maydoni bo'lmaydi.

Zaryadlarning sirt bo'yicha qayta taqsimlanishi ya'ni, manfiy va musbat qutblar hosil bo'lishi, **elektrostatik induksiya hodisasi** deb ataladi.

O'tkazgich ichida elektr maydon bo'lmasligi sirtqi zaryadlarning teng taqsimlanganidan kelib chiqadi. Bu hol elektrostatik himoya yoki **moddalarning ekranlashishi** deb ataladi.

Sirtqi zaryadlarning mavjudligi o'tkazgich ichida maydon bo'lmasligiga sabab bo'ladi, ya'ni tashqi elektr maydon ta'sirini yo'qqa chiqaradi.

Takrorlash uchun savollar

1. Elektrostatik maydon kuchining bajargan ishi yo'lning traektoriyasiga bog'liq bo'ladimi?
2. Yopiq konturda bajarilgan ish nimaga teng bo'ladi?
3. Potensial maydon qanday maydon?
4. Maydon potentsiali deganda nimani ushunasiz.
5. Maydon potentsiali formulasini keltirib chiqaring.
6. Potensiallar ayirmasini tushuntiring.
7. Elektr maydon kuchlanganligi potensial bilan bog'langan formulasini ayting.
8. Ekvipotensial sirtlar nima?
9. Induksiyalangan zaryadlar qanday paydo bo'ladi?
10. Elektrostatik induksiya hodisasi deganda nimani tushunasiz.
11. Moddalarning ekranlashishi nima?

9-Ma'ruza
Elektr sig'imi va kondensatorlar
Elektrostatik maydon energiyasi
Reja:

1. Elektr sig'imi
2. Sharchaning elektr sig'imi
3. Kondensatorlar. Sferik kondensator. Silindrik kondensator
4. Elektrostatik maydon energiyasi
5. Yakkalangan zaryadli o'tkazgich energiyasi

Tayanch iboralar: zaryad zichligi, elektr sig'imi, yakkalangan shar, kondensator sig'imi, yassi, sferik, silindrik kondensatorlar, elektrostatik maydon, zaryadlar potensial energiyasi, zaryadlangan kondensator energiyasi,

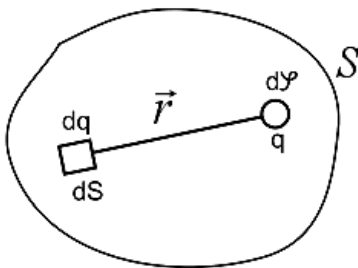
1. Elektr sig'imi

Yakkalangan o'tkazgich zaryadlansa, o'tkazgich sirti shakliga qarab, zaryad har xil sirt zaryad zichligi σ bilan taqsimlanadi. Shuning uchun ham o'tkazgich har bir nuqtasidagi sirtqi zaryadning zichligi o'tkazgichdagi umumiy zaryad q ga proporsionaldir, ya'ni:

$$\sigma = kq \quad (9.1)$$

bu erda k – o'tkazgich sirtidagi tekshirilayotgan nuqtaning funksiyasi bo'lib, o'tkazgich sirtining shakli va o'lchamiga bog'liq.

Zaryadlangan o'tkazgich ekvipotensial sirtining φ - potensialini aniqlash uchun uning butun S sirti bo'ylab zaryadini aniqlaymiz (38-rasm).



38-rasm. dq - zaryadning r masofadagi potentsiali

Bu sirtni, $dq = \sigma dS$ zaryadga ega bo'lgan dS – elementar yuzachalarga ajratib, dq – ni nuqtaviy zaryad deb hisoblaymiz.

Nuqtaviy dq zaryadning r masofadagi maydon potentsiali quyidagiga teng bo'ladi.

$$d\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\sigma dS}{r} \quad (9.2)$$

yoki

$$d\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{k \cdot q \cdot dS}{r} \quad (9.3)$$

Bu ifoda butun sirt bo'yicha integrallansa, zaryadlangan o'tkazgich sirtining potentsiali ifodasiga ega bo'lamiz.

$$\varphi = \oint_S \frac{k \cdot q \cdot dS}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon} \oint_S \frac{k \cdot dS}{r} \quad (9.4)$$

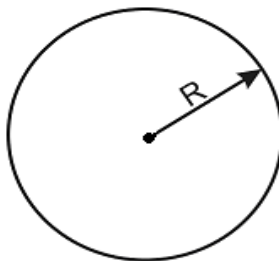
O'tkazgichning potentsiali q zaryadga proporsional bo'ladi. SHu zaryadning potentsialga nisbati o'zgarmas kattalikdir, u o'tkazgichning zaryad to'plash xususiyatini belgilaydi va **o'tkazgichning elektr sig'imi** deb ataladi.

$$C = \frac{q}{\varphi} = \frac{4\pi\epsilon_0 \epsilon}{\oint_S \frac{k \cdot dS}{r}} \quad (9.5)$$

SHunday qilib, yakka zaryadlangan o'tkazgichning **elektr sig'imi** deb, uning potentsialini bir birlikka o'zgartirish uchun zarur bo'lgan zaryadga miqdor jihatdan teng fizik kattalikka aytiladi.

2. Sharchaning elektr sig'imi

R radiusli yakka zaryadlangan shar q – zaryadga ega bo'lsin (39-rasm).



39-rasm. R radiusli yakka zaryadlangan shar

Uning – sirtidagi potentsiali quyidagiga teng bo'ladi:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R} ,$$

bu erda

$$C = \frac{q}{\varphi} = \frac{q 4\pi\epsilon_0 \epsilon \cdot R}{q} = 4\pi\epsilon_0 \epsilon \cdot R \quad (9.6)$$

Shunday qilib, sharning S – elektr sig'imi sharning radiusiga va muhitning dielektrik singdiruvchanligi ϵ ga proporsionaldir.

(27.6) – ifodadan muhitning dielektrik singdiruvchanligini aniqlaymiz.

$$\epsilon = \frac{C}{4\pi\epsilon_0 R} \quad (9.7)$$

Elektr sig'imi XB tizimida Farada bilan o'lchanadi va bu birlik juda katta o'lchov birligi hisoblanadi.

$S = 1 F$ deb hisoblasak, $\epsilon = 1$ bo'lganda

$$R_{1\Phi} = \frac{C}{4\pi\epsilon_0\epsilon} = \frac{1\Phi}{4\pi \cdot 1} \left(\frac{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9}{1} \cdot \frac{M}{\Phi} \right)$$

bu erda

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\Phi}{M} = 0,885 \cdot 10^{-11} \frac{\Phi}{M}$$

ga teng bo'lgan uchun

$$R_{1\Phi} = 9 \cdot 10^9 M = 9 \cdot 10^6 \text{ км}$$

ga teng.

Bu Oy bilan Yer orasidagi masofaga nisbatan 23 marta kattadir.

Farada katta o'lchov birligi bo'lganligi uchun quyidagi kichik birliklar ishlatiladi:

$$1 \text{ микрофарада (МКФ) } = 10^{-6} \Phi$$

$$1 \text{ нанофарада (НФ) } = 10^{-9} \Phi$$

$$1 \text{ пикофарада (ПФ) } = 10^{-12} \Phi$$

3. Kondensatorlar

Elektr sig'imining formulasi quyidagidan iborat bo'lgani uchun

$$C = \frac{q}{\varphi},$$

sig'im asosan, o'tkazgichning shakli va o'lchamlariga hamda muhitning dielektrik singdiruvchanligiga proporsionaldir.

Amalda, nisbatan kichik o'lchamlariga qaramay, etarlicha zaryadlarni o'zida yig'a oladigan qurilmalar **kondensatorlar** deb ataladi.

Kondensator ikkita parallel o'tkazgich qatlamidan iborat bo'lib, ularda qarama-qarshi ishorali zaryadlar to'planadi. Ular orasida dielektrik moddasi bo'ladi.

Kondensator qoplamalari ikkita yassi plastinkadan, ikkita koaksial silindrdan yoki ikkita konsentrik sferadan iborat bo'lishi mumkin va ular shakliga binoan **yassi**, **silindrik** yoki **sferik kondensatorlar** deb ataladi.

Odatda kondensatordagi elektr maydon kuch chiziqlari bir qoplamada boshlanib, ikkinchisida tugaydi.

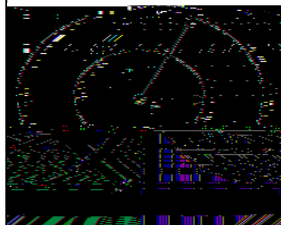
Kondensator sig'imi qoplamalardagi zaryad miqdoriga to'g'ri proporsional va qoplamalar orasidagi potentsiallar farqiga teskari proporsionaldir.

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} \quad (9.8)$$

40-rasmda tasvirlangan.



40-rasm. Yassi kondensator



41-rasm. Sferik kondensator

S – yuzali ikkita yassi metall plastinkalar orasidagi masofani d ga teng deb hisoblaymiz, qoplamalarda esa $-q$ va $+q$ sirt zaryadlari induksiyalangan bo`ladi. Qoplamalar orasidagi elektr maydonini bir jinsli deb hisoblaymiz.

Qoplamalar orasida ϵ dielektrik singdiruvchanlikka ega bo`lgan modda bo`lsa, potentsiallar farqi quyidagiga teng bo`ladi:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\sigma d}{\pi \epsilon_0 \epsilon} \quad (9.9)$$

bu erda $Q = \sigma \cdot S$, σ - sirt zaryadi zichligi, S – qoplamalar yuzasi. Natijada, yassi kondensator sig`imi quyidagiga teng bo`ladi.

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 q}{\sigma d} = \frac{\epsilon \epsilon_0 \delta \cdot S}{\sigma d} = \epsilon_0 \epsilon \frac{S}{d} \quad (9.10)$$

4. Sferik kondensator

Qoplamalar radiusi r_1 va r_2 bo`lgan sferik kondensator 41-rasmda tasvirlangan.

Kondensator qoplamalarida q zaryad induksiyalangan bo`lganda, ular orasidagi potentsiallar farqi quyidagicha ifodalanadi :

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 \epsilon} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (9.11)$$

bu erda r_1 va r_2 ichki va tashqi sferik qoplamalar radiuslaridir. SHuning uchun sig`im quyidagicha ifodalanadi

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = 4\pi \epsilon_0 \epsilon \left(\frac{r_1 \cdot r_2}{r_2 - r_1} \right) \quad (9.12)$$

Agarda r_2 tashqi radius va r_1 ichki radiusdan juda katta bo`lsa, (9.12) – ifoda soddalashadi:

$$C = 4\pi \epsilon_0 \epsilon r_1 \quad (9.13)$$

Bu natija tashqi qoplama sferik bo`lmaganda (am o`rinli bo`lgaji uchun, (9&11) – ifmdPni yakka langan shar rig`imi deb hisxbdaladi.

Agarda $r_1 - r_2 = d$ – qoplamalar orasidagi masofa qoplamalarning o`rtacha radiusidan juda kichik bo`lsa,

$$C = 4\pi \epsilon_0 \epsilon \cdot \frac{r_1 \cdot r_2}{r_2 - r_1} \approx 4\pi \epsilon_0 \epsilon \frac{r^2}{d} = \epsilon_0 \epsilon \frac{S}{d}$$

bu erda $S = 4\pi r^2$ – qoplamalar sirti yuzasidir.

5. Silindrik kondensator

Bu holda kondensatorni radiuslari r_1 (ichki) va r_2 (tashqi) ikkita koaksi0l silindrdan iborat bo`ladi, deb hisoblaymiz. Silindrlarning uzunligi ular orasidagi masofadan juda katta deb hisoblanadi.

Qoplamalar orasidagi ptkensiallar farqi quyidagidan ibkrat "o`ladi:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{2\pi\epsilon_0\epsilon\lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (1.14)$$

bu er\$a q - silindr urunligidagi zaryad, $\frac{q}{\lambda}$ - birlik uzunlikdagi zaryad va λ - silindr uzunligidir.

Birlik uzunlikka to`g`ra keluvchi si\$indrik kondensator sig`imi quyidaf`dan iboratdir:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon\lambda}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (9.15)$$

Boshqa tarafdin, (9.15) – ifoda metall sim izolyator qatlami bilan o`ralgan kabel` sig`imini eslatadi.

Qoplamalar orasidagi masofa d , silindrlar radiuslariga nisbatan juda kichik bo`lsa, bu holda silindrik kondensator sig`imi quyidagidan iborat bo`ladi:

$$C = \epsilon\epsilon_0 \frac{S}{d} \quad (9.16)$$

6. Elektrostatik maydon energiyasi

Elektrostatik maydon – potensial maydondir. Shuning uchun unga kiritilgan zaryadlar potensial energiyaga egadirlar.

q_1 va q_2 nuqtaviy zaryadlarning potensial energiyalarini baholaymiz. Har bir zaryad, boshqa zaryad maydonida potensial energiyaga ega bo`ladi.

$$W_1 = q_1 \cdot \varphi_{12} \quad , \quad W_2 = q_2 \cdot \varphi_{21} \quad (10.1)$$

φ_{12} - q_2 – zaryadning q_1 zaryad turgan joyda hosil qilgan potensialidir,

φ_{21} - q_1 – zaryadning q_2 zaryad turgan joyda hosil qilgan potensialidir.

$$\varphi_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{q_2}{r} \quad , \quad \varphi_{21} = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}$$

shuning uchun

$$W_1 = W_2 = W$$

$$W = q_1 \cdot \varphi_{12} = q_2 \cdot \varphi_{21} = \frac{q_1 \cdot \varphi_{12} + q_2 \cdot \varphi_{21}}{2}$$

7. Yakkalangan zaryadli o`tkazgich energiyasi

O'tkazgich q - zaryadga, S – sig'iiga va φ - potensialga ega bo'lsin. O'tkazgich zaryadini dQ ga oshiramiz. Unin' 5chun cheksizlikdan, (ya'ni $\varphi = 0$ bo'lgan joydan) dq zaryadni o'tkazgichga ko'chiramiz. Bu holda bajarilgan ish

$$dA = \varphi \cdot dq = \varphi \cdot C \cdot d\varphi$$

ga teng bo'ladi, chunki

$$q = C\varphi, \quad dq = C \cdot d\varphi.$$

To'la bajarilgan ish

$$A = \int_0^{\varphi} C \cdot \varphi d\varphi = C \int_0^{\varphi} \varphi d\varphi = C \frac{\varphi^2}{2} \quad (10.2)$$

$$W = A = \frac{C \cdot \varphi^2}{2} = \frac{q \cdot \varphi}{2} = \frac{q^2}{2C} \quad (10.3)$$

Zaryadlangan kondensator energiyasi

$$W = \frac{C(\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2} = \frac{C(\Delta\varphi)^2}{2} = \frac{q \cdot \Delta\varphi}{2}$$

ga tengdir.

Takrorlash uchun savollar:

1. Elektb sig'imi nima, u qanday kattaliklarga bog'liq?
2. Imndensator va unibg vazifasini tushujtiring.
3. Qanday jondensatnr turla2ini bilasiz.
4. Turli kondensatorlar uchun sig'im fopmulalarini keltirib chiqaring.
5. Elektrostatik maydon qanday maydon?
6. Elek4rostatik maydon energiyasini h)so"laqh formulalarini keltirib chiqaring.
7. Yakkalangan zaryadli o'tkazgich energiyasi qanday bo'lada?
8. Zaryadlangan kofdensator e.ergiyasi ko'rsating.
9. Silindrik kondensator vazifasini tushuntiring
10. Sferik kondensator vazifasini tushuntiring

10-Ma'ruza

O'zgarmas elektr toki Kirxgof qoidalari

Reja:

1. Elektr toki
2. Om va Djoul'-Lens qonunlarining differensial va integral ifodalari
3. Murakkab zanjirlar
4. Kirxgofning birinchi qoidasi
5. Kirxgofning ikkinchi qoidasi

Tayanch iboralar: elektr zaryadi, tok kuchi, o'zgarmas tok, tok kuchining zichligi, elektrga yot kuchlar, tok manbalari, Om qonunining differensial ko'rinishi, tarmoqlanish tugunlari, natijaviy tok, toklarning algebraik yig'indisi.

1. Elektr toki

Agar o'tkazgichning ikki nuqtasi orasidagi potentsiallar ayirmasi doimiy saqlansa ($\varphi_1 - \varphi_2 = \text{const}$), o'tkazgich ichida noldan farqli maydon hosil bo'ladi. Bu maydon o'tkazgichdagi erkin zaryadlarning bir tomonga yo'nalgan tartibli harakatini yuzaga keltiradi. Bu holda musbat zaryadlar o'tkazgichning katta potentsiilli nuqtasidan kichik potentsiilli nuqtasiga, manfiy zaryadlar esa, aksincha harakatlanadilar.

Elektr zaryadining tartibli harakatiga **elektr toki** d6b aytiladi.

□ El6jtr t6xcini metaldarda erkin elektronlarning, elektrolitlarda musbat va manfiy ionlarning, gazlarda esa musbat, manfiy ionlar va elektronlarning harajati hosil qiladi.

Tok kuchi deb, o'tkazgichning ko'ndalang kesimi yuzasidan vaqt birligi ichida o'tgan elektr zaryadiga miqdor jihatdan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi.

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (10.1)$$

Tokning kuchi va yo'nalishi vaqt o'tishi bilan o'zgarmay qoladigan bo'lsa, uni **o'zgarmas tok** deb ataladi:

$$I = \frac{q}{t} \quad (10.2)$$

XB tizimida tok kuchining birligi Amper (A) bilan o'lchanadi. 1 Amper – o'tkazgichning ko'ndalang kesimidan 1 sekund ichida 1 Kulon zaryad miqdori o'tishini ko'rsatuvchi kattalikdir.

Agar tok kuchi o'tkazgichning ko'ndalang kesimi bo'yicha bir jinsli bo'lmasa, u holda o'tkazgichning ko'ndalang kesimi bo'yicha tok kuchining taqsimlanishini ifodalash uchun tok kuchining zichligi deb ataluvchi fizik kattalik tushunchasi kiritiladi.

$$j = \frac{dI}{dS_{\perp}} = \frac{dI}{dS \cos \alpha} \quad (10.3)$$

bu erda α - dS yuza bilan unga o'tkazilgan $\vec{n}$ normal orasidagi burchakdir. Bu ifodadan o'tkazgichning ixtiyoriy yuzasidan o'tayotgan tok kuchini hisoblab topish mumkin

$$I = \int_S j dS_{\perp} = \int_S j dS \cos \alpha \quad (10.4)$$

Tok kuchining zichligi deb, o'tkazgichning bir birlik ko'ndalang kesim yuzasidan o'tgan tok kuchiga miqdor jihatdan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi.

O`tkazgichning ichida, Kulon kuchi hosil qilgan maydonning kuchlanganligi  $\vec{E}$ , o`tkazgichning ikki uchidagi potentsiallar farqi yo`qolguncha saqlanadi. Demak, zanjirda uzluksiz o`zgarmas tok o`tib turishi uchun, Kulon kuchidan tashqari potentsiallar farqini hosil qiluvchi tashqi noelektrik kuchlar mavjud bo`lishi zarur. Bunday kuchlarni **elektr yurituvchi kuchlar** deb ataymiz.

Elektrga yot kuchlar uzluksiz tokni ta`minlab turishi uchun har xil ishorali zaryadlarni ajratib, potentsiallar farqini doimiy saqlab turadi. Bunday elektrga yot kuchlarni elektr energiya manbalari (gal`vanik elementlar, akkumulyatorlar, elektr generatorlari) etkazib turadi.

Elektrga yot kuchlarni hosil qiluvchi qurilmalar **tok manbalari** deb ataladi.

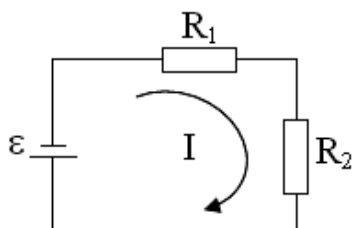
Tok manbalari ichida elektrga yot kuchlarning ish bajarishi natijasida, u yoki bu energiya turi elektr energiyaga aylanadi. SHu sababli bu kuch elektr yurituvchi kuch (**EYUK**) deb ataladi.

$$\mathcal{E} = \frac{A}{q} \quad (10.5)$$

Manbaning **EYUK** zanjir ochiq bo`lganda, uning qutblaridagi potentsiallar ayirmasiga teng bo`ladi va Vol`tlarda o`lchanadi.

2. Om va Djoul`-Lens qonunlarining differensial va integral ifodalari

Elektrga yot kuchlar ta`sir etmaydigan zanjirning qismi bir jinsli o`tkazgich deb ataladi (R_1, R_2) (42-rasm).

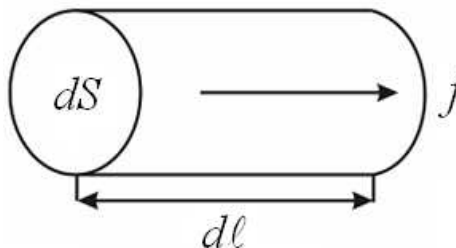


42-rasm. Ikkita bir jinsli qarshilikdan iborat elektr zanjiri

Om qonuniga asosan, bir jinsli o`tkazgichdan o`tayotgan tok kuchi kuchlanishga to`g`ri proporsional, o`tkazgich qarshiligiga teskari proporsionaldir.

$$I = \frac{U}{R} \quad (10.6)$$

bu erda R – o`tkazgichning elektr qarshiligi. Bir jinsli silindrik o`tkazgich uchun (43-rasm).



43-rasm. Bir jinsli silindrik o`tkazgich

$$R = \rho \cdot \frac{\lambda}{S} \quad (10.7)$$

bu erda λ - o`tkazgich uzunligi,  $S$  – uning ko`ndalang kesimi yuzasi, ρ - o`tkazgichning solishtirma elektr qarshiligidir.

Misol qilib - tok zichligi – $\vec{j}$ va maydon kuchlanganligi $\vec{E}$ yoʻnalishlari mos boʻlgan, uzunligi $d\lambda$ ga teng silindrik oʻtkazgichni olamiz (43-rasm). Oʻtkazgichning koʻndalang kesimi yuzasidan oqib oʻtuvchi tok kuchi

$$I = j dS \quad (10.8)$$

ga teng. Oʻtkazgichning qarshiligini $\rho \cdot \frac{d\lambda}{dS}$ va undagi kuchlanish tushishini

$$U = Ed\lambda \quad (10.9)$$

deb olsak, bu holda Om qonunini shunday ifodalasak boʻladi

$$j dS = \frac{Ed\lambda dS}{\rho d\lambda} \quad \text{yoki} \quad j = \frac{1}{\rho} \cdot E$$

Tok zichligi va maydon kuchlanganligi yoʻnalishlari bir xil boʻlgani uchun

$$\vec{j} = \frac{1}{\rho} \vec{E} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (10.10)$$

bu erda σ - oʻtkazgichning solishtirma oʻtkazuvchanligi. Bu ifoda **Om qonunining differensial koʻrinishi** deb ataladi. Tok kuchi qarshilikdan oʻtayotganda, uning energiyasi oʻtkazgichni qizitishga sarf boʻladi

$$Q = I \cdot U \cdot t = I \cdot I \cdot R \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t \quad (10.11)$$

bu ifoda Djoul`-Lens qonuni deb ataladi.

Agar, tok kuchi vaqt boʻyicha oʻzgarsa, u holda t – vaqt ichida ajralib chiqayotgan issiqlik miqdori quyidagicha hisoblanadi

$$Q = \int_0^t I^2 R dt \quad (10.12)$$

Elementar hajmda $dV = d\lambda \cdot dS$ ajralib chiqayotgan issiqlik miqdori quyidagicha hisoblanadi.

$$dQ = RI^2 dt = \rho \frac{d\lambda}{dS} (j \cdot dS)^2 \cdot dt = \rho d\lambda \cdot dS \cdot j^2 dt$$

$$dQ = \rho \cdot j^2 \cdot dV \cdot dt \quad (10.13)$$

bu erdan birlik xajmdan birlik vaqt ichida ajralib chiqayotgan issiqlik miqdorini topamiz.

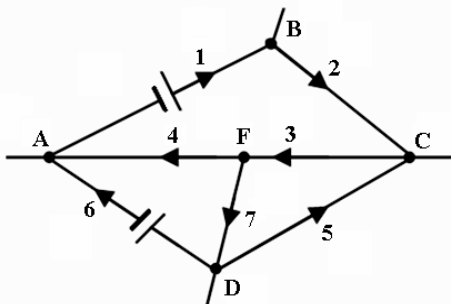
$$Q_{\text{col.}} = \frac{dQ}{dV \cdot dt} = \rho \cdot j^2 = \rho \cdot (\sigma^2 \cdot E^2)$$

$$Q_{\text{col.}} = \sigma \cdot E^2 \quad (10.14)$$

Bu ifoda Djoul`-Lens qonunining differensial koʻrinishidir.

3. Murakkab zanjirlar

Amalda murakkab tarmoqlangan zanjirlar bilan ishlashga to'g'ri keladi. 44-rasmda shunday tarmoqlangan zanjir tasvirlangan.



44-rasm. Murakkab elektr zanjirida o'tkazgichlarning tutashish nuqtalari

Bu zanjirda 7 ta zanjir qismlari va beshta A, B, C, D, F tarmoqlanish tugunlari mavjud bo'lib, bu nuqtalarda 3 tagacha o'tkazgichlar (simlar) tutashadi. Zanjirning 7 ta qismlari tarkibida $r_1, r_2, \dots, r_7$ qarshiliklar va $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_7$ manbalar mavjuddir.

Zanjirning barcha qismlarida tok kuchini hisoblashga harakat qilamiz. Tarmoqlanish tugunlaridan 7 - sini olamiz. Bu nuqtada i_3, i_4, i_7 toklar oqadigan 3, 4 va 7 zanjirning qismlari tutashadi. 7 - nuqtaga keluvchi i_3 tokning ishorasini musbat, nuqtadan tarqaluvchi i_4 va i_7 toklar ishorasini manfiy, deb hisoblaymiz.

Birlik vaqt ichida 7 – tugunga keluvchi zaryadlar miqdori yuqorida keltirilgan toklarning algebraik yig'indisiga tengdir $i_3 - i_4 - i_7$. Agarda zanjirda toklar doimiy bo'lsa, natijaviy tok nolga teng bo'ladi, chunki, aks holda kuzatilayotgan nuqta potentsiali vaqt bo'yicha o'zgargan bo'lar edi. Bu qoida zanjirning barcha tarmoqlanish nuqtalariga taalluqlidir.

4. Kirxgofning birinchi qoidasi

Shu sababli, elektr zanjirning tuguniga keluvchi toklarning algebraik yig'indisi tugundan chiquvchi toklarning algebraik yig'indisiga teng bo'ladi va shu nuqtadagi natijaviy tok qiymati nolga teng bo'ladi:

$$\sum_{i=1}^n i_k = 0 \quad (10.15)$$

Bu ifoda *Kirxgofning birinchi qoidasi* deb ataladi.

5. Kirxgofning ikkinchi qoidasi

Murakkab elektr zanjirning A B C F A yopiq konturini olamiz. Uning alohida qismlariga zanjirning bir qismi uchun Om qonunini qo'llaymiz. U holda A va V nuqtalar potentsiallar farqi uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

$$U_{AB} = U_A - U_B = i_1 r_1 - \mathcal{E}_1$$

Zanjirning boshqa qismlariga ham qo'llasak:

$$U_B - U_C = i_2 r_2 - \mathcal{E}_2,$$

$$U_C - U_F = i_3 r_3 - \mathcal{E}_3,$$

$$U_F - U_A = i_4 r_4 - \mathcal{E}_4$$

Bu tengliklarni hadma-had qo'shsak, chap tarafdagi hadlar yig'indisi nolga teng bo'ladi, u holda

$$i_1 r_1 + i_2 r_2 + i_3 r_3 + i_4 r_4 = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4$$

Elektr zanjirning istalgan yopiq konturi uchun shunday munosabatga ega bo'lamiz.

$$\sum_{i=1}^n I_i \cdot R_i = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i \quad (10.16)$$

Bu *Kirxgofning ikkinchi qoidasi* deb ataladi va uni shunday ta'riflash mumkin: tarmoqlangan elektr zanjirning ixtiyoriy yopiq konturi qismlaridagi tok kuchlarining mos ravishda qarshiliklarga ko'paytmalarining algebraik yig'indisi, shu konturdagi EYUKlarning algebraik yig'indisiga tengdir.

Takrorlash uchun savollar:

1. Elektr toki nima?
2. Tok kuchi deganda nimani tushunasiz.
3. O'zgarmas tok deb qanday tokka aytiladi.
4. Tok kuchining zichligi nima?
5. Qanday kuchlar elektr yurituvchi kuchlar deyiladi.
6. Tok manbalari vazifasi nima?
7. Om qonuniga tarifini ayting.
8. Djoul'-Lens qonuni tushuntirib bering.
9. Murakkab zanjirlarni tushuntiring.
10. Kirxgofning birinchi qoidasi nimani tushuntiradi.
11. Kirxgofning ikkinchi qoidasini tushuntiring.

ELEKTROMAGNETIZM

11-Ma'ruza

Magnit maydoni va uning kattaliklari

Reja:

1. Magnit maydoni induksiyasi
2. Lorens kuchi
3. Amper qonuni
4. Magnit maydonidagi tokli konturlarning turli hollari
5. Magnit maydon induksiyasi uchun Gauss teoremasi
6. Magnit maydonida bajarilgan ish formulasi.

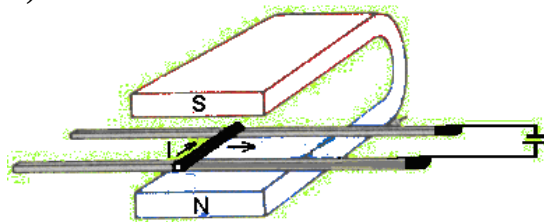
Tayanch iboralar: juft kuchlar, yassi kontur, aylanish momenti, maydon induksiya vektori, tokning magnit momenti, magnit induksiya chiziqlari, magnit qutblari, parallel o'tkazgichlar, magnit doimiysi, maydon induksiyasi, Amper qonunining differensial ko'rinishi, chap qo'l qoidasi, parma qoidasi

1. Magnit maydoni induksiyasi

Magnitlarning va toklarning o'zaro ta'sirini uchta tajriba orqali ko'rib chiqamiz:

1. Tok magnit strelkasi ustida joylashgan to'g'ri o'tkazgich bo'ylab o'tayotgan bo'lsin. Bunda, magnit strelkasiga tokning yo'nalishiga bog'liq bo'lgan juft kuchlar ta'sir etadi va magnit strelkasi tokli o'tkazgichga perpendikulyar holda joylashadi.

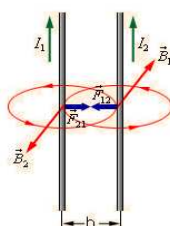
2. Tok ikkita o'tkazgichni tutashtirib, uning ustida erkin dumalay oladigan silindr orqali o'tayotgan bo'lsin (45-rasm).



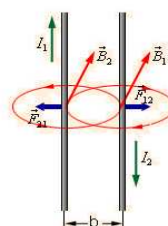
45-rasm. Magnit maydonida erkin harakatlanadigan tokli silindrik o'tkazgich

Silindr doimiy magnit qutblari orasiga joylashtirilgan bo'lib, silindrni harakatga keltiruvchi kuch tok yo'nalishiga va magnit qutblarining joylashishiga bog'liq bo'ladi.

3. Tok o'tayotgan ikkita parallel o'tkazgichlar, ulardagi tok yo'nalishlari bir xil bo'lganda tortishadi, tok yo'nalishlari qarama-qarshi bo'lganda itarishadi (46-47-rasmlar).



46-rasm. Tok yo'naliylari bir xil bo'lgan o'tkazgichlar orasidagi ta'sir etuvchi kuchlar



47-rasm. Tok yo'nalishlari har xil bo'lgan o'tkazgichlar orasidagi ta'sir etuvchi kuchlar

I_1 va I_2 tok o'tayotgan bo'lsa, o'tkazgichning λ uzunlikdagi bo'lagiga ta'sir etuvchi kuchni Xalqaro birliklar tizimida (XBT) quyidagi formula orqali ifodalash mumkin

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1 I_2 \lambda}{b} \quad (11.1)$$

bu erda μ_0 – magnit doimiysidir.

Tok kuchi 1 Amper bo'lganda, 1 sekund ichida o'tkazgichning ko'ndalang kesimi yuzasidan o'tayotgan zaryad miqdori 1 Kulonga teng bo'ladi. Agar $I_1 = I_2 = 1A$, $\lambda = b = 1$ m bo'lsa, u holda,

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1 I_2 \lambda}{b} \quad (11.2)$$

ifodadan magnit doimiysini hisoblash mumkin

$$\mu_0 = \frac{4\pi b \cdot F}{2I_1 I_2 \lambda} = \frac{12,56 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1} \frac{H}{A^2} = 12,56 \cdot 10^{-7} \frac{H}{A^2} \quad (11.3)$$

Yaqindan ta'sir nazariyasiga ko'ra, har qanday tokli o'tkazgich (yoki harakatlanuvchi zaryad) qo'shni nuqtalarda, ya'ni o'z atrofida magnit maydonini hosil qiladi.

XB – tizimida magnit maydon induksiyasi «Tesla» (Tl) bilan o'lchanadi va u 1 $N/A.m$ ga tengdir.

2. Lorens kuchi

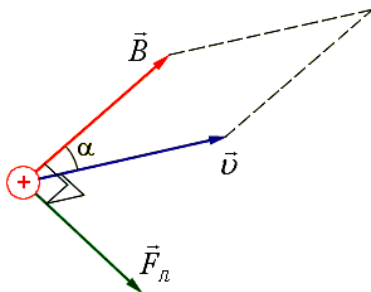
Elektr maydon kuchlanganligi $\vec{E}$ va magnit maydon induksiyasi $\vec{B}$ bo'lgan nuqtada v - tezlik bilan harakatlanayotgan q zaryadga ta'sir etuvchi kuch – *Lorens kuchi* deb ataladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$\vec{F}_L = q(\vec{E} + [\vec{v}, \vec{B}]) \quad (11.4)$$

Faqat magnit kuchi bo'lgan holda:

$$\vec{F}_m = q[\vec{v}, \vec{B}] \quad (11.5)$$

ga teng bo'ladi.

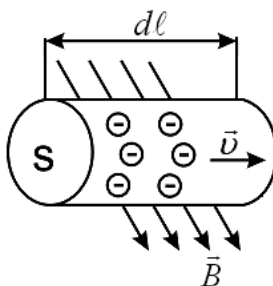


49-rasm. Harakatlanayotgan zaryadga ta'sir etuvchi Lorens kuchi

49-rasmda zaryadning harakat tezligi yo'nalishi va magnit maydon induksiyasi vektorining yo'nalishi yotgan tekislikka perpendikulyar bo'lgan $\vec{F}_L$ - Lorens kuchining yo'nalishi keltirilgan.

3. Amper qonuni

Induksiyasi $\vec{B}$ bo'lgan magnit maydoniga, uzunligi $d\lambda$, ko'ndalang kesim yuzasi S va I – tok o'tayotgan o'tkazgich joylashtirilgan bo'lsin (50-rasm).



50-rasm. $\vec{v}$ induksiya magnit maydonida o'tkazgich

O'tkazgichning birlik hajmida n_0 – elektronlar bo'lib, ular o'rtacha v - tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsa, ularning har biriga shunday kuch ta'sir qiladi:

$$\vec{f} = -e[\vec{v}, \vec{B}] \quad (11.6)$$

Barcha elektronlarga ta'sir etuvchi kuch:

$$d\vec{F} = -n_0 S \cdot d\lambda \cdot [\vec{v} \cdot \vec{B}] \cdot e$$

bo'ladi.

Agarda $d\vec{\lambda}$ vektori $\vec{v}$ - tezlik yo'nalishiga teskari deb hisoblasak

$$d\vec{F} = +n_0 S v e [d\vec{\lambda} \cdot \vec{B}] \quad (11.7)$$

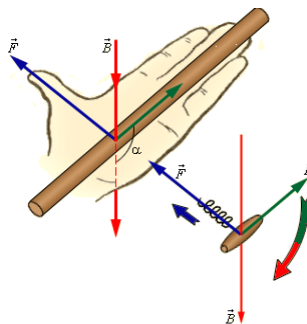
Bu Amper qonunining differensial ko'rinishidir.

Agar o'tkazgich to'g'ri chizikli va o'tkazgichning butun λ uzunligi bo'yicha $B = \text{const}$ bo'lsa, shu o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuch quyidagicha ifodalanadi:

$$\vec{F} = I[\vec{\lambda}, \vec{B}] \quad (11.8)$$

Bu Amper qonunining integral ifodasidir.

Lorens kuchining yo'nalishi chap qo'l qoidasi yoki parma qoidasi bilan aniqlanadi (51-rasm).



51-Rasm. Chap qo'l qoidasi

Magnit maydon induksiyasi $\vec{B}$ chap qo'lining kaftiga tik yo'nalgan, zaryadning harakat yo'nalishi ko'rsatkich barmoq yo'nalishida bo'lsa, zaryadga ta'sir qiluvchi Lorens kuchi bosh barmoq yo'nalishida bo'ladi.

4. Magnit maydonidagi tokli konturlarning turli hollari

Magnit maydonidagi tokli konturlarning asosan quyidagi hollari mavjud:

- 1-hol. $\vec{B}$ magnit induksiya vektori kontur tekisligiga parallel
- 2-hol. 1-hol. $\vec{B}$ magnit induksiya vektori kontur tekisligiga perpendikulyar
- c) Umumiy hol

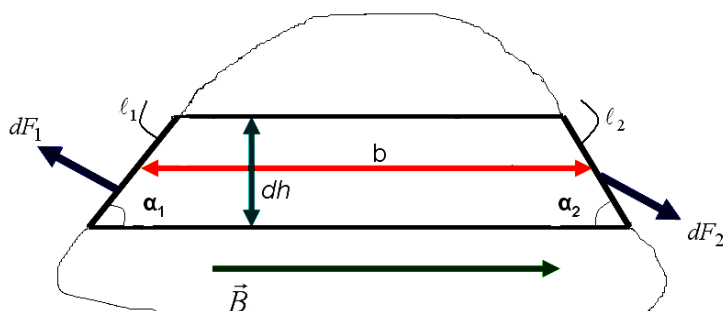
Induksiya vektori $\vec{B}$ bo'lgan bir jinsli magnit maydoniga I tokli yassi kontur joylashtirilgan (52-rasm).

1-hol. $\vec{B}$ magnit induksiya vektori kontur tekisligiga paralleldir.

O'tkazgichning $d\lambda_1$ va $d\lambda_2$ kesmalar bilan ajratilgan dh , qismini ajratib olaylik. Amper qonuniga binoan ularga qarama-qarshi yo'nalgan juft kuchlar ta'sir etadi. Kesmalarga ta'sir etuvchi kuchlar quyidagicha aniqlanadi.

$$dF_1 = IBd\lambda_1 \sin \alpha_1 = IB \cdot dh \quad (11.9)$$

$$dF_2 = IBd\lambda_2 \sin \alpha_2 = IBdh \quad (11.10)$$



52-rasm. Yassi kontur tekisligiga parallel bo'lgan magnit maydonining ta'siri

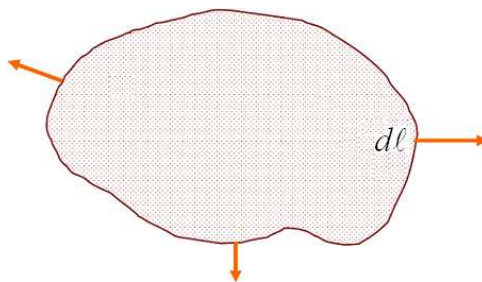
Bu kuchlar qarama-qarshi yo'nalgan va aylanish momentini tashkil etuvchi juft kuchlardir:

$$dM = dF_1 \cdot b = IB \cdot b \cdot dh = IB \cdot dS$$

Bu erda b - bo'lakning uzunligi, dS - esa uning yuzasi. Agar butun kontur yuzasini parallel bo'lakchalarga bo'lsak va ularga ta'sir etuvchi juft kuchlarning kuch momentlarini yig'ib chiqsak, butun konturga qo'yilgan natijaviy kuch momentini hosil qilamiz:

$$M = \int IB \cdot dS = IB \cdot \int dS = IB \cdot S \quad (11.11)$$

2-hol. Magnit maydon induksiya vektori kontur tekisligiga perpendikulyar joylashgan (53-rasm).



53-rasm. Yassi konturga uning tekisligiga perpendikulyar bo'lgan magnit maydonining ta'siri

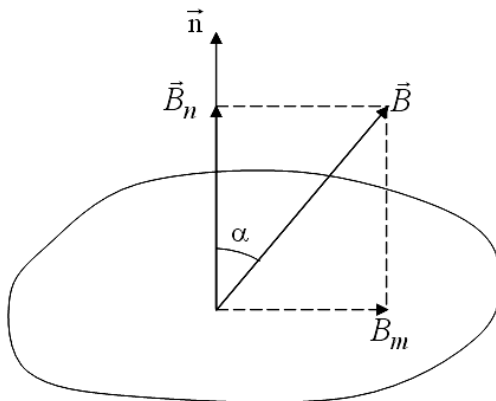
Konturning istalgan kichik bo'lagi ($d\vec{\lambda}$) ga ta'sir etuvchi kuch

$$d\vec{F} = I[d\vec{\lambda} \cdot \vec{B}] \quad (11.12)$$

bu kuch normal bo'yicha bo'laklarga yo'nalgan bo'ladi va konturni aylantirmay, cho'zadi.

Agar tok kuchi yoki magnit maydon induksiyasi qarama-qarshi tomonga yo'nalishini o'zgartirsa, bu kuchlarning yo'nalishi o'zgarib, konturni siqadi.

Umumiy hol. $\vec{B}$ induksiya vektori konturga o'tkazilgan normal bilan α burchak tashkil qilsa, $\vec{B}$ vektorni ikkita tashkil etuvchiga ajratamiz (54-rasm).



54-rasm. Istalgan yo'nalishdagi magnit maydonining yassi konturga ta'siri

Induksiya vektorining normal tashkil etuvchisi $B_n = B \cos \alpha$ konturni cho'zishi yoki siqishi mumkin.

Induksiya vektorining tangensial tashkil etuvchisi $B_m = B \sin \alpha$ konturga ta'sir etuvchi aylanma momentni hosil qiladi

$$M = I \cdot B \sin \alpha$$

Vektor ko'rinishida quyidagicha ifodalaymiz

$$\vec{M} = I \cdot S[\vec{n} \cdot \vec{B}] = [\vec{P}_m \cdot \vec{B}] \quad (11.13)$$

bu erda $\vec{n}$ normal yo'nalishdagi birlik vektor, $\vec{P}_m = IS\vec{n}$ - tokning magnit momentidir.

$\vec{M} = [\vec{P}_m \cdot \vec{B}]$ - umumiy hol bo`lib, undan 1- va 2- xususiy hollarni olish mumkin

$$(\alpha = \frac{\pi}{2} \text{ va } \alpha = 0)$$

Magnit momenti $\vec{P}_m$ bo`lgan kichik tokli konturni, muvozanat holatida  $(\vec{P}_m \cdot \vec{B})$  magnit maydonidagi nuqtaga joylashtiramiz va kontur tekisligida yotuvchi ixtiyoriy o`q atrofida 90° burchakka buramiz. Bu holda unga ta`sir etuvchi aylantiruvchi moment maksimal qiymatga erishadi ($M_{max} = P_m B$) va magnit induksiya

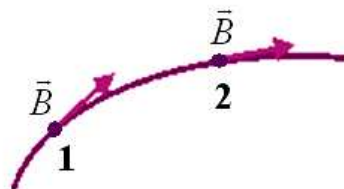
$$B = \frac{M_{max}}{P_m} \quad (11.14)$$

ga teng bo`ladi. Muvozanat holatda  $V$  ning yo`nalishi kontur tekisligiga normal bo`yicha yo`nalgan.

Magnit induksiya vektori $\vec{B}$ – elektr maydon kuchlanganligi $\vec{E}$ ga o`xshash magnit maydonining asosiy xarakteristikasidir.

Magnit maydonini ham elektr maydon kuchlanganligi chiziqlariga o`xshash induksiya chiziqlari orqali grafik usulda tavirlash mumkin.

Magnit induksiya vektori $\vec{B}$ har bir nuqtada induksiya chiziqlariga urinma bo`ylab yo`naladi (55-rasm).



55-rasm. Magnit induksiya vektori

5. Magnit maydon induksiyasi uchun Gauss teoremasi

Magnit maydon kattaligi sifatida magnit induksiya oqimi tushunchasi ham kiritiladi.

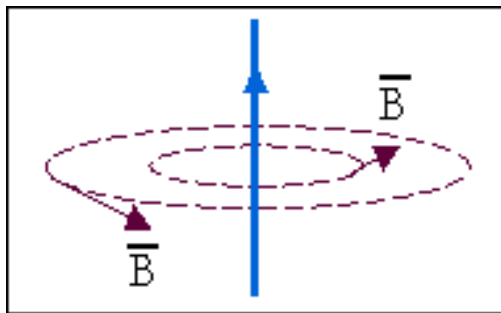
Elementar dS yuzadan o`tuvchi oqim quyidagi ifoda bo`yicha aniqlanadi:

$$d\Phi = B dS \cos \alpha = B_n dS = (\vec{B} \cdot d\vec{S} \cdot \vec{n}_1) \quad (11.15)$$

S yuzadan o`tuvchi to`liq oqim esa

$$\Phi = \int_{(S)} B dS \cos \alpha = \int_{(S)} B_n dS = \int_{(S)} (\vec{B} \cdot d\vec{S} \cdot \vec{n}_1) \quad (11.16)$$

Elektr kuch chiziqlaridan farqli ravishda tabiatda magnit zaryadlari bo`lmagani uchun magnit induksiya chiziqlari doimo berk bo`ladi, uning na oxiri, na boshi bo`ladi (56-rasm).



56-rasm. Magnit induksiya chiziqlari

Shu sababli ham berk sirt bo'yicha magnit induksiya oqimi doim nolga teng.

$$\oint_{(S)} B_n dS = 0 \quad (11.17)$$

Bu magnit maydon induksiyasi uchun **Gauss** teoremasidir. Magnit induksiyasi oqimi XB tizimida Veberlarda o'lchanadi:

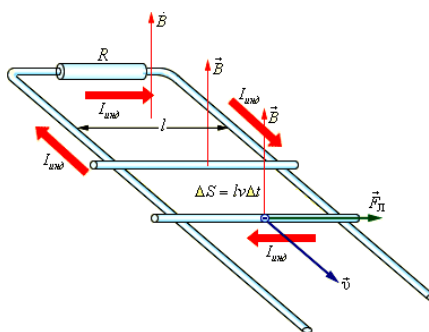
$$1 \text{ Vb} = 1 \text{ Tl} \cdot \text{m}^2 = 1 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{A}.$$

6. Magnit maydonida bajarilgan ish formulasi.

Silindr shaklidagi λ uzunlikka ega bo'lgan tokli o'tkazgich, V - magnit induksiyaga ega bo'lgan magnit maydonida ikkita parallel o'tkazgich ustida, unga ta'sir etuvchi

$$F_A = I \cdot \lambda \cdot B \quad (11.18)$$

Amper kuchi ta'sirida (db) masofaga siljisin (57-rasm).



57-rasm. Tokli silindr o'tkazgichga magnit maydoni ta'siri

Bu kuchning bajargan ishi quyidagicha ifodalanadi:

$$A = Fdb = I \cdot \lambda \cdot Bdb = I \cdot B \cdot \Delta S = I \cdot \Delta \Phi \quad (11.19)$$

bu erda ΔS – magnit induksiya chiziqlarini tokli o'tkazgich kesib o'tgan yuza, $\Delta \Phi$ – shu yuzani kesib o'tuvchi magnit induksiya vektori oqimining o'zgarishidir.

Bu formula har qanday zanjirda magnit oqimi o'zgarishi natijasida sodir bo'ladigan o'zgarishlar uchun o'rinlidir.

Takrorlash uchun savollar

1. Magnit maydoni induksiyasi nima.
2. magnit qutblarini sanang.
3. Toklarning o'zaro ta'sir kuchi nimaga teng?
4. Lorens kuchi nimani tushuntiradi.
5. Amper qonunining differensiallangan va integrallangan ifodalarini tushuntiring.
6. Chap qo'l qoidasining vazifasi.
7. Magnit maydonidagi tokli konturlarning qanday hollari mavjud.
8. Tokning magnit momenti formulasini tushuntiring.
9. Qanday chiziqlar magnit induksiya chiziqlari deyiladi? Ularning yo'nalishi qanday aniqlanadi?
10. Magnit maydonida bajarilgan ish formulasini yozing.

12-Ma'ruza Bio-Savar-Laplas qonuni

Reja:

1. Bio-Savar-Laplas qonunining differensial ko'rinishi
2. Bio-Savar-Laplas qonunining integral ko'rinishi
3. Magnit induksiyasi vektori sirkulyasiyasi

Tayanch iboralar: magnit maydon kuchlanganligi, kuchlanganlik vektori, sirkulyasiya, induksiyasi vektorining sirkulyasiyasi, solenoid, toroid

1. Bio-Savar-Laplas qonunining differensial ko'rinishi

Magnit maydonini xarakterlovchi asosiy kattalik $\vec{B}$ magnit induksiyasidan tashqari, ikkinchi kattalik - $\vec{H}$ magnit maydon kuchlanganligi tushunchasi kiritiladi.

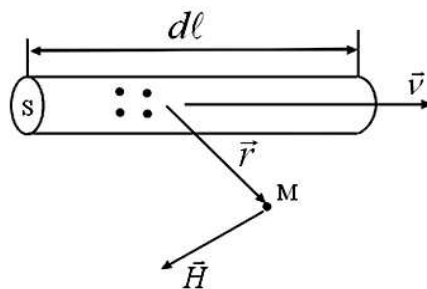
Ular bir-biri bilan quyidagicha bog'langandir:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_0} \text{ yoki } \vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H} \quad (12.1)$$

XB tizimida magnit maydon kuchlanganligining o'lchov birligi

$$1 \frac{H}{A.M} : 1 \frac{H}{A^2} = 1 \frac{A}{M}$$

ga tengdir.



58-rasm. Tokli oʻtkazgichning M nuqtadagi magnit maydon kuchlanganligi

Zarrachalar harakati tezligi $v \ll c$ boʻlsa va r oʻrniga oʻrtacha radius-vektor qiymatidan foydalansak:

$$I = n \cdot S \cdot v \cdot \lambda ,$$

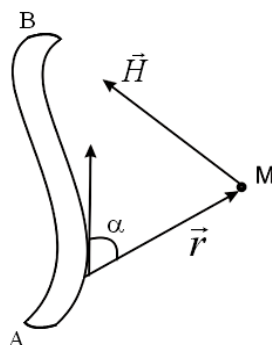
$$d\vec{H} = \frac{I \cdot [d\vec{\lambda} \cdot \vec{r}]}{4\pi r^3} \quad (12.2)$$

ga ega boʻlamiz. Bu Bio-Savar-Laplas qonunining differensial koʻrinishidir.

2. Bio-Savar-Laplas qonunining integral koʻrinishi

Chegaralangan uzunlikdagi oʻtkazgich kesimidan oqayotgan tokning M - nuqtada hosil qilgan magnit maydon kuchlanganligini, kesimning A va B nuqtalari chegarasida (34.7) ifodani integrallash bilan topamiz (59-rasm).

$$\vec{H} = \frac{I}{4\pi} \int_A^B \frac{1}{r^3} [d\vec{\lambda} \cdot \vec{r}] \quad (12.3)$$

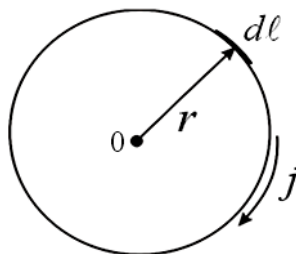


59-rasm. Chegaralangan uzunlikdagi oʻtkazgich magnit maydon kuchlanganligi

Bu **Bio-Savar-Laplas qonunining integral koʻrinishidir**. Hisoblash qulay boʻlishi uchun (12.3) - ifodani quyidagicha skalyar koʻrinishda yozish mumkin:

$$H = \frac{I}{4\pi} \int_A^B \frac{d\lambda \cdot \sin \alpha}{r^2} \quad (12.4)$$

1-misol. Aylana koʻrinishdagi tokli oʻtkazgichning markazida hosil boʻladigan magnit maydon kuchlanganligini aniqlab koʻramiz (60-rasm).

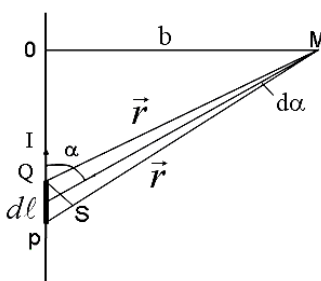


60-rasm. Aylana shaklidagi tokli oʻtkazgichning magnit maydon kuchlanganligi

Oʻtkazgich boʻlaklarini hosil qilgan magnit maydon kuchlanganligi bir xil yoʻnalishda boʻlgani sababli, ularning yigʻindisini skalyar koʻrinishda quyidagicha yozish mumkin, $d\vec{\lambda} \perp \vec{r}$ boʻlganligi uchun $\sin \alpha = 1$ ga teng

$$H = \frac{I}{4\pi r^2} \int_{\lambda} d\lambda = \frac{I}{4\pi r^2} \cdot 2\pi r = \frac{I}{2r} \quad (12.5)$$

2-misol. Toʻgʻri chiziqli, uzunligi cheksiz boʻlgan oʻtkazgichdan b masofada joylashgan M nuqtada maydon kuchlanganligini hisoblab koʻramiz (**61-rasm**).



61-rasm. Uzunligi cheksiz boʻlgan tokli oʻtkazgichning magnit maydon kuchlanganligi

Bu erda ham oʻtkazgich elementlari hosil qilgan magnit maydon kuchlanganligi yoʻnalishlari bir xildir.

ROM uchburchakdan $r = \frac{b}{\sin \alpha}$ ekanligini topamiz. QS kesma r radiusning kichik

yoyi deb bilsak, u QMS kichik burchak yoki $d\alpha$ burchakka yondashadi. U holda $QS = r \cdot d\alpha$ ga teng boʻladi.

Ikkinchi tarafdin PQS uchburchakdan $d\lambda$ gipotenuza QS katet bilan quyidagicha bogʻlangan

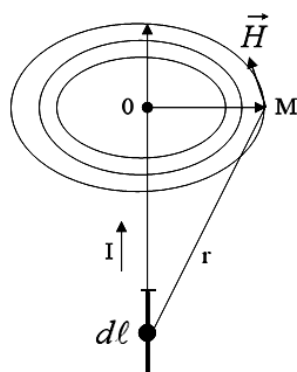
$$PQ = d\lambda, \quad QS = d\lambda \sin \alpha$$

$$rd\alpha = d\lambda \cdot \sin \alpha, \quad d\lambda = \frac{rd\alpha}{\sin \alpha} = \frac{bd\alpha}{\sin^2 \alpha}$$

Oʻtkazgich uzunligi cheksiz boʻlganligi uchun integrallash chegarasi $\alpha=0+\pi$ orasida boʻladi.

$$H = \frac{I}{4\pi b} \int_0^\pi \sin d\alpha = \frac{I}{4\pi b} \left| -\cos \alpha \right|_0^\pi = \frac{I}{2\pi b} \quad (12.6)$$

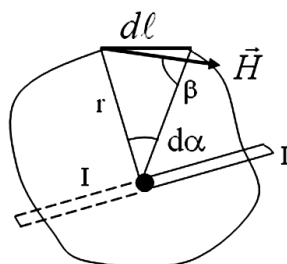
Magnit maydon kuchlanganligi yoʻnalishi $d\vec{\lambda}$ va $\vec{r}$ vektorlar joylashgan tekislikka perpendikulyardir (**62-rasm**).



62-rasm. Tokli o'tkazgich magnit maydon kuchlanganligining yo'nalishi

3. Magnit induksiyasi vektori sirkulyasiyasi

I tokli, to'g'ri chiziqli uzun o'tkazgichga perpendikulyar joylashgan yopiq yassi konturni tasavvur etamiz (63-rasm).



63-rasm. To'g'ri chiziqli o'tkazgichga perpendikulyar joylashgan yassi kontur

$$\oint H_{\ell} dl = \oint \frac{I \cdot d\alpha}{2\pi} = \frac{I}{2\pi} \cdot 2\pi = I \quad (12.7)$$

Agar, yopiq kontur ichidan bir nechta o'tkazgichlar o'tsa, u holda I - barcha o'tkazgichlardan o'tayotgan toklar yig'indisiga tengdir.

$$\oint H_{\ell} dl = \sum I_i = I \quad (12.8)$$

Bu ifoda magnit maydon **kuchlanganligi vektorining** yopiq kontur bo'yicha **sirkulyasiyasi** deb ataladi.

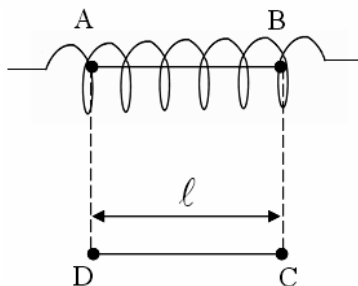
Magnit maydon induksiyasi vektorining sirkulyasiyasi quyidagicha ifodalanadi:

$$B = \mu_0 H, \quad \oint B_{\ell} dl = \mu_0 I \quad (12.9)$$

Elektrostatik maydon kuchlanganligi vektorining yopiq kontur bo'yicha sirkulyasiyasi nolga teng va u potensial xarakterga ega edi.

(20.8) va (20.9) ifodalardan ko'rinadiki, tokning magnit maydoni uchun kuchlanganlik va induksiya sirkulyasiyasi nolga teng emas, shuning uchun magnit maydon uyurmali yoki solenoid ko'rinishli xarakterga egadir. Bu maydonda ma'lum bir nuqtadagi potensial har xil qiymatlarga ega bo'ladi.

Bir tekis o'ralgan o'ramali va to'g'ri chiziqli uzun solenoidning ichida magnit maydon kuch chiziqlari solenoid o'qiga parallel yo'nalgan deb hisoblaymiz (64-rasm).



64-rasm. To'g'ri chiziqli solenoid

Shunday solenoid uchun magnit maydon kuchlanganligi $\vec{H}$ miqdorini topishga urinib ko'ramiz.

$ABCD$ - to'g'ri burchakli yopiq konturni olamiz. Konturning AV qismi solenoid ichida bo'lib, maydon kuch chiziqlariga paralleldir.

Magnit maydon kuchlanganligi ($\vec{H}$) yopiq kontur bo'yicha sirkulyasiyasini konturning alohida bo'laklariga tegishli to'rtta integral ko'rinishda olamiz:

$$\oint H_\ell d\ell = \oint_{AB} H_\ell d\ell + \oint_{BC} H_\ell d\ell + \oint_{CD} H_\ell d\ell + \oint_{DA} H_\ell d\ell = n\ell I$$

Bu erda λ - AB va CD bo'laklar uzunligi, n - o'ramlar zichligi, $n\lambda$ - o'ramlar soniga tengdir.

Solenoid tashqarisidagi katta masofada maydon kuchlanganligi juda kichikdir, shuning uchun CD bo'lakda u nolga teng. BC va DA bo'laklar kuch chiziqlariga perpendikulyar bo'lgani uchun $\vec{H}$ ham nolga tengdir. Shu bo'laklarga $H\lambda$ ning proeksiyasi ham nolga tengdir. Shu sababli to'rtta integraldan faqat bittasi

$$\oint_{AB} H_\ell d\ell$$

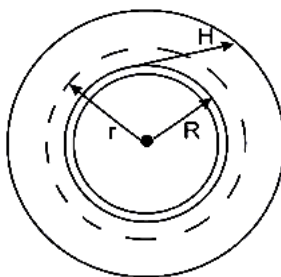
nolga teng emas. Shu bo'lakning nuktalarida $H\lambda$ o'zgarmas bo'ladi

$$H_\lambda = H = \text{const}$$

natijada

$$\oint H_\ell d\ell = H \oint_{AB} d\ell = H \cdot \ell = n\ell I \quad (12.10)$$

N ta o'ramli solenoidni bukib, halqa shakliga keltirsak –toroid hosil bo'ladi (65-rasm).



65-Rasm. Toroid

r – toroidning o'rta chizig'ining radiusi, n – toroidning birlik uzunligidagi o'ramlar soni. Toroid magnit maydoni kuch chiziqlari aylana ko'rinishida bo'ladi.

$\vec{H}$ vektor istalgan nuqtada maydon kuch chiziqlariga urinma bo`ylab yo`nalgan, shu sababli

$$H_\lambda = H = \text{const}$$

R radiusli konturni olamiz. Toroiddagi simlar o`ramining soni  $n \cdot 2\pi r$  ga teng va barcha kuch chiziqlari konturni sizib o`tadi.

Sirkulyasiya ifodasiga asosan:

$$\oint H_\ell d\ell = H \oint d\ell = H \cdot 2\pi R = n 2\pi r \cdot I \quad (12.11)$$

bu erdan

$$H = \frac{r}{R} n \cdot I \quad (12.12)$$

Agar toroid juda tor bo`lsa,

$$\frac{r}{R} = 1$$

ga tengdir. U holda

$$N = n \cdot I$$

ga teng bo`ladi.

Takrorlash uchun savollar

1. Bio-Savar-Laplas qonunining differensial va integral ko`rinishlari qanday.
2. Aylana shaklidagi tokli o`tkazgichning magnit maydon kuchlanganligini toping.
3. Uzunligi cheksiz bo`lgan tokli o`tkazgichning magnit maydon kuchlanganligi qanday?
4. Magnit maydon induksiyasi vektorining sirkulyasiyasi nima?
5. Magnit maydon induksiyasi vektorining sirkulyasiyasi qanday ifodalanadi?
6. To`g`ri chiziqli solenoid ta`rifini ayting?
7. Solenoid uchun magnit maydon kuchlanganligini toping.
8. Toroid tuzilishi qanday?

13-Ma`ruza

Elektromagnit induksiya hodisalari

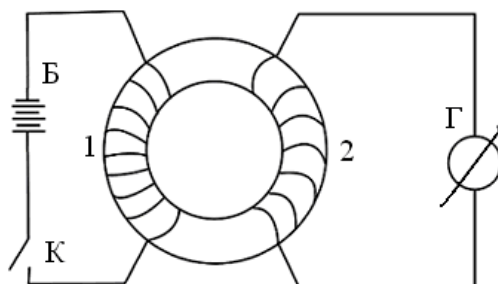
Reja:

1. Faradeyning elektromagnit induksiya hodisasi. Lens qonuni
2. Sinusoidal o`zgaruvchan tok

Tayanch iboralar: elektr yurituvchi kuch, Faradey-Maksvell qonuni, induksiyaviy elektr toki, erkin elektronlar, induksiyaviy *EYUK*, oqim tutilishi

1. Faradeyning elektromagnit induksiya hodisasi. Lens qonuni

Elektromagnit induksiya hodisasi hozirgi zamon fizikasi va texnikasining eng muhim hodisalaridan biri bo'lib, u Faradey tomonidan 1831 yilda ochilgan. Faradey o'tkazgan tajribalaridan birida temir halqa olib, unga ko'p o'ramlardan iborat bo'lgan ikkita mis cho'lg'am o'radi: 1 - cho'lg'am uchlariga tok manbai bilan K kalit ulangan bo'lib, ikkinchisiga gal'vanometr ulangan (66-rasm).



66-rasm. Ikki cho'lg'amli transformator

Birinci cho'lg'amda kalit ulanib, tok hosil bo'lganda, ikkinchi cho'lg'amda tok impul'si hosil bo'lgan va gal'vanometr mili bir tomonga og'a boshlagan va juda tez nolga qaytgan. Birinci cho'lg'am kaliti uzilganda ham ikkinchi cho'lg'amda tok impul'si hosil bo'lib, gal'vanometr mili teskari tarafga og'ib, yana juda tez nolga qaytgan.

Ko'p sonli tajribalardan quyidagi qonuniyatlar aniqlangan:

Vaqt bo'yicha o'zgaradigan tashqi magnit maydonida joylashgan o'tkazgichda elektr yurituvchi kuch paydo bo'ladi.

Agar o'tkazgich yopiq bo'lsa, unda induksion tok hosil bo'ladi. O'tkazgichda induksiya hisobiga hosil bo'lgan *EYUK* kattaligi shu o'tkazgichni kesib o'tuvchi magnit induksiyasi oqimining o'zgarish tezligiga proporsionaldir.

$$\mathcal{E}_U = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (13.1)$$

Bu ifoda **Faradey-Maksvell qonuni** deb ataladi.

Yopiq zanjirni kesib o'tuvchi magnit induksiyasi oqimining o'zgarishini, shu zanjir atrofidagi magnit maydonini o'zgartirish yoki yopiq o'tkazgichni vaqt bo'yicha o'zgarmas magnit maydonida siljitish hisobiga hosil qilish mumkin.

Birinci holda, elektr va magnit maydonlarining, Maksvell kashf etgan o'zaro ta'sirga asosan, ya'ni, magnit maydonining istalgancha o'zgarishi, elektr maydonining hosil bo'lishiga olib keladi va aksincha.

Ikkinchi holda esa, o'tkazgichdagi erkin elektronlar harakatga kelib induksiyaviy elektr tokini hosil qiladi.

Elektromagnit induksiya qonunini energiyaning saqlanish qonuniga asoslanib keltirib chiqarish mumkin.

19-mavzudagi 57-rasmga qaytamiz.

λ uzunlikdagi o'tkazgich qisqa vaqt ichida, magnit maydon ta'sirida, db kichik masofaga siljigan bo'lsin. Bu holda tok manbai bajargan ish

$$dA = \mathcal{E}I \cdot dt \quad (13.2)$$

ga teng bo'ladi. Boshqa tarafdin sarflangan energiya ikki qismdan iborat bo'ladi:

a) Djoul-Lens qonuniga asosan o'tkazgichda issiqlik ajralishiga

$$I^2 R \cdot dt \quad (13.3)$$

va **b)** magnit maydonida $F = I\lambda B$ kuch taʼsirida oʻtkazgichni siljitishda bajarilgan ishdan iborat boʻladi.

$$F \cdot db = I\lambda \cdot db \cdot B = I \cdot B \cdot dS = I \cdot d\Phi \quad (13.4)$$

bu erda R - zanjir qarshiligi.
Energiyaning saqlanish qonuniga asosan

$$\varepsilon \cdot I \cdot dt = RI^2 \cdot dt + I \cdot d\Phi \quad (13.5)$$

bu ifodaning ikki tarafini Idt ga boʻlsak,

$$\varepsilon = RI + \frac{d\Phi}{dt} \quad (13.6)$$

ga ega boʻlamiz. Bu erdan

$$I = \frac{\varepsilon - \frac{d\Phi}{dt}}{R} = \frac{\varepsilon + \varepsilon_U}{R} \quad (13.7)$$

Manbaning ε EYUK dan tashqari **induksiyaviy EYUK** deb ataluvchi qoʻshimcha EYUK ham taʼsir etadi:

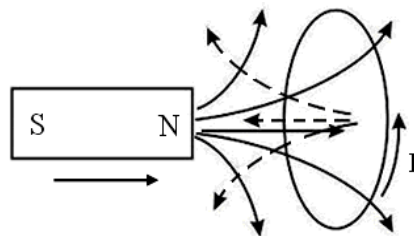
$$\varepsilon_U = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (13.8)$$

va yana (21.1) - ifodaga ega boʻldik.

Bu erda minus ishora, yopiq zanjirni kesib oʻtuvchi $\left(\frac{d\Phi}{dt} > 0\right)$ oqim oshishi bilan induksiyaviy EYUK manba EYUK ga teskari yoʻnalgan boʻladi, oqim kamayganda $\left(\frac{d\Phi}{dt} < 0\right)$ ikkala EYUK lar yoʻnalishi bir xil boʻladi.

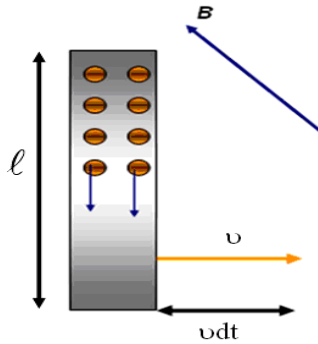
Lens qoidasiga asosanib induksiyaviy EYUK yoʻnalishini aniqlash mumkin: induksiyaviy EYUK va tok doimo shunday yoʻnalishga ega boʻladiki, u hosil qilgan magnit maydoni shu tokni vujudga keltiruvchi magnit oqimining oʻzgarishiga qarshilik qiladi.

1-misol. Oʻtkazgichdan yasalgan halqaga magnitning shimoliy qutbini yaqinlashtirsak (67-rasm),



67-rasm. Doimiy magnitning xalqali oʻtkazgichda induksion tok hosil qilishi

halqada I induksion tok hosil boʻladi, uning magnit maydoni magnitning shimoliy qutbini itarishga harakat qiladi, yaʼni uni yana yaqinlashishiga toʻsqinlik qiladi. Natijada, bu induksion tokning magnit kuch chiziqlari halqada oʻngdan chapga tomon yoʻnalgan boʻladi, yaʼni biz tarafda pastdan yuqoriga qarab yoʻnalgandir.



68-rasm. Harakat yo`nalishiga perpendikulyar bo`lgan magnit maydonining o`tkazgich elektronlariga ta`siri

2-misol. λ uzunlikdagi o`tkazgich, uning uzunligiga perpendikulyar yo`nalishda v tezlik bilan harakatlanadi (68-rasm). V induksiyali magnit maydon harakat yo`nalishi va o`tkazgich uzunligiga perpendikulyar bo`lsin. O`tkazgichdagi e zaryadli erkin elektronlarning har biri o`tkazgich bilan  $v$  tezlikda harakatlanadi. Ularning har biriga  $f=e v B$  Lorens kuchi ta`sir qiladi. Fikran, Lorens kuchini unga teng $eE = e v B$ elektr kuchi bilan almashtiramiz.

$E = v \cdot B$ kattalikni Lorens kuchi maydonining kuchlanganligi deb ataymiz. Bu kuchlanganlik xuddi o`tkazgichning λ uzunlikka teng kesmasiga

$$\Delta\varphi = E\lambda = vB\lambda$$

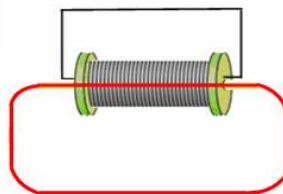
potensiallar farqi qo`yilganday tasavvur etamiz va u induksiyaviy elektr yurituvchi kuchga tengdir.

$$\varepsilon_U = -\frac{d\Phi}{dt} = -vB\lambda.$$

Shunday qilib, o`tkazgichda harakat qilayotgan erkin elektronlarga Lorens kuchining ta`siri (31.1) - ifodasiga olib keladi.

2. Sinusoidal o`zgaruvchan tok

Agar yopiq zanjir N -ta o`ramlardan iborat bo`lsa va magnit oqimining kuch chiziqlarining har biri shu o`ramlarni kesib o`tsa (69-rasm), u holda bu oqimning o`zgarishi, zanjirda induksiyaviy EYUK ni hosil qiladi.

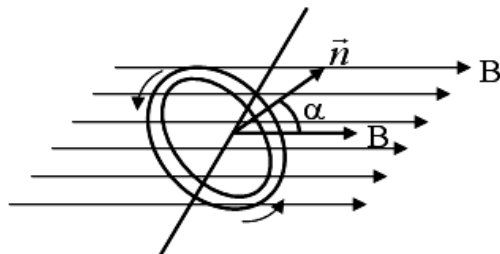


69-rasm. N ta o`ramlardan iborat yopiq zanjir

$$\varepsilon_U = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\psi}{dt} \quad (13.9)$$

bu erda $\psi = NF$ - **oqim tutilishi** deb ataladi.

Kuch chiziqlariga perpendikulyar bo`lgan o`q atrofida, V induksiyali bir jinsli magnit maydonida ω doimiy burchak tezlik bilan aylanayotgan, har bir S yuzaga ega bo`lgan  $N$  o`ramlardan iborat ramkaning elektromagnit induksiyasini ko`rib chiqamiz (70-rasm)



70-rasm. V induksiya magnit maydonida aylanayotgan N o`ramli ramka

Boshlang`ich momentda ( $t=0$ ), ramka tekisligi V yo`nalishga perpendikulyar bo`lsin. Bu ramkani kesib o`tuvchi magnit oqimi

$$\Phi_0 = BS \quad \text{dan}$$

iborat. t momentda esa, u

$$\Phi = BS \cdot \cos \alpha$$

ga teng bo`ladi. Ramkada magnit oqimining tutilishi

$$\Psi = NBS \cdot \cos \alpha$$

ga teng. Induksiyaviy EYUK esa, quyidagiga teng bo`ladi:

$$\mathcal{E}_U = \frac{d\Psi}{dt} = NBS \cdot \omega \cdot \sin \omega t = \mathcal{E}_0 \sin \omega t$$

Zanjir qarshiligi R bo`lsa, ramkadagi induksion tok

$$I = \frac{\mathcal{E}_0}{R} \sin \omega t = I_0 \cdot \sin \omega t \quad (13.10)$$

ga teng bo`ladi.

Bu erda, $\mathcal{E}_0$ va I_0 – induksion EYUK va tokning maksimal qiymatlaridir.

(13.10) - ifoda bo`yicha o`zgaruvchi tok, sinusoidal o`zgaruvchan tok deb ataladi.

Magnit oqimi tutilishi Ψ_1 dan Ψ_2 qiymatgacha o`zgarishi uchun ketgan vaqtda zanjir orqali oqib o`tgan Q zaryad miqdorini hisoblab ko`ramiz.

t - vaqt momentida induksion tok

$$I = \frac{\mathcal{E}_U}{R} = -\frac{1}{R} \frac{d\Psi}{dt}$$

ga teng. dt kichik vaqt ichida zanjir orqali dQ zaryad oqib o`tadi:

$$dQ = -\frac{I}{R} \frac{d\Psi}{dt} \cdot dt = -\frac{I}{R} d\Psi \quad (13.11)$$

Ψ_1 dan Ψ_2 gacha intervalda (36.11) - ifodani integrallasak quyidagiga ega bo`lamiz:

$$Q = -\frac{I}{R} \int_{\Psi_1}^{\Psi_2} d\Psi = \frac{\Psi_1 - \Psi_2}{R} I \quad (13.12)$$

Magnit maydonining o`zgarishi hisobiga hosil bo`lgan elektr maydon kuch chiziqlari magnit kuch chiziqlarini chirmab oladi.

V induksiya vaqt bo`yicha o`zgargani uchun

$$\frac{\partial B}{\partial t} \neq 0$$

va $\vec{E}$ sirkulyasiya vektori, elektrostatik maydon induksiya vektoridan farqli ravishda nolga teng emas.

Shuning uchun bunday elektr maydoni potensial maydon emas, u uyurmali bo'ladi va bunday maydon nuqtalarida potensial bir qiymatga ega bo'lmaydi. Kuch chiziqlarini boshi va oxiri bo'lmay, ular yopiq chiziqlardan iborat bo'ladi.

Takrorlash uchun savollar

1. Faradey-Maksvell qonuni qanday?
2. Induksiyaviy *EYUK* qanday paydo bo'ladi.
3. Lens qoidasini tushuntiring.
4. Sinusoidal o'zgaruvchan tokka ta'rif bering.
5. Oqim tutilishi deb nimaga ataladi.
6. Faradeyning elektromagnit induksiya hodisasi nechanchi yilda ochilgan.

14-Ma'ruza
O'tkazgichlarning induktivligi
Magnit maydoni energiyasi va uning xususiyatlari

Reja:

- 1. O'tkazgichning induktivligi**
- 2. Solenoidning induktivligi**
- 3. O'zaroinduksiya**
- 4. Tokning magnit maydon energiyasi**
- 5. Magnetiklarda magnit maydoni**

Tayanch iboralar: muhitning magnit sindiruvchanligi, molekulyar toklar, magnetiklar, orbital tok, elektronning orbital magnit momenti, magnitlaganlik vektori, magnetikning magnit singdiruvchanligi, o'zinduksiya *EYUK*, yopiq kontur, ikki konturning o'zaro induksiya koeffisienti, transformatorlar

1. O'tkazgichning induktivligi

Elektr toki oqayotgan har bir o'tkazgich o'zining xususiy magnit maydoni ta'sirida bo'ladi. Tok hosil qilgan magnit oqimi yoki oqim tutilishi, barcha sharoitlarda tok kuchiga proporsionaldir:

$$\psi = LI \quad (14.1)$$

bu erda L - proporsionallik koeffisienti - **o'tkazgichning induktivligi** deb ataladi. O'tkazgichning induktivligi uning shakli, o'lchami va magnit singdiruvchanlikka bog'liqdir.

O'tkazgichda magnit maydonining o'zgarishi unda induksiya elektr yurituvchi kuchini qo'zg'atadi va u **o'zinduksiya EYUK** deb ataladi.

(22.1) – ifodadan ko'rinib turibdiki, o'zinduksiya *EYUK* ni vujudga kelishi o'tkazgichda tok kuchining yoki o'tkazgichning induktivligini o'zgarishi hisobiga sodir bo'ladi. Bu o'zgarishlarda, konturda hosil bo'ladigan o'zinduksiya *EYUK* ϵ quyidagiga tengdir:

$$\epsilon_{y3} = -\frac{d\psi}{dt} = -\frac{d(IL)}{dt} = -\left(L\frac{dI}{dt} + I\frac{dL}{dt}\right) \quad (14.2)$$

Agarda tok kuchi o'zgarishida induktivlik o'zgarmasdan qolsa ($L=const$, bu hol faqat moddada ferromagnit xususiyati yo'qligida yuz berishi mumkin), u holda

$$\epsilon_{y3} = -L\frac{dI}{dt} \quad (14.3)$$

Bu ifodadagi minus ishora Lens qoidasiga asosan paydo bo'lgan va induksion tok uni vujudga keltiruvchi sabablarga doimo qarshilik qilish tarafiga yo'nalganligini bildiradi.

XBT da o'tkazgichning induktivligi birligi sifatida, o'tkazgichdagi tok kuchi har sekunda 1 A ga o'zgarganda 1 Vb ga teng ψ - magnit oqimi tutilishini hosil qilaoladigan induktivlik qabul qilingan va u bir Genri (Gn) ga tengdir.

$$1Gn = 1 \frac{B\delta}{A} \left(\frac{Be\delta ep}{Amnep} \right) \quad (14.4)$$

(22.3) - ifodadan $1Gn=1 \text{ V}\cdot\text{sek}/\text{Amper}$ ga teng bo'ladi.

2. Solenoidning induktivligi

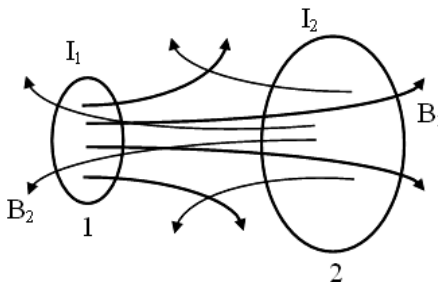
$$L = \mu_0 \mu n^2 \lambda \cdot S = \mu_0 \mu n^2 \cdot V \quad (14.5)$$

bu erda $V = \lambda \cdot S$ - solenoid hajmi. Bu ifodadan μ_0 ning o'lchov birligini topishimiz mumkin:

$$\mu_0 = \frac{L}{n^2 \cdot V} \quad , \quad \frac{\text{genpu}}{\text{memp}} \left(\frac{\Gamma_H}{M} \right)$$

3. O`zaroinduksiya

75-rasmda bir-biriga yaqin joylashgan ikkita konturni olamiz.



75-rasm. Ikkita yopiq kontur orasidagi o`zaroinduksiya

1-konturda qandaydir manba orqali I_1 tok oqadi.

Bu tok $\psi_1 = L_1 I_1$ magnit oqimini hosil qiladi va uning ψ_{12} qismi 2-konturni sizib o`tadi.

$$\psi_{12} = L_{12} \cdot I_1$$

dt vaqt ichida I_1 tokni dI_1 qiymatga o`zgartirsak, 2-konturda o`zinduksiya EYUK ni hosil qilamiz

$$\mathcal{E}_{12} = -\frac{d\psi_{12}}{dt} = -L_{12} \frac{dI_1}{dt} \quad (14.6)$$

Endi esa, konturlar holatini o`zgartirmasdan, 2-konturga tok manbaini ulab, unda  $I_2$  tok hosil qilamiz. O`z navbatida I_2 tok $\psi_2 = L_2 I_2$ magnit oqimini vujudga keltiradi. Bu oqimning

$$\psi_{21} = L_{21} I_2$$

qismi birinchi konturni kesib o`tadi.

I_2 tok qiymatini o`zgartirsak, 1-konturda  $\mathcal{E}_{21}$  - o`zinduksiya EYUK hosil bo`ladi.

$$\mathcal{E}_{12} = -\frac{d\psi_{21}}{dt} = -L_{21} \frac{dI_2}{dt} \quad (14.7)$$

Agarda konturlarning o`lchamlari va holatlari o`zgarmas saqlansa L_{12} , L_{21} ga teng bo`ladi.

$$L_{21} = L_{12} = M$$

bu erda M - **ikki konturning o`zaro induksiya koeffisientidir** va uning qiymati ikkita konturning o`zaro bog`lanish darajasini bildiradi.

Bir konturda tokning o`zgarishi ikkinchisida induksiya EYUK ni hosil qilish hodisasi - **o`zaro induksiya** hodisasi deb ataladi.

L_{12} va L_{21} koeffisientlar qiymatlari konturlarning shakli, o`lchamlari va o`zaro joylashishiga bog`liqdir, undan tashqari atrof muhitning magnit singdiruvchanligiga ham bog`liqdir.

Shunday qilib, ikkinchi zanjirda induksiyalangan EYUK qiymati o`zaro induksiya koeffisienti va birinchi zanjirdagi tokning o`zgarish tezligiga proporsionaldir.

$$\mathcal{E} = -M \frac{dI}{dt} \quad (14.8)$$

Bunday induksiya EYUK ning paydo bo'lishi, odatda **transformatorlarda** kuzatiladi.

4. Tokning magnit maydon energiyasi

71-rasmda keltirilgan chizma (sxema) ni ko'rib chiqamiz. I_0 boshlang'ich tok L induktivlikli g'altakda magnit maydoni hosil qiladi. K kalitni V kontaktga ulanganda zanjirda vaqt bo'yicha so'nuvchi, $\mathcal{E}_{o'z}$ - o'zinduksiya EYUK ni tiklab turuvchi I tok oqaboshlaydi.

dt vaqt ichida bu tokning bajargan ishi quyidagiga tengdir:

$$dA = \mathcal{E}_{y3} \cdot I \cdot dt = -\frac{d\psi}{dt} \cdot I \cdot dt = -I \cdot d\psi \quad (14.9)$$

Agarda solenoid induktivligi I tokka bog'liq bo'lmasa ($L = \text{const}$), u holda

$$d\psi = L \cdot dI$$

ga teng bo'ladi. Bu erda

$$dA = -L \cdot I \cdot dI \quad (14.10)$$

bu ifodani I dan 0 qiymatgacha integrallasak, magnit maydon yo'qolguncha ketgan vaqt ichida tokning bajargan ishini baholay olamiz:

$$A = -\int_{I_0}^0 L I dI = \frac{L I^2}{2} \quad (14.11)$$

Magnit maydoni butunlay yo'qolganda, tok oqimi to'xtaydi, bajarilgan ish zanjirda ajralgan issiqlik miqdoriga teng bo'ladi.

$$W_M = \frac{L I^2}{2} \quad (14.12)$$

buerda, W_m - magnit maydon energiyasidir. Bu ifoda magnit maydon energiyasi o'tkazgichda (induktivlikda) joylashgan bo'ladi va tokka bog'liqdir (L - o'tkazgich induktivligi, I - tok).

Magnit maydon energiyasini

$$I = \frac{H}{n}$$

ifoda yordamida maydon bilan bog'liq bo'lgan kattalik orqali ham ifodalashimiz mumkin:

$$L = \mu_0 \mu n^2 \cdot V, \quad H = nI \quad I = \frac{H}{n}$$

Shuning uchun:

$$W_M = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} \cdot V \quad (14.13)$$

ga teng bo'ladi. Bu erda, μ va N - muhitning magnit sindiruvchanligi va solenoid ichidagi maydon kuchlanganligi, V - solenoid hajmi.

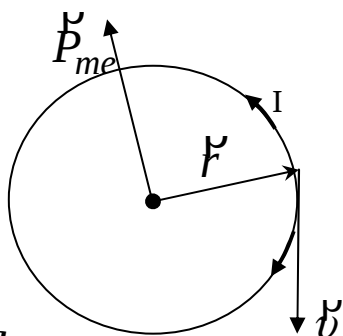
$\delta_M = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2}$ - kattalik, magnit maydon energiyasi o'zgarmas zichlik bilan taqsimlanganligini ko'rsatadi.

5. Magnetiklarda magnit maydoni

Tashqi magnit maydonida magnitlanish xususiyatiga ega boʻlgan va atrof-muhitdagi natijaviy magnit maydonning oʻzgartira oladigan moddalar – magnetiklar deb ataladi.

Magnetiklarning magnitlanishini Amperning molekulyar toklar toʻgʻrisidagi gipotezasi orqali tushunish mumkin. Klassik fizika tushunchasiga asosan, atomlardagi elektronlar aylana shaklidagi traektoriya – orbita boʻylab harakatlanadi va orbital tokni hosil qiladilar.

Magnit xususiyatlariga asosan, har bir atom yoki molekulani, yopiq elektron toklar tizimi – molekulyar toklar deb atashadi. Har bir elektron orbital tok $\vec{P}_{me}$ magnit momenti bilan xarakterlanadi (76-rasm).



76-rasm. Elektronning

orbital tok magnit momenti

Bu magnit momenti – elektronning orbital magnit momenti deb ataladi. Bitta elektronning orbital magnit momenti

$$P_{me} = IS \quad (14.14)$$

ga teng. Bu erda $I = e\nu$ - orbital tok, e - elektron zaryadi, ν - aylanish chastotasi, $S = \pi r^2$ - orbital tok yuzasi. U holda

$$P_{me} = e\nu\pi r^2 \quad (14.15)$$

Atom va molekuladagi har bir elektron shunday orbital magnit momentiga ega boʻlgani uchun, atom va molekulaning molekulyar toklari hosil qilgan natijaviy magnit momenti elektronlar magnit momentlarining yigʻindisiga tengdir:

$$\vec{P}_{mi} = \sum \vec{P}_{me} \quad (14.16)$$

Magnetiklarning magnitlanishini tavsiflash uchun $\vec{j}$ - **magnitlaganlik vektori** deb ataladigan kattalik kiritiladi. Bu kattalik magnetikning birlik xajmidagi atom va molekulalarining orbital magnit momentlari yigʻindisiga tengdir:

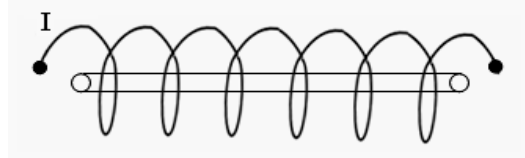
$$\vec{j} = \frac{\sum \vec{P}_{mi}}{\Delta V} \quad (14.17)$$

bu erda ΔV – magnetikning mumkin boʻlgan eng kichik hajmi va unda magnit maydoni bir jinsli deb hisoblanadi.

Induksiyasi $\vec{B}_0$ boʻlgan tashqi magnit maydoniga joylashtirilgan magnetikda, induksiyasi $\vec{B}'$ boʻlgan ichki maydon hosil boʻladi, shu sababli $\vec{B}$ - natijaviy magnit maydoni quyidagicha teng boʻladi:

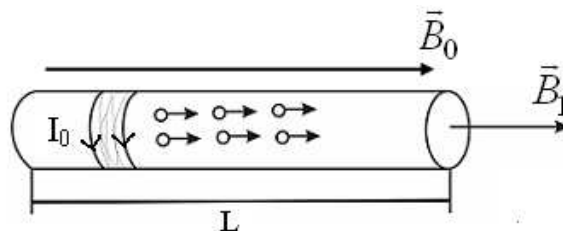
$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}' \quad (14.18)$$

Magnetikning $\vec{B}'$ vektor bilan ifodalanadigan xususiy maydoni bir yoʻnalishga yoʻnaltirilgan molekulyar toklarning magnit momenti bilan aniqlanadi. Faraz qilaylik, $\vec{B}_0$ induksiyali tashqi bir jinsli magnit maydonida silindr koʻrinishda, koʻndalang kesim yuzasi S va uzunligi L boʻlgan bir jinsli magnetik joylashgan boʻlsin (77-rasm).



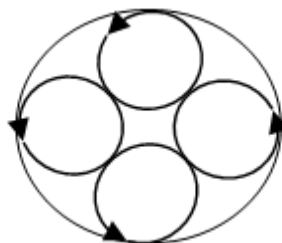
77-rasm. Induksiyali bir jinsli magnit maydonida magnetik

Atom va molekular orbital magnit momentlari magnetikda hosil qilgan $\vec{B}'$ induksiyali ichki magnit maydoni, tashqi magnit maydon induksiya vektori $\vec{B}_0$ yoʻnalishi bilan mos tushadi (78-rasm).



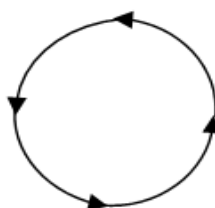
78-rasm. Atomlar orbital magnit momentlari ichki maydoni induksiya vektorining yoʻnalishi

Silindrik magnetik oʻqiga perpendikulyar boʻlgan S koʻndalang kesimida barcha molekulyar toklar oʻzaro kompensasiyalashadi (79-rasm).



79-rasm. Silindrik magnetik koʻndalang kesimidagi molekulyar toklar

Magnetikning yon sirtida, koʻndalang kesimning perimetrida toklar noldan farqli boʻladi (80-rasm).



80-rasm. Magnetikning yon sirtidagi molekulyar toklar

Natijada, silindrik magnetikni solenoidga oʻxshatish mumkin va uning tashqi sirtining birlik uzunligida oʻtkazgichning I_0 tokli bitta oʻrami bor deb hisoblash mumkin. Bu tok magnetikning molekulyar toklariga ekvivalent boʻlganligi uchun N' kuchlanganlikli va $V' = \mu_0 I_0$ induksiyali ichki magnit maydonini hosil qiladi.

I_0 tok kattaligini $\vec{j}$ – magnitlanganlik vektori bilan quyidagicha bog`lash mumkin

$$|\vec{j}| = \frac{I_0 L S}{L S} = I_0 \quad (14.19)$$

u holda

$$\vec{B}' = \mu_0 \vec{j} \quad (14.20)$$

Tajribalar ko`rsatishicha, magnitlanganlik vektori

$$\vec{j} = \chi \vec{H} \quad (14.21)$$

ga tengdir. Bu erda χ - magnetikning magnit qabul qiluvchanligi, $\vec{j}$ va $\vec{H}$ ning o`lchov birliklari  $\left(\frac{A}{m}\right)$  bir xil bo`lgani uchun χ - o`lchovsiz kattalik hisoblanadi.

(14.19) – va (14.20) – tenglamalardan quyidagiga ega bo`lamiz.

$$\vec{B}' = \mu_0 \chi \vec{H} \quad (14.22)$$

Natijaviy magnit induksiya

$$\vec{B} = \vec{B}' + \vec{B}_0 \quad (14.23)$$

teng bo`lgani uchun

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \chi \vec{H} \quad (14.24)$$

$$\vec{B} = \mu_0 (1 + \chi) \vec{H} \quad (14.25)$$

$(1+\chi)$ ga teng bo`lgan o`lchovsiz kattalik **magnetikning magnit singdiruvchanligi** deb ataladi:

$$\mu = 1 + \chi \quad (14.26)$$

Shunday qilib, magnetikdagi natijaviy magnit maydoni induksiyasi $\vec{B}$ magnit maydoni kuchlanganligi $\vec{H}$ bilan quyidagicha bog`langan bo`ladi:

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H} \quad \text{yoki} \quad \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu \mu_0} \quad (14.27)$$

Takrorlash uchun savollar:

1. O`tkazgichning induktivligi nima? Uning birligini tushuntiring.
2. O`zinduksiya EYUK qanday vujudga keladi.
3. Solenoidning induktivligi formulasini yozing.

4. O'zaroinduksiya nima?
5. Ikki konturning o'zaro induksiya koeffisienti nima, uning qiymati nimani bildiradi?
6. Tokning magnit maydon energiyasi formulasini keltirib chiqaring.
7. Magnetiklarning magnitlanishini qanday tushunish mumkin?
8. Magnitlaganlik vektori nimani tavsiflaydi.
9. Magnetikning magnit singdiruvchanligi nima?
10. Magnit maydoni induksiyasi $\vec{B}$ va magnit maydoni kuchlanganligi $\vec{H}$ formulalarini yozing

15-Ma'ruza Maksvell tenglamalari

Reja:

1. Maksvellning birinchi tenglamasi
2. Maksvellning ikkinchi, uchinchi va to'rtinchi tenglamalari
3. Maksvellning beshinchi, oltinchi va yettinchi tenglamalari

Tayanch iboralar: Gauss teoremasi, siljish toki, Maksvellning tenglamalar tizimi

1. Maksvellning birinchi tenglamasi

Maksvell nazariyasiga asosan magnit maydoni manbai sifatida zaryadlarning tartibli harakati bo'lgan toklardan tashqari, o'zgaruvchan elektr maydoni ham manba bo'lishi mumkin.

Elektr maydon induksiya (siljish) vektori $\vec{D}$ uchun Gauss teoremasini yozamiz

$$N_D = \oint D_n dS = q$$

Bu tenglikning ikki tarafini vaqt bo'yicha differensiallasak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{dN_D}{dt} = \frac{d}{dt} \oint D_n dS = \oint \frac{\partial D_n}{\partial t} dS = \frac{dq}{dt}$$

$\vec{D}$ induksiya vektori faqat vaqtga emas, balki koordinataga ham bog'liq bo'lgani uchun $\frac{\partial D_n}{\partial t}$ xususiy hosila belgisini tanladik, q zaryadning o'zgarishi faqat zayadlarning kelishi yoki ketishida, ya'ni tok mavjud bo'lganda sodir bo'ladi.

Tok kuchi

$$I = \frac{dq}{dt} = \int_{(s)} j_n dS$$

ga teng. Bu erda,

$$j_n = \frac{\partial D_n}{\partial t}$$

Tenglikning o'ng tarafi – siljish vektorining o'zgarish tezligidir va u siljish tokining zichligi deb ataladi.

Maksvell faraz qilishicha, magnetiklar siljish toki, o'tkazuvchanlik tokiga o'xshash magnit maydonining manbai hisoblanadi. U holda magnit maydoni kuchlanganligi sirkulyasiyasi formulasini quyidagicha qayta yozish mumkin:

$$\oint H \ell d\ell = I + I_{\text{siljish}} = I + \frac{dD_n}{dt} \quad (15.1)$$

bu erda I - o'tkazuvchanlik toki, $I_{\text{siljish}} = \frac{dD_n}{dt}$ siljish toki.

Bu tenglama **Maksvellning birinchi tenglamasining** differensial ko'rinishidir.

2. Maksvellning ikkinchi, uchinchi va to'rtinchi tenglamalari

Dielektrikda, o'tkazuvchanlik toki yo'q bo'lgani uchun, bu tenglama quyidagicha yoziladi:

$$\oint H \ell d\ell = \frac{dD_n}{dt} \quad (15.2)$$

Bu tenglama quyidagi ma'noga ega: elektr maydonining istalgan o'zgarishi magnit maydonini hosil qiladi. O'z navbatida, magnit maydonining o'zgarishi uyurmali elektr maydonini vujudga keltiradi, uning kuchlanganlik vektori sirkulyasiyasi, berilgan konturni kesib o'tuvchi, ishorasi teskari bo'lgan magnit maydon induksiya oqimining o'zgarish tezligiga tengdir.

$$\oint E \ell d\ell = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (15.3)$$

Bu **Maksvellning ikkinchi tenglamasidir**.

Elektr maydon induksiya oqimi uchun Gauss teoremasi ifodasi

$$\oint D_n dS = q \quad (15.4)$$

Maksvellning uchinchi tenglamasi hisoblanadi.

Magnit maydoni induksiya oqimi uchun Gauss teoremasi ifodasi

$$\oint B_n dS = 0 \quad (15.5)$$

Maksvellning to'rtinchi tenglamasidir.

3. Maksvellning beshinchi, oltinchi va yettinchi tenglamalari

Elektr maydonining kuchlanganligi va induksiya vektorlarining o'zaro bog'lanishi

$$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E} \quad (15.6)$$

Maksvellning beshinchi tenglamasidir.

Magnit maydonining kuchlanganligi va induksiya vektorlarining o'zaro bog'liqlik tenglamasi

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H} \quad (15.7)$$

Maksvellning oltinchi tenglamasidir.

Elektr maydoni kuchlanganligini o'tkazuvchanlik toki zichligi bilan bog'liqlik ifodasi

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (15.8)$$

Maksvellning ettinchi tenglamasi deb ataladi.

Bu yuqorida sanab o'tilgan ettita tenglamalar **Maksvellning tenglamalar tizimi** deb ataladi.

Bu tenglamalardan elektr va magnetizmga mavjud bo'lgan barcha qonunlarni keltirib chiqarish mumkin.

Takrorlash uchun savollar

1. Maksvellning birinchi tenglamasi nima haqida?
2. Maksvellning ikkinchi, uchinchi va to'rtinchi tenglamalarini keltirib chiqaring.
3. Maksvellning beshinchi, oltinchi va yettinchi tenglamalarini tushuntiring.
4. Tenglamalar tizimi deganda nimani tushundingiz.

5. Gauss teoremasini yozing.
6. Elektr maydon induksiya oqimi uchun Gauss teoremasi ifodasi qanday?
7. Magnit maydoni induksiya oqimi uchun Gauss teoremasi ifodasi qanday?
8. Elektr maydon induksiya (siljish) vektori nima?

I L O V A

HALQARO BIRLIKLAR TIZIMI (XBT)

1960 yili o'ltchov va og'irliklar XI Bosh konferensiyasida halqaro miqyosida Halqaro birliklar tizimi o'rnatilgan.

Jadval-1

Kattaliklar turi	Birliklar nomi	Qisqacha belgilash
Uzunlik	Metr	m
Massa	kilogramm	kg
Vaqt	sekunda	s
Elektr toki kuchi	Amper	A
Temperatura	kelvin	K
Yorug'lik kuchi	Kandela	kd
Modda miqdori	mol	mol
Tekis burchak	Radian	rad
Teles burchak	steradian	sr

Jadval-2

XBT birliklarining hosilalari

Birliklar	Birliklar nomi	Qisqartirilgan belgisi	Boshqa birliklar bilan bog'lanish
Kuch	N'yuton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Bosim	Paskal	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$
Energiya, ish	Djoul	Dj	$1 \text{ Dj} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$
Quvvat	Vatt	Vt	$1 \text{ Vt} = 1 \text{ Dj} \cdot \text{s}^{-1}$
Zaryad	Kulon	Kl	$1 \text{ Kl} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$
Elektr kuchlanishi	Vol't	V	$1 \text{ V} = 1 \text{ Vt} \cdot \text{A}^{-1}$
Elektr sig'imi	Farada	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ Kl} \cdot \text{V}^{-1}$
Elektr qarshilik	Om	Om	$1 \text{ Om} = 1 \text{ V} \cdot \text{A}^{-1}$
Elektr o'tkazuvchanlik	Simens	sm	$1 \text{ sm} = 1 \text{ Om}^{-1}$
Magnit oqimi	Veber	Vb	$1 \text{ Vb} = 1 \text{ V} \cdot \text{s}$
Magnit oqimi zichligi	Tesla	T	$1 \text{ T} = 1 \text{ Vb} \cdot \text{m}^{-2}$
Induktivlik	Genri	G	$1 \text{ G} = 1 \text{ Vb} \cdot \text{A}^{-1}$
Yorug'lik oqimi	Lyumen	Lm	$1 \text{ lm} = 1 \text{ kd} \cdot \text{sr}$
Yoritilganlik	Lyuks	Lk	$1 \text{ lk} = 1 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2}$

CHastota	Gers	Gs	1 Gs=1 s ⁻¹
Singdirish qobiliyati	Dioptriya	Dpt	1 dpt=1 m ⁻¹

Fundamental fizik doimiylar

Kattalik	Belgisi	Son qiymatlari
Yorug`lik tezligi	s	$2,997924458 \cdot 10^{11}$
Vakuumning magnit singdiruvchanligi	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Gn.m}^{-1}$
Dielektrik singdiruvchanlik	$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2}$	$8,85418782 \cdot 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$
Ridberg doimiysi	R_∞	$10973731,77 \text{ m}^{-1}$
Plank doimiysi	$\eta = \frac{h}{2\pi}$ h	$1,0545887 \cdot 10^{-34} \text{ Dj.s}$ $6,626176 \cdot 10^{-34} \text{ Dj.s}$
Elektronning tinch holatdagi massasi	m_e	$9,109534 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Elektronning ting holatdagi energiyasi	$m_e c^2$	$0,5110034 \text{ MeV}$
Protonning tinch holatdagi massasi	m_p	$1,6726485 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Protonning tinch holatdagi energiyasi	$m_p c^2$	$938,2796 \text{ MeV}$
Neytronning tinch holatdagi massasi	m_n	$1,6749543 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Neytronning tinch holatdagi energiyasi	$m_n c^2$	$939,5731 \text{ MeV}$
Proton massasining elektron massasiga nisbati	m_p / m_e	1836,15152
Elektron zaryadi	e	$1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$
Elektron zaryadining uning massasiga nisbati	e / m_e	$4,803242 \cdot 10^{-10} \text{ SGSE z.b.}$
Bor magnetoni	μ_B	$1,7588047 \cdot 10^{-11} \text{ Kl.kg}^{-1}$
Yadro magnetoni	μ_N	$9,274078 \cdot 10^{-24} \text{ Dj.Tl}^{-1}$
Yadro magnetonida neytronning magnit momenti	μ_n / μ_H	$5,050824 \cdot 10^{-27} \text{ Dj.Tl}^{-1}$
Yadro magnetonida protonning magnit momenti	μ_p / μ_N	1,91315
Massaning atom birligi	$m.a.b.$	2,7928456
$(10^{-3} \text{ kg. mol}^{-1}) \cdot N_A$ M.a.b. birligida:		$1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Vodorod massasi	^1H	1,007825036
Deyteriy massasi	^2H	2,014101795
Geliy-4 massasi	^4He	4,002603267
Avogadro doimiysi	N_A	$6,022045 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Faradey doimiysi	$F = e \cdot N_A$	$96484,56 \text{ Kl.mol}^{-1}$
Molyar gaz doimiysi	R	$8,31441 \text{ Dj.mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Normal sharoitda (P=1 atm, T0=273,15 K) ideal gazning molyar hajmi	V_m	$22,41333 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
Bol`sman doimiysi	$k = R / N_A$	$1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ Dj.K}^{-1}$
Nozik tuzilish doimiysi	α	0,0072973506

Foydalaniladigan asosiy darsliklar va o'quv qo'llanmalar ro'yxati

1. И.В.Савельева. Умумий физика курси. Тошкент. Ўқитувчи, 1973.
2. А.А Грибов, Н.И. Прокофьева. "Основы физики". М. Гордарина 1998.
3. П.Хабибуллаев, М.Исмоилов, М.Халиулин. «Физика курси» Т.«Ўзбекистон» 2000.
4. Бурибаев И., Каримов Р. Электр ва магнетизмдан физпрактикум. ЎзМУ. Т. 2002 й.
5. О.Ахмаджонов "Физика курси". «Механика ва молекуляр физика». Тошкент. Ўқитувчи. — 1985йил.
6. О.Ахмаджонов "Физика курси" «Электр ва магнетизм». Тошкент, Ўқитувчи. 1981 йил.
7. О.Ахмаджонов "Физика курси" III Оптика. Атом ва ядро физикаси. Тошкент, Ўқитувчи — 1989йил.
8. А.С.Нумонхужаев "Физика курси" I механика. Статистик физика. Термодинамика. Тошкент, Ўқитувчи 1992йил.
9. У.К.Назаров, З.Икромов, К.А.Турсунметов "Умумий физика курси". Механика ва молекуляр физика. Тошкент «Ўзбекистон» 1992 йил.
10. А.С.Сафаров "Умумий физика курси" Электромагнетизм ва тўлкинлар. Тошкент, Ўқитувчи. 1992 йил.
- 11.. К.А.Путилов, Физика курси, Ўқитувчи, Тошкент. 1986 йил.
12. Р.Х.Вакил, Квант механикасига кириш. Тошкент. 1989 йил.
13. Г.Абдуллаев "Физика" Ўқитувчи" Тошкент. 1980йил.
14. Трофимова "Курс физики" Мир. Москва 1985 йил.
15. Блохинцев "Квантовая механика"Мир Москва 1980 йил.
16. N.A.Sultonov "Fizika kursi" Т., 2007 у.

Qo'shimcha adabiyotlar

1. А.К.Кикоин, И.К. Кикоин. Молекуляр физика.Тошкент. Ўқитувчи. 1978.
2. Э.Г.Калашников. Электр. Тошкент, Ўқитувчи. 1979.
3. Г.С.Ландсберг. Оптика. Тошкент. Ўқитувчи. 1981
4. С.П.Стрелков. Механика. Тошкент, Ўқитувчи. 1977.
5. А.А.Детлаф, Б.М. Яворский, Л.В.Милковская. Курс физики. Москва. "Высшая школа" 1973.
6. Г.А.Зисман, О.М.Тодес. "Курс общей физики». Москва. Наука. -1974
5. Под.ред.Д.В.Сивухина «Сборник задач по общему курсу физики». Москва. Наука. - 1976.
6. У.Абдурахмонов, М. М Русак, Б.Ж. Юсупов Электростатика. Т. Университет. 1993.
7. У.Абдурахмонов, М. М Русак, Б.Ж. Юсупов. Ўзқалмас зарядлар электр майдонидаги Ўтказгичлар ва диэлектриклар. Т. Университет. 1994.
8. У.Абдурахмонов, М. М Русак, Б.Ж. Юсупов. Ўзгармас электр токи ва унинг магнит майдони. Моддаларнинг магнит хоссалари. Т. Университет. 1996.
9. М.А. Магруппов, М.М Русак, Б.Ж. Юсупов. Механика. Молекуляр физика ва термодинамика асослари. Т. Университет, 1996.
10. Р.И.Грабовский. Физика курси. Тошкент: Ўқитувчи, 1973.
11. Д.И.Сахаров Физика масалалари тўплами. Тошкент, 1969.
12. Д.В.Сивухин умумий физика курси. Тошкент. Ўқитувчи,1981.
15. Т.Трафимов "Курс физики" 1985 йил.
16. И.А.Радченко. Молекулярная физика. Москва. Наука, 1982.
17. Пўлатов ва бошқалар. Физикадан мультимедияли электрон дарслик Фарўона, ФДУ. 2008йил.
18. www.edu.uz.

19. www.edu.ru
20. www.cer.uz
21. www.uz
22. www.ilm.uz