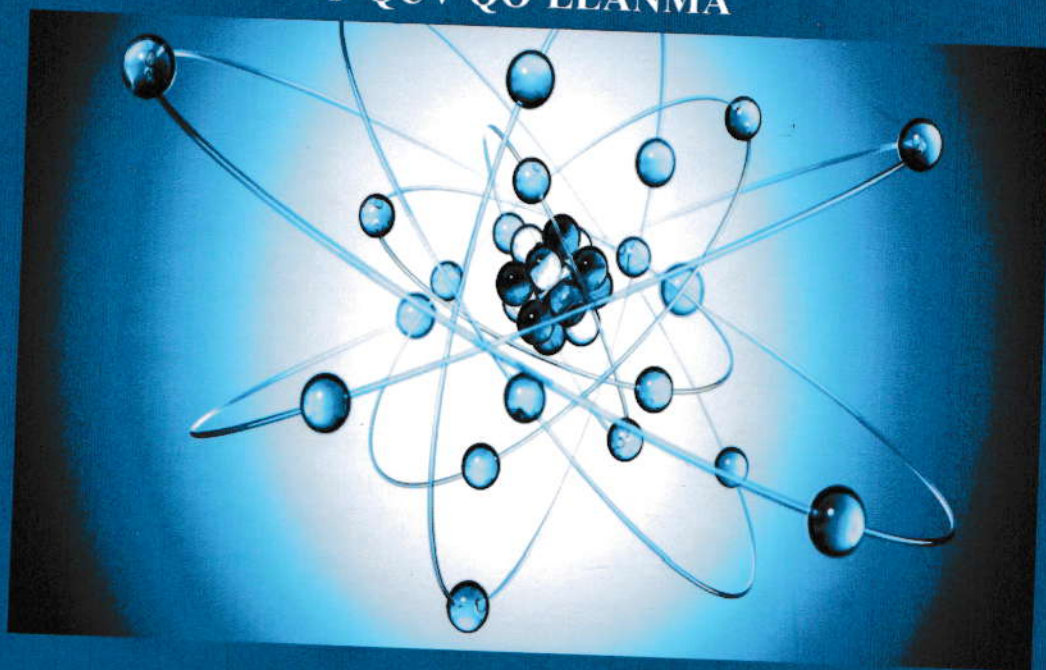


K.R.Nasriddinov
E.N.Xudayberdiyev
N.B.Azzamova

NAZARIY FIZIKA 1

O'QUV QO'LLANMA



O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRILIGI
CHIRCHIQ DAVLAT PEDAGOGIKA UNIVERSITETI

K.R.Nasriddinov, E.N.Xudayberdiyev, N.B.Azzamova

NAZARIY FIZIKA 1

Pedagogika oliy ta'lim muassasalari uchun o'quv qo'llanma

Chirchiq – 2024

UO'K 537.8
KBK 22.33
N-65

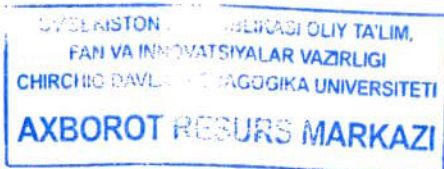
Nasriddinov K.R., Xudayberdiyev E.N., Azzamova N.B. /
Nazariy fizika 1/ O'quv qo'llanma. – Toshkent: "Sarbon LLS", 2024.
– 136 bet.

Nasriddinov K.R. – Chirchiq davlat pedagogika universiteti professori, f.-m.f.d.
Xudayberdiyev E.N. – Navoiy davlat pedagogika instituti dotsenti, f.-m.f.n.
Azzamova N.B. – Navoiy davlat pedagogika instituti katta o'qituvchisi

UO'K 537.8
KBK 22.33

ISBN 978-9910-9026-6-6

© **Nasriddinov K.R.** va b., 2024
© "Sarbon LLS", 2024



KIRISH

Nazariy fizikaning Elektrodinamika bo'limi elektromagnit maydon va uning xususiyatlari to'g'risidagi fan bo'lib, uzoq taraqqiyot yo'liga ega. Bu bo'limni o'zlashtirish o'ziga xos yondashuvni taqozo qiladi. Bunga sabab, bu bo'lim o'rganadigan jarayonlarning murakkabligi, uni o'zlashtirish yuqori darajadagi tasavvurlarni talab qilishi bilan izohlanadi. Elektrodinamikaning matematik apparati bo'lgan Maksvell tenglamalari sistemasi, uning turli holatlardagi ko'rinishlari, matematik ifodalarning fizik mohiyati, Umumiy fizikaning Elektromagnetizm va Optika bo'limlari bilan o'zaro bog'liqligi kabi jihatlari bu bo'limning talabalar tomonidan o'zlashtirish samaradorligini talab darajasida ta'minlashni talab qiladi.

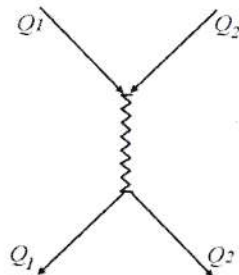
1. Nazariy fizikaning Elektrodinamika bo'limi bo'yicha yaratilgan ushbu o'quv qo'llanma mavzular bayoni, uni fizikaning boshqa bo'limlari (Elektromagnetizm bo'limi) hamda matematika fani bilan fanlararo aloqadorlikda bayon qilish orqali talabalar ongiga etkazishga qaratilgan yondashuv asosida bayon qilish jihatdan V.V.Multanovskiy va A.S.Vasilyevskiy larning (Мултановский В.В., Васильевский А.С. Курс теоретической физики. Классическая электродинамика. – М.: Просвещение, 1998. – 272 с.) o'quv qo'llanmasiga yaqin turadi. Lekin bu o'quv qo'llanmada mavzular mazmunining talabalar tomonidan samarali o'zlashtirilishiga xizmat qiluvchi sinov savollari, masala yechish namunalari, mustaqil yechishga mo'ljallangan masalalar, nostandart testlar, zarur bo'lgan fizik kattaliklar hamda glossariy bilan ham ta'minlangan. Bu holat ushbu bo'limning samarali o'zlashtirilishiga xizmat qilishi shubhasiz. Nazariy fizika kursining Elektrodinamika bo'limi uchun tayyorlangan ushbu o'quv qo'llanmasi yuqorida keltirilgan talablarni hisobga olgan holda pedagogika oliy ta'lim muassasalari 60110700 – Fizika va astronomiya bakalavriat ta'lim yo'nalishi fan dasturiga mos holda tayyorlandi.

Ushbu o'quv qo'llanmadan bakalavrlar, magistrilar, fan o'qituvchilari va boshqa fizika fani bilan qiziquvchilar foydalanishlari ham mumkin.

1. Elektrodinamikaga kirish

- *Elektrodinamikaning predmeti, obyekti, asosiy tushunchasi.*
- *Elektrodinamikaning matematik apparati.*

Elektrodinamika elektromagnit maydon, uning xususiyatlari, zaryadlangan zarralarga ta'siri to'g'risidagi fandir. Elektr zaryadi elektrodinamikaning asosiy tushunchasidir. Chunki zaryadlangan zarralar sistemasi elektromagnit maydonning manbasi hisoblanadi. Zaryadning o'zi esa alohida, ya'ni mustaqil substantsiya (mavjudlik) bo'lib, uning tashuvchilari bo'lgan zarralardan alohida mavjud bo'lgan reallikdir. Zarra zaryadsiz mavjud bo'lishi mumkin. Masalan, neytron-neytral, ya'ni zaryadsiz zarra. Lekin zaryad alohida mustaqil mavjudlik bo'lishiga qaramasdan zarrasiz mavjud bo'la olmaydi. Shu sababli ham elektr zaryadi zarralarning ajralmas xususiyati deb qaraladi. Zaryadning miqdori nuqtaviy zaryadlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchi orqali aniqlanadi (Kulon qonuniga asosan). Elektrodinamikaning asosiy ob'ekti elektromagnit maydondir. Elektromagnit maydon zaryadli zarralar orasidagi elektromagnit o'zaro ta'sir tashuvchisidir. Ya'ni, elektromagnit o'zaro ta'sir elektromagnit maydon orqali amalga oshadi.



1.1-rasm.

Ma'lumki, materiya ikki xil ko'rinishda, ya'ni modda va maydon ko'rinishlarida mavjud bo'ladi. Biz gravitatsion, elektr va magnit maydonlarini bilamiz. Elektromagnit maydon (elektr va magnit maydonlarining umumiy ko'rinishi) ham materiyaning bir ko'rinishidir. Elektromagnit maydon zaryadli

zarrachalar sistemasi tomonidan hosil qilinadi. Lekin manbadan ajralgandan keyin mustaqil holda mavjud bo'lishi mumkin. Bunday erkin holdagi elektromagnit maydonga elektromagnit to'lqin deyiladi. Masalan, Quyosh fotosferasi atomlarining nurlanishidan hosil bo'lgan Quyosh nuri elektromagnit to'lqin ko'rinishida harakatlanib taxminan 8,3 minutdan keyin Yerga etib keladi. Barcha elektromagnit nurlanishlar (to'qinlar) elektr zaryadlarining harakati natijasida hosil bo'ladi va manbadan ajralib mustaqil mavjud bo'lib c — tezlikda tarqaladi hamda fazoning makroskopik sohalarni egallaydi.

Mexanikada kuch maydoni tushunchasi qo'llaniladi. Bu kuch maydoni matematik apparat bo'lib jismlarning o'zaro ta'sirini tushuntirishda qo'llaniladi. Ya'ni, bu mexanistik kontseptsiyaga ko'ra biror jismga boshqa jism tomonidan ta'sir qiluvchi kuch to'g'ridan-to'g'ri, hech qanday oraliq yordamchi elementsiz uzatiladi. Lekin tabiatda masofadan turib bunday ta'sirlashish mumkin emas. Faqat zaryadli zarralarning elektr maydoni bilan o'zaro ta'siri mavjud. Shu o'rinda elektromagnetizm bo'limida ikkita zaryadli zarraning o'zaro ta'sirlashishini misol keltirish mumkin: bunda har bir zaryadli zarra o'z atrofida elektr maydoni hosil qiladi. Birinchi zarra ikkinchi zarra hosil qilgan elektr maydoni bilan, ikkinchi zarra esa birinchi zarra hosil qilgan elektr maydoni bilan ta'sirlashadi, ya'ni har bir zarra o'zi joylashgan nuqtadagi ikkinchi zarra hosil qilgan elektr maydoni bilan ta'sirlashadi. Bu holat matematik nuqtai-nazardan quyidagicha ifodalanadi:

$$\vec{F}_{12} = q_1 \vec{E}_2 = q_2 \vec{E}_1 = \vec{F}_{21}$$

Elektrodinamikada esa elektromagnit o'zaro ta'sirning tashuvchisi elektromagnit maydon hisoblanadi. Elektromagnit o'zaro ta'sir c — yorug'lik tezligida tarqaladi. Shu sababli ham elektromagnit maydon relyativistik obyektdir.

Elektrodinamika fani klassik va kvant elektrodinamikasiga bo'linadi. Klassik elektrodinamika makroskopik nazariyadir. Klassik elektrodinamikada maydon va zaryad uzluksiz deb qaraladi. Klassik elektrodinamika zaryadlangan zarralar-protonlar va elektronlar fazoning makroskopik sohalarni egallagan holda o'rinni bo'ladi. Elementar zarralar darajasidagi (1.1-rasm) elektromagnit o'zaro ta'sir

qaralganda esa klassik elektrodinamika qonunlari ma'lum xatolikda ishlaydi. Bunday jarayonlar kvant elektrodinamikasi qonunlari asosida tushuntiriladi. Kvant elektrodinamikada esa maydon va zaryad diskret deb qaraladi hamda u elementar zarralar orasidagi o'zaro ta'sirni bayon qilishga xizmat qiladi.

Elektrodinamikaning nazariy yadrosini Maksvellning differentsial tenglamalar sistemasi tashkil qiladi. Maksvellning differentsial tenglamalar sistemasi elektromagnit maydon tenglamalari sistemasi deb ham ataladi. Bu sistema elektromagnit maydon tashkil etuvchilari $-\vec{E}$ va $-\vec{B}$ orasidagi bog'lanishni ifodalaydi. Elektrodinamikaning matematik apparati deganda Maksvell tenglamalari (elektromagnit maydon tenglamalari) sistemasi tushuniladi. Chunki bu sistemaning yechimi, ya'ni uni yechish orqali $-\vec{E}$ va $-\vec{B}$ larning aniqlanishi elektromagnit maydonning aniqlanganligini bildiradi. Elektrodinamikaning asosiy masalasi zaryadlarning oldindan berilgan taqsimoti va harakatiga qarab ixtiyoriy vaqtdagi elektromagnit maydonni aniqlashdir.

Sinov savollari:

1. Elektrodinamikaning predmeti nima?
2. Elektrodinamikaning asosiy tushunchasi nima?
3. Elektrodinamikaning obyekti nima?
4. Elektrodinamikaning matematik apparati nima?

2. Elektromagnit o'zaro ta'sir

- *Elektromagnit o'zaro ta'sir va uning xarakteristikalar.*
- *Kuchli o'zaro ta'sir.*
- *Kuchsiz o'zaro ta'sir.*
- *Gravitatsion o'zaro ta'sir.*
- *Fotonlar haqida tushincha.*

Fundamental o'zaro ta'sirlar deganda boshqa tur o'zaro ta'sirlardan kelib chiqmaydigan va birlamchi deb qaraladigan o'zaro ta'sirlarni tushunamiz. Elementar zarrachalar har doim o'zaro ta'sir jarayonida vujudga keladi, bir-birlari bilan to'qnashuvda bo'ladi va yo'q bo'lib boshqa zarralarga aylanadi.

Elektron zarralar bilan kechadigan jarayonlarda asosan: kuchli elektromagnit, kuchsiz va gravitatsion o'zaro ta'sirning ushbu to'rt turi o'zining xossalari bilan bir-birlariga ajablanarli darajada o'xshamaydi va ta'sir soxasi hamda ta'sir qiymati bilan keskin farq qiladi.

Elementar zarralarning aylanish jarayonlarida namoyon bo'ladigan 4 xil fundamental o'zaro ta'sir turi mavjud.

1. Elektromagnit o'zaro ta'sir. Bu ta'sirda asosan zaryadlangan zarralar qatnashadi. Lekin neytral zarralar ham o'z strukturasi ga egaligi sababli bu ta'sirda qatnashishi mumkin. Masalan, neytron murakkab strukturaga egaligi, ya'ni magnit momentiga egaligi sababli elektromagnit o'zaro ta'sirda qatnashadi. Bu ta'sir hozirgi paytda eng yaxshi o'rganilgan ta'sir turi hisoblanadi. Elektromagnit ta'sirning muhim xususiyati Kulon qonuniga asosan itarishish va tortishish kuchlarining mavjudligidadir.

Elektromagnit o'zaro ta'sir kuchli o'zaro ta'sirga qaraganda ancha zaif, boshqa kuchlarga qaraganda ancha kuchlidir. Elektromagnit kuchlarning ta'sir doirasi 10^{-14} dan tortib kosmik masofagacha davom etadi. Ko'pchilik hodisalar: atom va molekular tuzilishi, kristallar, kimyoviy reaksiyalar, jismlarning termik va mexanik xususiyatlari, radio to'lqinlar, Quyosh va yulduzlarning nurlanishi kabi hodisalar elektromagnit kuchlar doirasiga kiradi. Elektromagnit o'zaro ta'sir zarralarning o'zidan foton chiqarib *annigilatsiyalanish* jarayonida ham hosil bo'ladi. Zarra – antizarra to'qnashuvlarida bu ikkala zarralarning yo'q bo'lib boshqa bir guruh begona zarralarning tug'ilishi o'zaro bir – birlariga aylanishlari *annigilatsiya* deb yuritiladi. Masalan: elektron va pozitronlar o'zaro annigilatsiyalanib ikkita ba'zan uchta foton vujudga keltiradi.

Elektromagnit o'zaro ta'sir jarayonini Feynman diagrammasi orkali grafik ravishda tasvirlash mumkin. Diagrammani A tugunidagi elektron foton chiqarib, yangi holatga o'tadi. B uchida esa shu foton ikkinchi elektronda yutilib, uchinchi holatga o'zgaradi (2.1-rasm)



2.1-rasm.

Elementar zarralar fizikasining markaziy doimiysidan hisoblanuvchi elektromagnit o'zaro ta'sirni harakterlovchi o'lchamsiz kattalik quyidagicha kiritiladi:

$$\alpha^2 = \frac{e^2}{4\pi\hbar c} = \frac{1}{137}$$

Agar elektromagnit o'zaro ta'sir bo'lmaganda, tabiatda pi – mezonlardan og'ir zarralargina qolar edi xolos. Massasi deyarli bir xil lekin zaryadi bilan farq qiluvchi zarralarni bir – biridan ajratib bo'lmaz edi.

Kundalik turmushda va umuman hayotimizda eng ko'p elektromagnit (elektrodinamik) o'zaro ta'sirga duch kelamiz. Quyidagi tabiat hodisalari elektromagnit o'zaro ta'sir turiga kiradi:

1. Og'irlik kuchidan tashqari barcha turdagi mexanik kuchlar (ishqalanish kuchi, muhitning qarshilik kuchi, elastiklik kuchi, Arximed kuchi, taranglik kuchi, zo'riqish kuchi, bosim kuchi va reaksiya kuchlari) birinchi yaqinlashishda mexanik ta'sirdek tuyulsa-da, elektromagnit (elektrodinamik) o'zaro ta'sir turiga tegishlidir.

2. Molekulalarning betartib xaotik harakati, suyuqlik hodisalari, termodinamikada issiqlik almashish jarayonlari ham elektromagnit (elektrodinamik) o'zaro ta'sir natijasidir.

3. Optik hodisalar (yorug'likning qaytish va sinish hodisasi, interferensiya, difraksiya, qutblanish hodisalari, izotropiya va anizotropiya hodisalari) ham elektromagnit (elektrodinamik) o'zaro ta'sir turiga kiradi.

4. Atom va molekulalarning mavjudligi, ularning nurlanishi elektromagnit o'zaro ta'sir natijasidir.

Olamning biz bilgan holatdagi ko'rinishda bo'lishida elektrodinamik o'zaro ta'sirning roli juda ham kattadir. Agar elektromagnit (elektrodinamik) o'zaro ta'sir turi mavjud bo'lmaganda edi, atom va molekulalar mavjud (bir butun) bo'lmazdi, davriy sistemadagi birorta element, biz bilgan moddalar (suv, tuproq, havo, organik va noorganik birikmalar va hokozalar), moddalarning agregat holatlari (gaz, suyuqlik va qattiq jism) mavjud bo'lmagan, lampochka, Quyosh va yulduzlar nur sochmagan, umuman olganda yorug'lik nuri va elektromagnit to'lqinning o'zi mavjud bo'lmagan bo'lar edi. Osmon jismlari -meteorlar, asteroidlar, planetalar, yulduzlar va hokozalar ko'rinishlarida markazlashmagan va mavjud bo'lmagan bo'lardi. Elektromagnit o'zaro ta'sir turi bo'lmaganda Olamning ko'rinishi zimiston ichra betartib harakatlanayotgan elementar zarralardangina iborat bo'lar edi, xolos. Biz bilgan xilma-xillik va rang-baranglik bo'lmaz edi, hatto o'zimiz ham mavjud bo'lmagan bo'lar edik.

Elektromagnit maydonning asosiy manbalari

Elektromagnit maydonining asosiy manbalari: Elektr uzatish liniyalari. Elektr simlari (bino va inshootlar ichida). Maishiy elektr jihozlari. Shaxsiy kompyuterlar. Televizion va radio uzatish stantsiyalari, sun'iy yo'ldosh va uyali aloqa (qurilmalar, takrorlovchilar), elektr transporti, radar qurilmalari.

Elektr uzatish liniyalari. Ishlayotgan elektr uzatish liniyasining simlari qo'shni makonda (simdan o'nlab metr masofada) sanoat chastotali (50 Hz) elektromagnit maydon hosil qiladi. Bundan tashqari, chiziq yaqinidagi maydon kuchi elektr quvvatga qarab keng diapazonda o'zgarishi mumkin. Aslida, sanitariya muhofazasi zonasining chegaralari $1 \frac{kV}{m}$ ga teng bo'lgan elektr maydonining

maksimal quvvati simlaridan eng uzoqda bo'lgan chegara chizig'i bo'ylab o'rnatiladi.

Maishiy texnika. Elektromagnit maydon manbalari - elektr tokidan foydalanadigan barcha maishiy texnika. Shu bilan birga, nurlanish darajasi texnikaning modelga, qurilma turiga va o'ziga xos ish rejimiga qarab, keng diapazonda o'zgarib turadi. Shuningdek, nurlanish darajasi qurilmaning quvvat sarflanishiga ham bog'liq - quvvat qanchalik baland bo'lsa, qurilma ishlayotganda elektromagnit maydon darajasi shuncha yuqori bo'ladi. Maishiy texnika yaqinidagi elektr maydon kuchi o'nlab $\frac{V}{m}$ dan oshmaydi.

Shaxsiy kompyuterlar. Kompyuter foydalanuvchisining sog'lig'iga salbiy ta'sir ko'rsatadigan asosiy manba bu monitoring vizual displeyi (VSS). Monitor va tizim birligidan tashqari, shaxsiy kompyuter ko'p sonli boshqa qurilmalarni ham o'z ichiga olishi mumkin (masalan, printerlar, skanerlar, kuchlanishdan himoyalovchilar va boshqalar). Bu qurilmalarning barchasi elektr toki yordamida ishlaydi, ya'ni ular elektromagnit maydon manbayi hisoblanadi.

Shaxsiy kompyuterlarning elektromagnit maydoni murakkab to'liq va spektral tarkibga ega bo'lib, o'lchash va miqdorini aniqlash qiyin. U magnit, elektrostatik va radiatsion komponentlarga ega (xususan, monitor oldida o'tirgan odamning elektrostatik salohiyati -3 dan +5 V gacha bo'lishi mumkin). Shaxsiy kompyuterlar hozirda inson faoliyatining barcha sohalarida faol qo'llanilis sharti hisobga olinsa, ularning inson salomatligiga ta'siri diqqat bilan o'rganiladi va nazorat qilinadi.

Televideniya va radio uzatish stantsiyalari. Hozirgi vaqtda O'zbekiston hududida ko'plab radio eshittirish stantsiyalari va har xil aloqa markazlari joylashgan. Yetkazish stantsiyalari va markazlari maxsus ajratilgan joylarda joylashgan va juda katta hududlarni egallashi mumkin (1000 gektargacha). O'z tuzilishiga ko'ra, ular radio uzatgichlar joylashgan bir yoki bir nechta texnik binolarni va bir necha o'nlab antennali yetkazib beruvchi tizimlar (AFS) joylashgan

antenna maydonlarini o'z ichiga oladi. Har bir tizim, radiatsion antennani va uzatish signalini yetkazib beradigan liniyani o'z ichiga oladi.

Sun'iy yo'ldosh aloqasi. Sun'iy yo'ldosh aloqasi tizimlari Yerdagi uzatuvchi stansiya va orbitadagi sun'iy yo'ldosh - retranslyator (radio yoki television dasturlarini qabul qilish va eshitish uchun oraliq punkt bo'lib xizmat qiladigan apparent yoki inshoot) dan iborat. Uzatuvchi sun'iy yo'ldosh aloqa stantsiyalari qisqa to'liq nurini chiqaradi, uning energiya oqimining zichligi yuzlab $\frac{W}{m^2}$ ga etadi. Sun'iy yo'ldosh aloqa tizimlari antennalardan sezilarli masofada yuqori elektromagnit maydon kuchini hosil qiladi. Masalan, 2,38 GHz chastotada ishlaydigan 225 kW quvvatga ega stansiya 100 km masofada 2,8 $\frac{W}{m^2}$ energiya oqimining zichligini hosil qiladi. Asosiy nurga nisbatan energiya tarqalishi juda kichik va asosan antennaning yaqin hududida sodir bo'ladi.

Uyali aloqa. Uyali radiotelefon bugungi kunda eng jadal rivojlanayotgan telekommunikatsiya tizimlaridan biridir. Uyali aloqa tizimining asosiy elementlari bazaviy stansiyalar va mobil radiotelefonlardir. Bazaviy stansiyalar mobil qurilmalar bilan radioaloqani qo'llab - quvvatlaydi, buning natijasida ular elektromagnit maydon manbayi hisoblanadi. Tizim qamrov zonasini radiusi [0,5..10] km.

Asosiy stansiyaning nurlanish intensivligi yuk bilan, ya'ni uyali telefon egalarining ma'lum bir tayanch stansiyaning xizmat ko'rsatish zonasida bo'lishi va telefondan suhbat uchun foydalanish istagi bilan belgilanadi, bu esa, o'z navbatida, asosan kunning vaqtiga, stansiyaning joylashgan joyiga, haftaning kuniga va boshqa omillarga bog'liq. Kechasi stantsiyalarning yuki deyarli nolga teng. Mobil qurilmalarning nurlanish intensivligi ko'p jihatdan "mobil radiotelefon - tayanch stantsiya" aloqa kanalining holatiga bog'liq (tayanch stantsiyadan masofa qanchalik katta bo'lsa, qurilmaning nurlanish intensivligi shuncha yuqori bo'ladi).

Elektr transporti. Elektr transporti (trolleybuslar, tramvaylar, metro poyezdlari va boshqalar) kichik chastota diapazonidagi elektromagnit

maydonlarning kuchli manbayidir. Bunday holda, aksariyat hollarda tortish dvigateli asosiy emitent vazifasini bajaradi.

Radar qurilmalari. Radar va radar qurilmalarida odatda reflektor tipidagi antennalar ("tarelka") bor va ular tor yo'naltirilgan radio nurlarini chiqaradi. Antennaning kosmosdagi davriy harakati radiatsiyaning fazoviy uzilishiga olib keladi. Radiatsiya uchun radarning davriy ishlashi tufayli nurlanishning vaqtincha uzilishi ham mavjud. Ular 500 MHz dan 15 GHz gacha bo'lgan chastotalarda ishlaydi, lekin ba'zi maxsus qurilmalar 100 GHz gacha va undan yuqori chastotalarda ishlashi mumkin. Radiatsiyaning o'ziga xos xususiyati, ular yuqori oqim zichligi ($100 \frac{W}{m^2}$ yoki undan ko'p) bo'lgan maydonlarini hosil qilishi mumkin.

Metall detektorlar. Texnologik jihatdan, metall detektorning ishlash prinsipi elektromagnit maydonga joylashtirilganda, har qanday metall buyum atrofida hosil bo'ladigan elektromagnit maydonni ro'yxatga olish hodisasiga asoslanadi. Bu ikkilamchi elektromagnit maydon intensivligi (maydon kuchi) va boshqa parametrlari bilan farq qiladi. Bu parametrlar ob'yektning o'lchamiga va uning o'tkazuvchanligiga bog'liq (oltin va kumush, masalan, qo'rg'oshinga qaraganda ancha yaxshi o'tkazuvchanlikka ega) va tabiiy ravishda - metall detektori antenasi bilan ob'yektning o'zi orasidagi masofaga bog'liq.

Yuqoridagi texnologiya metall detektorning tarkibini aniqlaydi: u to'rtta asosiy birlikdan iborat: antennalar (ba'zida chiqaruvchi va qabul qiluvchi antennalar boshqacha, ba'zan esa bir xil antenna), elektron ishlov berish bloki, axborot chiqarish birligi (ingl. LCD display yoki ko'rsatkich ko'rsatkichi va audio - karnay yoki naushnik uyesi) va quvvat manbayi.

Qidiruv mexanizmlari. Ushbu metall detektori har xil metall buyumlarni qidirish uchun mo'ljallangan. Ba'zida siz Yer yuzida bir necha metr chuqurlikdagi narsalarni topishingiz kerak bo'ladi. Kuchli antenna yuqori darajadagi elektromagnit maydonni yaratishga qodir va katta chuqurlikdagi eng kichik

oqimlarni ham sezish qobiliyatiga ega. Masalan, qidirayotgan metall detektori Yerning 2-3 metr chuqurlikdagi metall tangani aniqlaydi.

Tekshiruv maxsus xizmatlar, bojxona xodimlari va turli tashkilotlarning xavfsizlik xodimlari tomonidan odam tanasi va kiyimida yashiringan metall buyumlarni (qurol, qimmatbaho metallar, portlovchi qurilmalar simlari va boshqalar) qidirish uchun ishlatiladi. Bu metall detektorlar ixchamligi, ishlatish qulayligi, tutqichning jim tebranishi kabi rejimlarning mavjudligi bilan ajralib turadi (shuning uchun qidirilayotgan odam qidiruv xodimi biror narsa topganini bilmaydi). Bunday metall detektorlarda rubl tangani aniqlash diapazoni (chuqurligi) sm.ga etadi.

Kamerali metall detektorlar ham keng tarqaldi, ular tashqi tomondan kamarga o'xshaydi va odam undan o'tishni talab qiladi. Vertikal devorlari bo'ylab sezgir antennalar o'tkazilgan bo'lib, ular insondagi barcha metall buyumlarni aniqlaydi.

Qurilish maqsadlari uchun. Bu toifadagi metall detektorlar ovozi va yorug'lik signalizatsiyasidan foydalanib, quruvchilarga devorlarning qalinligida ham, bo'laklarning orqasida va soxta panellarda joylashgan metall quvurlar, konstruktiv elementlar yoki disklarni topishga yordam beradi.

2. Kuchli o'zaro ta'sir. Bu ta'sirda qatnashuvchi zarralar *adronlar* deb ataladi. To'g'rirog'i barcha o'zaro ta'sirlarda, shu jumladan kuchli o'zaro ta'sirda ham qatnashuvchi zarralar adronlar deyiladi. Kuchli o'zaro ta'sir proton va neytronlarni yadroda ushlab turadi yoki kvarklar shu kuch orqali bog'lanib adronlarni tashkil qiladi. Yadro va yadro reaksiyalarning xususiyatlariga asosan xuddi shu ta'sir javobgardir. Bilamizki, yadro proton va neytrondan tuzilgan va ular bir - biri bilan kuchli o'zaro ta'sirda bo'ladi. Bu ta'sir doirasining kichikligi sabab, har bir yadro zarrasi faqat qo'shni zarralar bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi. Natijada hamma kimyoviy elementlarning yadrolari uchun proton va neytronlarning zichligi bir xil bo'ladi.

Elementar zarralarda kuchli o'zaro ta'sirning o'lhamsiz doimiysi pion – nuklonning ta'sirlashuv doimiysi "g" orqali quyidagicha xarakterlanadi:

$$\frac{g^2}{4\pi\hbar c} \approx 15.$$

Agar kuchli o'zaro ta'sir bo'lmaganda π mezonlardan yengilroq zarralarda va ular bilan bog'liq bo'lgan fizik hodisalarda aytarli o'zgarishlar bo'lmasdi.

3. Kuchsiz o'zaro ta'sir. Bu ta'sir deyarli barcha zarrachalarga xosdir. Bu ta'sir ostida sodir bo'ladigan jarayonlar ancha sekin yuz beradi. Atom yadrolarining β – parchalanishi kuchsiz o'zaro ta'sirga misol bo'ladi.

Kuchsiz o'zaro ta'sir kuchli o'zaro ta'sirga nisbatan 10^{14} marta zaifdir. Lekin shunga qaramasdan elementar zarralar olamida bu ta'sir o'z orniga ega. Kuchsiz o'zaro ta'sir jarayonlari juda ham xilma xildir. Shunga qaramasdan ularning ta'sir doimiysi bitta $\left(\frac{G}{\hbar c}\right)^2 \left(\frac{\hbar}{mc}\right)^{-4} \approx 5 \cdot 10^{-14}$ bo'ladi. Kuchsiz o'zaro ta'sir kuchli o'zaro ta'sirga qaraganda kamroq simmetriyaga ega. Agar kuchsiz o'zaro ta'sir bo'lmasa, zarralardan faqat neytrino bo'lmasdi xolos.

4. Gravitatsion o'zaro ta'sir. Universal ta'sirdir. Bu ta'sirda barcha zarralar qatnashadi. Gravitatsion o'zaro ta'sir yuqoridagi ta'sirlarning ichida eng zaifdir. Uning ta'sir vaqti 10^{17} s va ta'sir kuchi 10^{-40} bo'lganligi sababli elementar zarralar nazariyasida e'tiborga olinmaydi. Massasi Plank massasidan, ya'ni, $m_{Pl} = 10^{19} GeV$ dan katta jismlar uchungina gravitatsion ta'sir sezilarli bo'ladi.

Har qanday o'zaro ta'sir uchta kattalik bilan xarakterlanadi. Bu kattaliklar - ta'sir intensivligi, ta'sir radiusi, ya'ni ta'sirlashish masofasi va o'zaro ta'sirlashish vaqtidir. O'zaro ta'sir mexanizmini ham hisobga olgan holda bu fundamental o'zaro ta'sirlar to'g'risidagi ma'lumotlar quyidagi 2.1-jadvalda keltirilgan.

O'zaro ta'sir turi	Mexanizmi	Intensivligi	Ta'sir radiusi (m)	Ta'sir vaqti (sek)	Izoh
Kuchli	8 turdagi glyuonlar	$10^{-1} \div 10^1$	$\approx 10^{-15}$	$\approx 10^{-22} \div 10^{-23}$	Bu o'zaro ta'sir sababli kvarklar birlashib adronlarni, nuklonlar birlashib atom yadrolarini hosil qiladi. Yadrolarning α -yemirilishi sodir bo'ladi.
Elektromagnit	Foton	$1/137$	∞	$\approx 10^{-20}$	Bu o'zaro ta'sir yadro va elektronni atomlarga, atomlarni molekulalarga birlashtiradi. Yadrolarning γ -yemirilishi sodir bo'ladi.
Kuchsiz	Oraliq $W^{\pm}, Z^0$ – bozonlar	$\approx 10^{-10}$	$\approx 10^{-17}$	$\approx 10^{-13}$	Deyarli barcha zarralar kuchsiz o'zaro ta'sir ostida parchalanadi. Yadrolarning β -yemirilishi sodir bo'ladi.
Gravitatsion	Graviton	$\approx 10^{-38}$	∞	?	Elementar zarralar olamida o'ta zoifligi sababli e'tiborga olmasa ham bo'ladi.

Quyidagi 2.2-jadvalda maydonlarning turlari, manbalari, o'zaro ta'sir kuchlari, maydonning berk konturda bajargan ishi, xarakteri va energiyasi keltirilgan

2.2-jadval

Maydon turi	Xususiyatlar va tavsiflar					
	Manbalari	O'zaro ta'sir kuchi	Kuch xarakteristikasi	Maydonning berk konturida bajarilgan ishi	Xarakteri	Energiyasi
Elektrostatik maydon	Tinch turgan elektr zaryadi	$F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$	$E = \frac{F}{q_0}$	$A = \oint E_l dl = 0$	Potensial	$W = \frac{\epsilon_0 \epsilon}{2} E^2 V = \frac{DE}{2} V$
Doimiy magnit maydon	Tekis harakatdagi zaryadlar (o'zgarmas tok)	$F = k \frac{2I_1 I_2 l}{r}$	$H = \frac{M_{max}}{I_0 S}$	$A = \oint B_l dl = \mu_0 \sum I_l$	Uyumlali	$W = \frac{\mu_0 H}{2} H^2 V = \frac{BH}{2} V$
Gravitatsiya maydoni	Massaga ega bo'lgan jisim	$F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2}$	$g = \frac{F_{cor}}{m}$	$A = \oint E_{tor} dr = 0$	Potensial	$W = \frac{Gm_1 m_2}{r}$

Sinov savollari:

1. Elektromagnit maydonda zaryadli zarralar qanday harakatlanadilar?
2. Elektromagnit maydonning asosiy manbalariga misollar keltiring.
3. O'zgarmas elektr maydonidagi zaryadli zarra harakatini tushuntiring.
4. O'zgarmas magnit maydonidagi zaryadli zarra harakatini tushuntiring.
5. Neytron elektromagnit maydon bilan ta'sirlashadimi?
6. Elektromagnit maydon qachon aniqlangan deyiladi?

3. Elektr zaryadi va elektromagnit maydon

- *Elektr zaryad, zaryad zichligi.*
- *Vakuumdagi elektromagnit maydon.*

Elektr zaryadi skalyar hamda additiv kattalik. Tabiatda ikki xil elektr zaryadi, manfiy hamda musbat, borligi ma'lum. Elektr zaryadi tabiatan diskretidir. Elektronning zaryadi Milliken tajribasidan aniqlangan. Barcha zaryadlar ishorasidan qat'iy-nazar elektron zaryadiga karralidir. Odatda uch xil zaryad zichligi ishlatilishi bizga ma'lum:

1. Chiziqli zichligi $-\lambda$

$$\lambda = \frac{Q}{L}$$

2. Sirt zichligi $-\sigma$

$$\sigma = \frac{Q}{S}$$

3. Hajm zichligi $-\rho$

$$\rho = \frac{Q}{V}$$

Biror S — ko'ndalang kesim yuzali o'tkazgichdan I — tok kuchiga ega bo'lgan elektr toki oqayotgan bo'lsa

$$\vec{j} = \frac{I}{S}$$

kattaqlikka tok zichligi deyiladi.

1860-1865-yillarda elektr va magnit hodisalari ingliz olimi J.K.Maksvell tomonidan umumlashtirildi va tabiatda materiyaning yangi ko'rinishi bo'lgan elektromagnit maydon mavjudligi to'g'risidagi bashorat ilgari surildi. Unga ko'ra elektr va magnit maydonlari yagona elektromagnit maydonning xususiy ko'rinishlari ekanligi aytiladi. Maksvell o'zidan oldingi barcha tajribalarni chuqur tahlil qilish natijasida shunday xulosaga keldi va o'zining tenglamalari sistemasini yozdi. Vakuum uchun Maksvell tenglamalari (elektromagnit maydon tenglamalari) sistemasi quyidagi ko'rinishga ega

$$\begin{cases} \operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & (2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \operatorname{div} \vec{B} = 0 & (3) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} & (4) \end{cases}$$

Endi Maksvell tenglamalari sistemasining fizik ma'nosiga to'xtalib o'tamiz.

Bu sistemadagi 1-tenglamani qarasak, div-divergentsiya operatori ixtiyoriy vektorga ta'sir qilib $\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}$

$$\operatorname{div} \vec{a} = \vec{\nabla} \cdot \vec{a} = \frac{\partial a_x}{\partial x} + \frac{\partial a_y}{\partial y} + \frac{\partial a_z}{\partial z}$$

skalyar kattalik hosil qiladi. Bu yerda

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA'LIM,
FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
CHIRCHIQ DAVLAT PEDAGOGIKA UNIVERSITETI
AXBOROT RESURS MARKAZI

$$\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k} - \text{nabla operatori.}$$

Demak, *div* –divergentsiya operatori vektor kattalikka ta'sir qilib skalyar kattalik hosil qiladi. Fizik jihatdan esa *div*-divergentsiya operatori manba funksiyasini bildiradi. Shu sababli ham 1-tenglama quyidagicha o'qiladi: elektr maydonining manbasi elektr zaryadidir.

Shu o'rinda *grad* –gradient operatori to'g'risida ham eslatib o'tish o'rinlidir. Chunki bu operatoridan ham keyinroq foydalaniladi. Ya'ni,

$$\text{grad}\phi = \vec{\nabla} \cdot \phi = \frac{\partial \phi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \phi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial \phi}{\partial z} \vec{k}$$

bo'ladi. Demak, gradient operatori ixtiyoriy ϕ –skalyar kattalikka ta'sir qilib vektor kattalik hosil qiladi. Va u biror skalyar kattalikning masofa birligidagi o'zgarishini anglatadi.

Maksvell tenglamalari sistemasining 2-tenglamasini qaraymiz. *rot*-rotor operatori ixtiyoriy $\vec{a}$ vektorga ta'sir qilganda

$$\begin{aligned} \text{rot}\vec{a} &= \vec{\nabla} \times \vec{a} = \left(\frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k} \right) \times (a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}) = \\ &= \left(\frac{\partial a_z}{\partial y} - \frac{\partial a_y}{\partial z} \right) \vec{k} + \left(\frac{\partial a_x}{\partial z} - \frac{\partial a_z}{\partial x} \right) \vec{j} + \left(\frac{\partial a_y}{\partial x} - \frac{\partial a_x}{\partial y} \right) \vec{i} \end{aligned}$$

hosil bo'ladi. Ya'ni, *rot*-rotor operatori vektor kattalikka ta'sir qilib vektor kattalik hosil qiladi. Fizik jihatdan esa *rot*-rotor operatori maydonning xarakterini, ya'ni maydon hosil qilgan kuch chiziqlari xarakterini bildiradi. Masalan, elektromagnetizm bo'limida elektrostatik maydon uchun

$$\text{rot}\vec{E} = 0$$

ifoda elektrostatik elektr maydon kuch chiziqlari berk emasligini (uyurmali emasligini), ularning musbat zaryaddan boshlanib manfiy zaryadda tugashini anglatadi. Shu sababli ham 2-tenglamaning ma'nosi quyidagicha: o'zgaruvchan magnit maydoni o'zgaruvchan elektr maydonini hosil qiladi va hosil bo'lgan elektr maydonining kuch chiziqlari berk, ya'ni elektrostatik elektr maydonidan farq qilib uyurmali elektr maydondir.

Maksvell tenglamalari sistemasining 3-tenglamasi 1-tenglamaga o'xshash bo'lib quyidagi ma'noga ega: tabiatda magnit zaryadi yo'q. Ya'ni, u shunday zaryadki elektr zaryadiga o'xshab tinch turgan holda o'z atrofida magnit maydoni hosil qilsin. Ingliz fizigi P.Dirak tomonidan shunday zaryadning mavjudligi XX asrning 30-yillarida bashorat qilingan. Bunday magnit zaryadli zarra Dirak monopoli deyiladi. Lekin uning mavjudligi haligacha tajribalarda o'z tasdig'ini topmadi.

Maksvell tenglamalari sistemasidagi 4-tenglama quyidagi ma'noga ega: elektr toki kabi o'zgaruvchan elektr maydoni o'zgaruvchan magnit maydonini hosil qiladi.

Maksvell tenglamalari sistemasini 2- tenglamasining o'ng tomoni va 4-tenglamasining o'ng tomonidagi 2-had Faradeyning elektromagnit induksiya hodisasini o'zida aks ettiradi. Ya'ni, o'zgaruvchan elektr va magnit maydonlari bir-birlarini hosil qiladi.

Maksvell tenglamalari sistemasiga ko'ra elektromagnit maydon ikkita komponentaga, ya'ni, $-\vec{E}$ va $-\vec{B}$ tashkil etuvchilarga ega. Bu tashkil etuvchilar vaqt bo'yicha o'zgarishi natijasida o'zaro bir-birlarini hosil qiladi va c –tezlikda tarqalib fazoning makroskopik sohalarini egallaydi. Maksvell tenglamalari sistemasida ϵ_0 –elektr doimiysi hamda μ_0 –magnit doimiysi ishtirok etadi. Ular mos holda vakuumning elektr hamda magnit xususiyatlarini xarakterlaydi va quyidagi qiymatlarga ega

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{F}{m}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N}{A^2}$$

Muhitni xarakterlovchi boshqa kattaliklar yo'qligi uchun biz qarab chiqqan Maksvell tenglamalari sistemasini elektromagnit maydon tenglamalari sistemasini vakuumdagi elektromagnit maydonni ifodalaydi.

Sinov savollari:

1. Maksvell tenglamalari sistemasi 1-tenglamasi ma'nosini tushuntiring.
2. Maksvell tenglamalari sistemasi 2-tenglamasi ma'nosini tushuntiring.
3. Maksvell tenglamalari sistemasi 3-tenglamasi ma'nosini tushuntiring.
4. Maksvell tenglamalari sistemasi 4-tenglamasi ma'nosini tushuntiring.
5. Nima uchun bu elektromagnit maydon vakuum uchun deyiladi?

4. Elektromagnit maydonning zaryadli zarraga ta'siri

- *Elektromagnit maydonning zaryadli zarraga ta'siri.*
- *Lorens kuchi.*

Elektromagnit maydon elektrodinamikaning o'rganish obyektidir. Materiya modda va maydon ko'rinishlarida mavjud bo'lishini bilamiz. Elektromagnit maydon ham materiyaning bir ko'rinishidir. Shu o'rinda materiyaning bu ikki ko'rinishi o'rtasidagi farqni qarab chiqishimiz mumkin. Moddadan iborat jismlar ma'lum shaklga ega bo'lishadi va fazoning ma'lum koordinatasida faqat bitta jism joylashishi mumkin. Maydon esa fazoning ma'lum chegaralangan qismida lokal holatda bo'lmasdan makroskopik hajmlarni egallaydi hamda kiruvchanlik xususiyatiga ega. Ya'ni, fazoning ma'lum koordinatali qismida bir vaqtda bir necha maydon mavjud bo'lishi mumkin.

Modda va maydon materiyaning ko'rinishlari bo'lganligi sababli jismlar uchun o'rinli bo'lgan energiya, impuls va impuls momenti kabi universal fizik tushinchalar maydonlar uchun ham o'rinlidir. Maydonlar uchun bu kattaliklar ular egallab turgan hajmda uzluksiz taqsimlangan deb qaraladi. Maydonning jismlarga ta'siri ushbu kattaliklar hisobidan sodir bo'ladi. Maydonning modda bilan o'zaro ta'sirlashishi natijasida uning energiyasi, impulsi va impuls momenti o'zgaradi. Masalan, yorug'likning moddada yutilishi yoki elektrodvigatelda elektr toki energiyasining elektromagnit maydon energiyasiga va undan keyin mexanik energiyaga aylanishi.

Lekin energiya, impuls va impuls momenti kabi kattaliklar elektromagnit maydonni xarakterlash uchun qo'llanilmaydi. Chunki bu kattaliklar elektromagnit maydon xususiyatini o'zida aks ettira olmaydi. Elektromagnit maydonning xususiyatini bu maydon tomonidan zaryadli zarralarga ko'rsatiladigan ta'sir kuchi aks ettiradi. Elektromagnit maydon ikkita tashkil etuvchiga egalligi uchun zaryadli zarraga ta'sir etuvchi kuch ham ikkita tashkil etuvchiga ega:

$\vec{F}_E$ — elektr tashkil etuvchisi, elektromagnit maydonning elektr tashkil etuvchisi tomonidan zaryadli zarraga ta'sir qiluvchi kuch. Elektromagnetizm bo'limidan ma'lumki, bu kuch

$$\vec{F}_E = q\vec{E} \quad (4.1)$$

kabi ifodalanadi va unga ko'ra bu kuch tinch turgan hamda harakatdagi zarraga uning tezligidan qat'i-nazar bir xilda ta'sir qiladi.

$\vec{F}_M$ — magnit ta'sir etuvchisi, elektromagnit maydonning magnit tashkil etuvchisi tomonidan zaryadli zarraga ta'sir qiluvchi kuch. Elektromagnetizm bo'limidan ma'lumki, bu kuch

$$\vec{F}_M = q[\vec{v}\vec{B}] \quad (4.2)$$

kabi ifodalanadi va unga ko'ra bu kuch faqat harakatdagi zarraga ta'sir qiladi hamda uning kattaligi zarraning tezligiga bog'liq. (4.1) va (4.2) munosabatlar experimental natijalarga tayanib topilgan. 1- munosabatga ko'ra $\vec{F}$ va $\vec{E}$ larning yo'nalishi zaryad ishorasiga qarab bir tomonga yoki qarama-qarshi tomonga yo'nalgan bo'ladi. 2- munosabatga ko'ra esa kuch $\vec{B}$ ga perpendikulyar yo'nalishda ta'sir qiladi (chap qo'l qoidasi). Shunday qilib elektromagnit maydondagi nuqtaviy zaryadga elektromagnit maydon tomonidan

$$\vec{F} = \vec{F}_E + \vec{F}_M = q\vec{E} + q[\vec{v}\vec{B}] \quad (4.3)$$

kuch ta'sir qiladi va bu kuchga Lorents kuchi deyiladi. Bu kuch ta'sirida zaryadli zarralar murakkab spiralsimon ilgarilanma harakat qiladilar. (4.1) va (4.2) dan elektr maydon kuchlanganligi hamda vektor maydon induksiyasi birliklari

$$1 \frac{V}{m} = 1 \frac{N}{Kl}$$

$$1Tl = 1 \frac{N}{Kl \cdot \frac{m}{s}}$$

kelib chiqadi. (4.1) va (4.2) munosabatlardagi q –sinov zaryadi bo'lib, uning qiymati juda kichikdir. Chuki u elektromagnit maydonni hosil qilgan zaryadlar sistemasiga ta'sir qiladigan darajada katta bo'lmashligi kerak. (4.1) va (4.2) munosabatlar $-\vec{E}$ va $-\vec{B}$ ni aniqlashda foydalaniladi.

Elektromagnit maydon aniqlangan deyiladi, agar

$$\vec{E} = \vec{E}(\vec{r}, t), \vec{B} = \vec{B}(\vec{r}, t)$$

bo'lsa, ya'ni fazoning har bir nuqtasida va vaqtning har bir momentida $-\vec{E}$ va $-\vec{B}$ tashkil etuvchilar aniqlangan bo'lsa. Elektromagnit maydon statsionar deyiladi, agar $-\vec{E}$ va $-\vec{B}$ tashkil etuvchilar vaqt bo'yicha o'zgarmasa. Elektromagnit maydon bir jinsli deyiladi, agar $-\vec{E}$ va $-\vec{B}$ tashkil etuvchilar fazoning har bir nuqtasida bir xil qiymatga ega bo'lsa. Umumiy holda elektromagnit maydon fazoda bir jinsli emas va vaqt bo'yicha o'zgaruvchandir. Agar $-\vec{E}$ va $-\vec{B}$ tashkil etuvchilar aniq bo'lsa na faqat zaryadli zarralarga ta'sir qiluvchi kuchlarni, balkim elektromagnit maydonning energiyasi, impulsi hamda impuls momentini ham aniqlash mumkin.

Maydon kiruvchanlik xususiyatiga egaligini bilamiz. Faraz qilamiz, fazoda bir nechta elektromagnit maydon mavjud. Masalan, ρ_1 –zaryad zichligiga va $\vec{j}_1$ –tok zichligiga ega zaryadlar sistemasi $\vec{E}_1$ – va $\vec{B}_1$ – komponentali elektromagnit maydonni, ρ_2 –zaryad zichligiga va $\vec{j}_2$ –tok zichligiga ega zaryadlar sistemasi esa $\vec{E}_2$ –va $\vec{B}_2$ –komponentali elektromagnit maydonni va hakoza hosil qilsin. U holda bu elektromagnit maydonlar qo'shilishi natijasida umumiy elektromagnit maydon hosil bo'ladi. Bu umumiy elektromagnit maydonning tashkil etuvchilari quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{cases} \vec{E} = \sum_{i=0}^n \vec{E}_i \\ \vec{B} = \sum_{i=0}^n \vec{B}_i \end{cases} \quad (4.4)$$

(4.4)-ifoda superpozitsiya prinsipi deb ataladi. Unga ko'ra, natijaviy elektromagnit maydon tashkil etuvchilari har bir elektromagnit maydon tashkil etuvchilarining vektor yig'indisi kabi aniqlanadi.

Sinov savollari:

1. Elektr maydoni tomonidan zaryadli zarraga ta'sirni izohlang.
2. Magnit maydoni tomonidan zaryadli zarraga ta'sirni izohlang.
3. Lorents kuchini tushuntiring.
4. Superpozitsiya prinsipini tushuntiring.

5. Elektrodinamikaning eksperimental asoslari

- *Elektrodinamika fanining yaralish xronalogiyasi.*
- *Elektromagnit maydon mavjudligining asosi.*
- *Maksvell nazariyasining tajribadagi tasdig'i*

Har qanday yangilik bo'sh joyda, asossiz, o'zidan-o'zi yaralib qolmaydi. Fanning o'zi ham doimiy, uzluksiz va sistemali yondoshuvni talab qiladi va uning rivojlanishi xuddi shunday yondoshuv orqali ta'minlanadi. Su ma'noda elektrodinamika fani ham uzoq yillik murakkab shakllanish va riojlanish yo'lini bosib o'tgan. Elektr va magnit hodisalari qadimdan ma'lum bo'lishiga qaramay ular ilmiy nuqtai-nazardan XVI asrning ikkinchi yarmidan boshlab o'rganila boshlandi. Elektrodinamika to'g'risidagi tushuncha juda qadimgi bo'lib, Dekart davrida ham ikkita o'zaro ta'sirlashayotgan jismlarning tortishishi sababi ular orasidagi ma'lum bir muhit deb tushunilgan, magnitlangan va o'zaro elektrlangan jismlarning atrofini qandaydir ko'zga ko'rinmas, sezilmaydigan maydon o'rab olgan deb hisoblangan va uni dunyo "efiri" deb atashgan.

Qadimdan olimlar qahraboni ishqalash natijasida o'ziga boshqa jismlarni tortib olish xususiyatini bilishgan. "Elektr" so'zi qadimiy grek tilidan olingan

bo'lib, elektron - bu "qahrabo" demakdir. Qadimgi greklarda yana maxsus metall temir rudasi mavjud bo'lib, ular ham temir buyumlarni o'ziga tortganligi qadimgi yozuvlarda bitilgan. Shu sababli bunday temir rudalari qadimgi Yunonistonning Magnisiy shahri nomi bilan bog'liq bo'lib, "magnit" so'zi ham shu shaharning nomidan olingan. Lekin qadimda elektromagnit hodisalariga ilmiy tomondan yondashuv mavjud bo'lmagan va buni ilohiy deb tushunilgan. Keyinchalik birinchi bo'lib Lukretsiy Kar o'zining "Tabiatdagi jismlar" asarida magnitning hususiyatini tushuntirib, uni juda ko'p atomlar "oqimi" deb atagan. XII asrda Xitoyda kompas ixtiro qilingan. Kemasozlikning rivojlanishi, dengizda ma'lum yo'nalishda harakatlanish uchun doimiy magnit tabiatini o'rganishga ehtiyoj yuzaga keldi va sun'iy yaratilgan magnit ixtiro qilindi.

Vilyam Gilbert tomonidan 1600-yili yozilgan "Magnit to'g'risida, magnitli jism va ulkan Yerning magniti" asarida magnitning hususiyatlari, uning ikki qutbli ekanligi, magnitning bir xil qutblari bir-birini itarishi, har xil qutblari esa bir-birini tortishini aytib o'tdi va Yerning magnit maydoni haqidagi gipotezani ilgari surdi. Gilbert magnit hususiyatlarini o'rganish bilan birga elektr hususiyatlarini ham o'rganib ularning bir-biridan farq qilishini, elektr xususiyat faqat qaxraboda mavjud bo'lmay, balki qog'oz, xrustal (chinni) shisha, oltingugurt va boshqa moddalarda ham mavjud ekanligini aytib o'tdi.

1672-yili nemis olimi M. Gerike zaryadlar mavjudligini, ular faqat tortishish kuchiga ega bo'lmay, balki itarishishi ham mumkinligini aytib o'tgan. XVII-asrning birinchi yarmida angliyalik Stefan Grey elektr o'tkazuvchanlik hodisasini kashf etdi.

Peterburglik akademik Frans Epinus suyuqliklarda ham elektr mavjudligini, ular ham bir-birini itarishi va tortishishi mumkinligini aytdi va elektr zaryadining saqlanish qonunini kashf qildi. F.Epinus o'zining 1759-yili yozilgan "Magnitlanish va elektrlanish nazariyasidan tajribalar" asarida magnit va elektr kuchlari mavjudligini bayon qilgan. Bu kuchlarning o'zaro uzoqlashganda ta'siri kamayishini kuzatgan.

Fransiyalik harbiy injener Sharl Ogyusten Kulon 1784-yil osma tarozi burilish burchagi orqali nuqtaviy zaryadlarning o'zaro ta'sir kuchini miqdoriy jihatdan aniqlashga harakat qildi. Bundan tashqari Kulon elektr va magnit maydonlarini aniqlagan. U sochning, ipak va metall iplarning buralishlarini tajribalarda ko'rsatib bergan edi. Bu ishlari uchun 1781-yilda Kulon Parij Fanlar akademiyasining a'zosi qilib saylandi. O'zi yasagan buralma tarozidan foydalanib, Kulon bir ishorali va har xil ishorali nuqtaviy elektr zaryadlarning o'zaro ta'sirini batafsil tekshirdi. Bu tajribalar 1785-yilda elektrostatiikaning asosiy qonuni-Kulon qonunining kashf qilinishiga olib keldi. O'zining 1785-1789-yillarda e'lon qilingan ishlarida olim elektr zaryadlari hamisha o'tkazgich sirtida joylashishini ko'rsatdi. Magnit momenti, zaryadlarning qutblanishi va boshqa shu kabi iboralarni fanga kiritdi.

Kulonning eksperimental ishlari elektromagnit hodisalar nazariyasining yaratilishida muhim ahamiyatga ega bo'ldi. Elektr miqdori birligi (K u l o n) uning sharafiga qo'yilgan.

Elektrodinamikaning rivojlanishda Aleksandr Volta tomonidan 1782-yili ixtiro qilingan elektroskop (bug'doy poyasi), 1787-yili A.Benneti tomonidan yaratilgan oltin yaproqchali elektrometr fanda katta yutuq bo'lib xizmat qildi. Luiji Galvanining asosiy ishlari qurbaqalar ustida o'tkazilgan tajribalar bo'lib, u atmosferada ham tirik organizmda ham elektr zaryadi mavjudligini tajribalar orqali isbotladi. Galvani musbat zaryadlar organizmning nervlarida joylashgan, manfiy zaryadlar esa muskullarda joylashgan degan hulosaga keladi. 1783-yili esa u kondensatorli elektroskop yaratgan.

XIX asrning o'rtalariga kelib elektr va magnit hodisalari to'g'risida muhim natijalarga kelina boshlandi. Masalan, bu davrdagi muhim yangiliklardan Kulon qonuni, Amper qonuni, elektromagnit induksiya hodisasi, o'zgarmas tok qonunlari va boshqalar hisoblanadi. Elektr va magnit hodisalarning yutuqlaridan biri Vilgelm Eduard Veber nazariyasi edi, bu nazariya o'sha paytda elektrostatika va elektromagnetizm o'rtasida bog'lanish hosil qildi. Shu bilan bir paytda hali fiziklar

orasida bu hodisalar haqida to'liq bir umumiy fikr yo'q edi. Lekin shu bilan bir qatorda elektr va magnit hodisalari haqida Faradey qarashlari mavjud bo'lib, uning qarashlari biror qarshiliklarga uchramagan bo'lsada, uning tarafdorlari ham yo'q edi. Faradey 1800-yili birinchi bo'lib elektr toki generatorini yaratdi va bu yutuq unga shon-shuhrat olib keldi. U Parijning ikkita akademiyasi a'zolariga saylandi. Napoleon unga Graf unvonini hamda Italiya qirolligining senatorlik lavozimini berdi.

Italiyalik Luidji Galvani odam organizmiga elektr tokining ta'sirini o'rgangan bo'lsa, Aleksandr Volta kontakt tokini kashf qildi, ya'ni turli metallar elektr zaryadini yutishini aniqladi. Anri Amper ikki tushunchani — tok va kuchlanishni farqlab berdi, yopiq zanjirdagi tok yo'nalishini aniqladi (tok kuchining birligi uning nomiga qo'yilgani tasodifiy emas). U shuningdek, parallel o'tkazgichlardan oqayotgan tok bir tomonga yo'nalgan bo'lsa, bu o'tkazgichlar bir-birini tortishini, qarama-qarshi tomonga yo'nalganda esa o'zaro itarishishini aniqladi.

A. Amper magnit, uning qutblarini birlashtiruvchi chiziqqa perpendikulyar bo'lgan tekisliklarda joylashgan doiraviy elektr toklar majmuidan iborat, degan tasavvurga asoslangan magnetizm nazariyasini ishlab chiqdi. 1826-yilda Georg Simon Om o'zining nomi bilan ataladigan elektr zanjirining asosiy qonunini kashf qildi. Om qonuni: o'tkazgichdagi o'zgarma elektr tok I uning ikki kesimi orasidagi U potentsiallar farqi (kuchlanish) ga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni $I = U/R$. Proporsionallik koeffitsiyenti $1/R$, R — o'tkazgichning qarshiligi. Bu qonunni E.X. Lens, B.S. Yakobi, K. Gauss, G. Kirxgoff va boshqalar o'z tadqiqotlariga asos qilib olganlaridan keyingina u fanda tan olindi. 1881-yilda elektrlarning Halqaro kongressida elektr qarshilikning birligi Om nomi bilan ataldi (Om).

M. Faradey tomonidan 1831 yilda elektromagnit induksiya hodisasi kashf etildi. Elektr toki o'z atrofida magnit maydoni hosil qiladi, magnit maydoni yordamida elektr toki hosil qilish mumkinmi? degan g'oya uni olamshumil kashfiyot qilishga yetaklab keldi. Bu hodisa asosida elektr va

magnit maydonlari o'zgarganda o'zaro bir-birlarini hosil qilishi yotadi. Bungacha elektr va magnit hodisalari bir-birlari bilan o'zaro bog'liq bo'lmagan mustaqil hodisalar deb qaralar edi. Maykl Faradey magnit maydoni bilan elektr maydonining o'zaro ta'siriga asoslangan elektrodvigatelni yaratdi. Faradey halqasi birinchi bo'lib transformator qurilmasi yaratilishiga ham asos bo'lgan edi. XIX asrning boshlarida fizikaning elektrotexnika bo'limining rivojlanishi jadallasha boshladi. Elektrotexnikaning rivojlanishi elektrotelegrafda muhim rol o'ynadi. 1860-1870 yillarda telegraf va telefon aloqalarining yo'lga qo'yilishi elektrodinamikaning rivojlanishida muhim bosqich bo'ldi. Elektrodinamikaning rivojlanishi elektr tebranishlarining V. Tomson tomonidan kashf qilinishiga olib keldi va elektrotexnikaning rivojlanishiga yanada katta hissa qo'shdi.

Elektr tebranishlarning fanda o'rganilishi elektr asboblari hamda elektr o'lchagich asboblarning rivojlanishiga olib keldi, elektr o'tkazgichlar ixtiro qilina boshlandi. Rus olimi Pavel Nikolayevich Yablochkov tomonidan 1876-yilda "Yablochkov shami" yaratildi va bu ixtiro elektr energiyasidan yorug'lik ishlab chiqaruvchi sifatida foydalanish yo'lidagi birinchi qadam bo'ldi hamda Yevropa, Amerika, Osiyoda «Rus yorug'i» nomi bilan mashhur bo'ldi.

Fizika rivojining keyingi bosqichi 1860-1865-yillarda J. Maksvell tomonidan elektromagnit maydon nazariyasining yaratilishi bilan bog'liq. Maksvell o'sha paytgacha Sh. Kulon, A. Amper, M. Faradey kabi olimlar tomonidan bajarilgan tajribalarga tayangan holda ish ko'rdi. 1888-yilda G. Gers J. Maksvell tomonidan bashorat qilingan elektromagnit to'lqin-larning mavjudligini tajribada isbotladi. Shuningdek, Maksvell to'lqin optikasiga asos solgan X. Gyugens, O. Frenel va T. Yung kabi olimlarning ishlarini umumlashtirib "Yorug'lik-bu elektromagnit to'lqinining ko'zga ko'rinuvchi qismidir" deya ta'kidladi. Maksvell o'zining differensial va integral ko'rinishdagi tenglamalari bilan "Maksvell elektrodinamikasi" deb ataluvchi elektrodinamikaga asos soldi. Shundan keyin

Olamning tuzilishi haqida tadqiqotchilarda yangicha qarashlar paydo bo'ldi va natijada Olamning elektromagnit manzarasi yaratildi.

Lekin, keyingi tadqiqotchilar J.Maksvellning ishlari bilan kifoyalanib qolmadilar. 1900-yillarga kelib J.Tomson, E.Rezerford, G.Gers va N.Bor kabi g'arb olimlari atom qa'riga yo'l ochdilar va Demokritning "atomizm" g'oyasini rad etdilar. Shunda gollandiyalik olim X.Lorens atomlar ichidagi o'ta kichik hajmlarda va o'ta kichik vaqtlar oralig'ida Maksvell elektrodinamikasi qanday ko'rinish olishi bilan qiziqdi. Natijada, X.Lorens hozirda "Lorens elektrodinamikasi" deb ataluvchi yangi elektrodinamikaga asos soldi. Hozirgi kunda "Maksvell elektrodinamikasi"ni "Klassik makroelektrodinamika" yoki "Fenomeno-logik elektrodinamika" deb, "Lorens elektrodinamikasi"ni esa "Klassik mikroelektrodinamika" deb ham yuritiladi. "Maksvell elektrodinamikasi" – bu "Lorens elektrodinamikasi" ning o'rtachalashgan xususiy holidir. Boshqacha aytganda, "Lorens elektrodinamikasi" "Maksvell elektrodinamikasi" ni o'z ichiga qamrab oladi. Shunisi ahamiyatliki, bu ikkala elektrodinamika ham past tezliklar uchun o'rindir.

A.Eynshteyn 1905-yilda Maxsus nisbiylik nazariyasi (MNN) ga, 1916-yilda esa Umumiy nisbiylik nazariyasi (UNN) ga asos soldi. Shundan keyin tadqiqotchilarda "Elektrodinamika tenglamalari yorug'lik tezliklari bilan solishtirarli darajada yuqori tezliklarda ham o'z ko'rinishini saqlab qoladimi?" degan yangi savol paydo bo'ldi. Izlanishlar natijasida katta tezliklar uchun "Relyativistik elektrodinamika"ga asos solindi. Ana endi J.Maksvell va X.Lorensning "Klassik elektrodinamikalari" "Relyativistik elektrodinamika"ning past tezliklardagi xususiy holi ekanligi ma'lum bo'ldi.

Elektrodinamika rivojining keyingi bosqichi nazariy fizikada P.Dirakning yangi "Relyativistik kvant mexanikasi" bo'limining paydo bo'lishi hamda X.Bete, R.Feynman, J.Shvinger kabi olimlarning "O'ta nozik struktura", "Lemb siljishi", "Elektromagnit maydon fluktuatsiyasi" kabi hodisalarni kashf qilishi bilan bog'liqdir. Zarralar kvant holatda bo'lar ekan, maydon ham kvant holatda bo'lish

kerak degan savol ustida izlanishlar "Kvant elektrodinamikasi"ning yaratilishiga olib keldi

Shunday qilib, Elektrodinamika quyidagi bo'limlardan iborat bo'ldi:

1. Maksvell elektrodinamikasi yoki Klassik makroelektrodinamika
1. Lorens elektrodinamikasi yoki Klassik mikroelektrodinamika
- 2) Relyativistik elektrodinamika
- 3) Kvant elektrodinamikasi

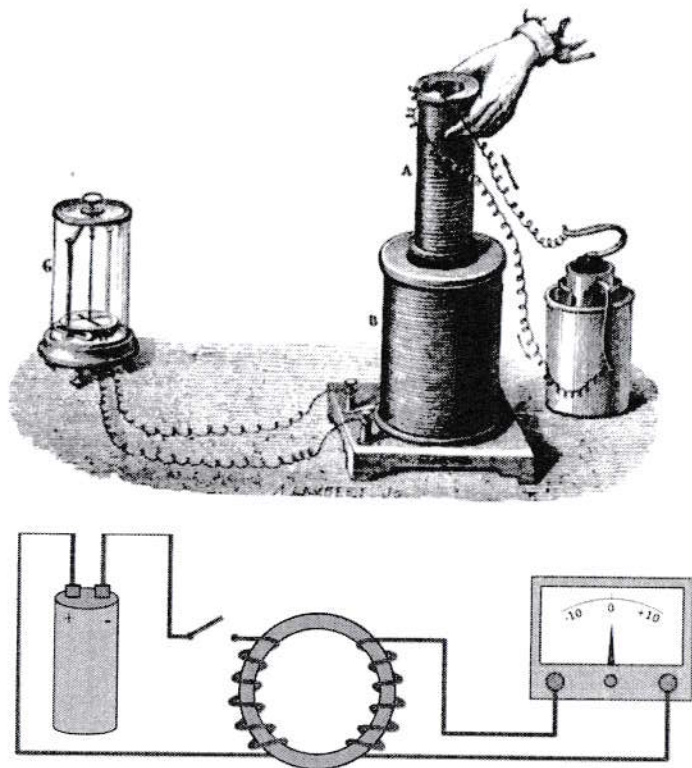
Sinov savollari:

1. Elektrodinamikaning tajriba asoslarini izohlang.
2. Qaysi hodisa elektromagnit maydon mavjudligiga asos bo'lgan?
3. Maksvell nazariyasi tajribada qanday qilib o'z tasdig'ini topdi?
4. Elektrodinamika qanday bo'limlardan iborat?

6. Elektromagnit induksiya hodisasi

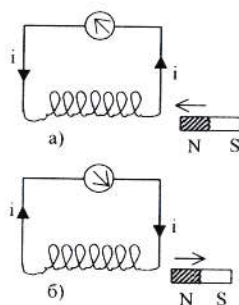
- *Elektromagnit induksiya hodisasi.*
- *Maksvell siljish toki.*

Ersted elektr toki yordamida magnit maydon paydo bo'lishini tajribada ko'rsatdi. Ersted tajribalari haqida xabar topgan ingliz fizigi M. Faradey aytilgan bog'lanishining ikkinchi tomonini - magnit hodisalari bilan elektr hodisalari orasida bog'lanishni axtarishga kirishdi. Faradey izlanishlari 10 yil davom etdi. Faradey tajribalari bilan tanishaylik.



6.1-rasm. Faradey tajribasi

Bitta g'altakka bir-biridan izolyatsiyalangan ikki sim o'ralgan bo'lsin. Birinchi o'ram kalit (K) orqali tok manbai (B) ga ulangan. Ikkinchi g'altakning uchlari esa galvanometr (G) ga ulangan. Birinchi o'ramni tok manbaiga ulash va uzish vaqtida ikkinchi o'ramda qisqa muddatli induksion tok qayd qilingan (6.1-rasm).

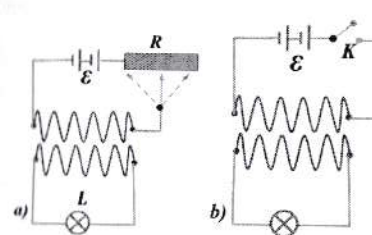


6.2- rasm. Induksion tokning yunalishini aniqlash

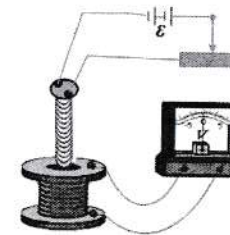
Agar doimiy magnit berk o'ramli g'altak ichiga kiritilsa yoki undan chiqarilsa (6.2 (a)-rasm), konturda induksion tok hosil bo'ladi; doimiy magnitning N qutbi g'altakka yaqinlashganda galvanometrning strelkasi bir tomonga, magnit g'altakdan uzoqlashtirilganda esa qarama-qarshi tomonga og'adi, bu induksion tokning yo'nalishi o'zgarganidan dalolat beradi. Magnit qancha kuchli, uning harakati qancha tez va g'altak o'ramlari qancha ko'p bo'lsa, induksion tokning qiymati shuncha katta bo'ladi. Magnitning ikkinchi S qutbi bilan ham yuqoridagi tajribani qaytarish mumkin. Bu hodisaga elektromagnit induksiya deb ataladi.

Keyinchalik Faradey elektromagnit induksiya hodisasini yuqoridagidek turli xil variantlarda amalga oshirdi. Faradey tajribalarini tahlil qilib quyidagi xulosaga keldi. Induksion tok berk konturdan o'tuvchi magnit induksiya oqimining o'zgarishi tufayli vujudga keladi. Induksion tokning qiymati magnit oqimining o'zgarish tezligi $\frac{d\Phi}{dt}$ ga bog'liqdir.

Ikki g'altakni yonma-yon qo'yib, ikkinchi g'altakning uchlari galvanometr ga ulab, birinchi g'altakning uchlari tok manbaiga ulaylik. Birinchi g'altakdagi tok kuchini R reostat bilan o'zgartirib (6.3-a rasm), yoki kalit yordamida zanjirga ulab-uzib turilsa (6.3-b rasm), ikkinchi g'altakda induksion tok hosil bo'lganini ko'rish mumkin. Bu ikkala holda ham ikkinchi g'altakni kesib o'tuvchi magnit induksiya oqimi o'zgaradi, chunki birinchi g'altak zanjirida tok o'zgaradi.



6.3-rasm



6.4-rasm

Bir g'altak ikkinchi g'altak ichiga joylashishi, unga yaqinlashishi yoki uzoqlashishi mumkin (6.4-rasm). Katta diametrli g'altakka galvanometr ulab, berk zanjir hosil qilaylik. Kichik diametrli g'altakka tok manbai, reostat orqali ulab berk zanjir hosil qilib, undagi tok kuchini reostat orqali o'zgartirsak yoki g'altaklarni bir-biriga yaqinlashtirib yoki uzoqlashtirsak, galvanometr strelkasi og'ganligini ko'ramiz (uning og'ishi yuqoridagi tajribalardagi kuzatishga mos keladi).

Bu tajribalarga asosan quyidagi xulosaga kelimiz

- G'altakning shakli o'zgarmagan holda magnit oqimining har qanday usulda o'zgarishi berk zanjirdagi galvanometr strelkasining og'ishiga olib keladi. Hosil bo'lgan induksion tokning yo'nalishi magnit oqimi yo'nalishining o'zgarishiga bog'liq.

- G'altakdagi sim o'ramlar soni ko'p, magnit induksiya oqimining o'zgarishi tez bo'lsa, induksiya hodisasi kuchli bo'ladi.

- Agar g'altak ichida ferromagnit jism bo'lsa, effekt kuchli bo'ladi. Bundan induksiya hodisasi magnit maydon kuchlanganligiga emas, balki magnit maydon induksiyasiga bog'liq ekanligi kelib chiqadi.

- Agar effekt kuzatilayotgan konturning faqat qarshiligini o'zgartirsak ham galvanometr ko'rsatishi o'zgaradi, ya'ni qarshilik ortsa u kichik qiymatni, qarshiligi kamaysa katta qiymatni ko'rsatadi.

Demak, hodisa o'tkazuvchanlik tokiga bog'liq bo'lmasdan, balki elektr induksiya maydonining hosil bo'lishiga bog'liq bo'lar ekan. Bu kuzatilgan tajribalarning hammasida ham elektr maydon kuchlanganlik vektorining hosil bo'lishi kuzatilayapti. Bularga asosan Faradey o'zining quyidagi qonunini ta'riflaydi: *kuzatilayotgan kontur l bo'yicha olinayotgan elektr maydon kuchlanganligining sirkulyasiyasi shu konturni kesib o'tuvchi magnit induksiya oqimining o'zgarish tezligi orqali aniqlanib, bu sirkulyasiya konturda u hosil bo'layotgan induksion EYuK ga teng:*

$$\varepsilon_i = \oint_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

R qarshilikka ega bo'lgan konturda hosil bo'layotgan induksion tokning oniy qiymati

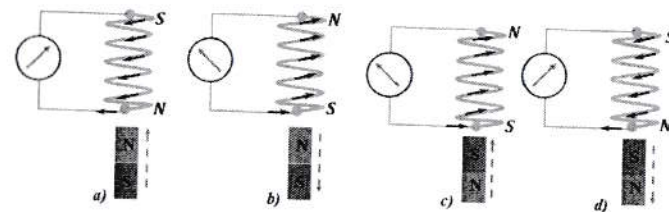
$$i = \frac{\varepsilon_i}{R}$$

bo'lib, kuzatish davomida konturdan o'tayotgan to'la zaryad miqdori quyidagicha ifodalanadi:

$$q = \int_0^t i dt = - \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} \frac{d\Phi}{R} = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R} = -\frac{\Delta\Phi}{R}$$

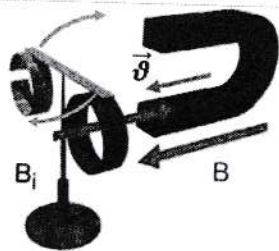
Zaryad miqdori magnit induksiya oqimining o'zgarish tezligiga bog'liq bo'lmay, balki magnit maydon induksiya oqimining o'zgarishiga bog'liq bo'ladi.

1833-yilda Lens induksiya tokining yo'nalishini aniqlaydigan umumiy qoidani tajriba yo'li bilan topdi, bu qoida Lens qoidasi deb ataladi. Lens induksion tokning yo'nalishini aniqlash uchun o'tkazgan ko'p tajribalari asosida magnit qutbni g'altakka yaqinlashtirganda, g'altakning magnitga yaqin uchida shu qutb bilan bir xil qutb hosil bo'lishini (6.5- a, b rasmlar), magnitning qutbini g'altakdan uzoqlashtirganda, esa g'altakning magnitga yaqin uchida boshqa ismli (qarama-qarshi) qutb hosil bo'lishini aniqladi (6.5-c, d rasmlar). Bundan induksion tokning magnit maydoni uni hosil qiluvchi magnit maydonning harakatiga qarshilik qilishi ko'rinadi.



6.5-rasm

Tajribalar natijalarini umumlashtirib Lens induksion tok yo'nalishini aniqlash qonunini yaratdi. Bu qonun uning sharafiga Lens qonuni deb atalib, quyidagicha ta'riflanadi: *Har doim induksion tokning magnit maydon induksiya tokning o'zini yuzaga keltirgan magnit maydon induksiya oqimining o'zgarishiga qarama-qarshi ta'sir ko'rsatadi.*

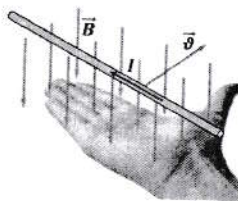


6.6-rasm. Lens qoidasi

6.6-rasmda Lens qonunini tasdiqlovchi tajribani namoyish qiladigan asbob ko'rsatilgan. Vertikal o'q atrofida erkin aylana oladigan qilib o'rnatilgan sterjenning ikki uchiga biri yaxlit ikkinchisining uchlari tutashmagan ikkita alyuminiy halqa o'rnatilgan. Yaxlit halqaga magnit yaqinlashtirilganda, yoki uzoqlashtirilganda halqadagi erkin elektronlar tashqi magnit maydon ta'sirida tartibli harakatga kelib, berk konturdan o'tayotgan tok kabi induksion tok hosil bo'ladi. Bu tokning magnit maydoni uni hosil qilayotgan magnitning maydoniga qarshi ta'sir ko'rsatadi va natijada sistema harakatga keladi.

Magnitning uchlari tutashmagan halqaga yaqinlashtirilganda esa sistema harakatlanmaydi, chunki halqadagi erkin elektronlar harakatda bo'lgani bilan, ochiq konturdan tok o'tmagani kabi tok hosil bo'lmaydi.

O'tkazgichda hosil bo'lgan induksion tokning yo'nalishini o'ng qo'l qoidasidan foydalanib aniqlanadi. Agar o'ng qo'limizni magnit maydonda magnit induksiya vektorini kaftimizga kiradigan qilib, 90° ga kerilgan bosh barmog'imiz esa o'tkazgichning harakat yo'nalishini ko'rsatadigan qilib tutsak, u holda yozilgan to'rtta barmog'imiz induksion tokning yo'nalishini ko'rsatadi (6.7-rasm).



6.7-rasm Induksion tokning yunalishini aniqlash.

Lens qonunining ifodasini energiyaning saqlanish qonunidan foydalanib keltirib chiqarish ham mumkin. Buning uchun bir

jinsli magnit maydonda unga tik ravishda l uzunlikdagi tokli o'tkazgich amper kuchi ta'sirida harakatlansin (6.8 - rasm). O'tkazgichning dh masofaga siljishi natijasida $A = IdF$ ish bajaradi. dF - o'tkazgich harakati tufayli kesib o'tilgan induksiya oqimi ($dF = Bldh$). O'tkazgich qarshilikka ega bo'lganligi uchun Joule - Lens issiqligi $I^2 \cdot R \cdot dt$ hosil bo'ladi. Umumiy holda manbaning dt vaqtda bajargan ishi uchun energiyaning saqlanish qonuni quyidagidan iborat bo'ladi:

$$El \cdot dt = I^2 \cdot R \cdot dt + I \cdot d\Phi$$

bundan tok kuchini aniqlasak,

$$I = \frac{E - \frac{d\Phi}{dt}}{R} = \frac{\mathcal{E} + \mathcal{E}_i}{R},$$

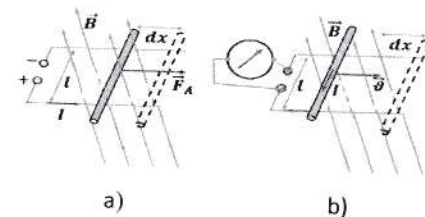
bu yerda

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt},$$

bo'lib induksion EYuKdir.

Bu ifodadagi minus ishora induksion EYuKning yo'nalishi uni hosil qilayotgan zanjirga ulangan EYuK ga qarama-qarshi yo'nalganligini ko'rsatadi.

Endi zanjirdagi manbani olib o'miga galvanometr ulasak (6.8-b rasm) va o'tkazgichni amper kuchi harakatlantirgan yo'nalishda tashqi kuch ta'sirida harakatlantirsak, galvanometr zanjirda oldingi tok yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalishda induksion tok hosil



6.8-rasm. Induksion tokning yunalishini aniqlash

bo'lganligini ko'rsatadi. Chunki bu vaqtda magnit maydonda harakatlanayotgan o'tkazgich tarkibidagi erkin elektronlarga Lorens kuchi ta'sir etib, berk kontur bo'yicha zaryad harakatlanib, zanjirda tok hosil bo'ladi.

Berk o'tkazgich konturidan o'tuvchi magnit induksiya oqimining har qanday o'zgarishida o'tkazgichda induksion tokni yuzaga keltiradi va bu tok magnit oqimining o'zgarishi davomidagina mavjud bo'ladi. Bunga elektromagnit induksiya hodisasi deyiladi.

Induksion elektr maydon uyurmaviy xarakterga ega : bu maydonning kuchlanganlik chiziqlari berk. Induksion elektr maydon elektr zaryadlarni berk trayektoriya bo'ylab ko'chirishda bajargan ishi (nolga teng emas) EYuKga teng.

$$\varepsilon = \frac{A}{q}$$

Induksiya EYuK magnit oqimining o'zgarish tezligiga to'g'ri proporsional.

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \Phi' \text{ -magnit oqimining o'zgarish tezligi. } \varepsilon = \Phi'$$

Induksiya oqimining ortishi $\Delta\Phi > 0$, $\varepsilon < 0$ EYuKni vujudga keltiradi, ya'ni vujudga kelgan induksion tokning magnit maydoni konturni kesib o'tuvchi magnit oqimini kamaytiradi. Induksiya oqimining kamayishi $\Delta\Phi < 0$, $\varepsilon > 0$ EYuKni vujudga keltiradi, ya'ni vujudga kelgan induksion tokning magnit maydoni konturni kesib o'tuvchi magnit oqimining kamayishiga to'sqinlik qiladi.

$\Phi = B \cdot S$ ekanligini hisobga olib

$$\varepsilon = -\frac{\Delta B \cdot S}{\Delta t} \text{ yoki } \varepsilon = -S \cdot B'$$

n ta o'ramda hosil bo'lgan EYuK $\varepsilon_1 = n \cdot \varepsilon$

Magnit oqimi:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

Magnit oqimi birligi

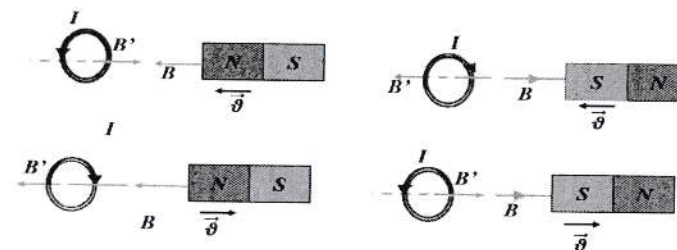
$$[\Phi] = 1Vb \text{ (Veber)}$$

O'tkazgich magnit maydonda harakatlanganda unda hosil bo'ladigan EYuK quyidagiga teng:

$$\varepsilon_l = \vartheta \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha$$

l – o'tkazgich uzunligi, α , B va ϑ orasidagi burchak.

Berk konturga doimiy magnitni kiritganda yoki chiqarganda (yaqinlashtirilganda yoki uzoqlashtirilganda) hosil bo'ladigan tok yo'nalishi Lens va parma qoidalariga asosida aniqlanadi. Magnitning N qutbi o'tkazgichli halqaga kiritilayotgan bo'lsin, halqada hosil bo'lgan induksion tokning magnit maydoni induksiyasi B' induksion tokni hosil qiluvchi magnitning B induksiyasiga teskari yo'nalgan. Parma qoidasiga asosan halqada hosil bo'layotgan tokning yo'nalishini aniqlash mumkin. Magnit halqadan uzoqlashtirilganda B' ning yo'nalishi o'zgaradi, shu bilan birga halqadagi tok yo'nalishi ham o'zgaradi. Magnitning ixtiyoriy qutbi konturga yaqinlashtirilganda ular bir-birini itarishadi, uzoqlashtirilganda esa bir-biriga tortiladi (6.9-rasm).



6.9-rasm

Endi umumiyroq holdan foydalanib induksion elektr yurituvchi kuchni aniqlaylik.

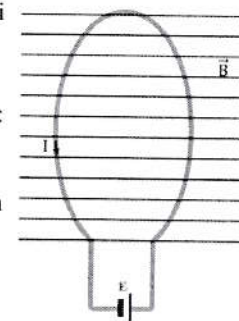
E.YU.K ε bo'lgan manbaga ulangan ixtiyoriy shakldagi konturni magnit maydoniga joylashtiraylik (6.10-rasm).

Bu manbaning dt vaqt ichidagi bajargan to'liq ishi:

$$dA = \varepsilon dt \quad (6.1)$$

bo'ladi. Bu ishning bir qismi elektr qarshiligi R bo'lgan konturdan Joule issiqligi (dQ) sifatida ajralib chiqadi:

$$dA_1 = dQ = I^2 R dt \quad (6.2)$$



6.10-rasm.

ikkinchi qismi esa magnit maydonidagi tokli konturni bir vaziyatdan boshqa vaziyatga ko'chirishda sarf bo'ladi. Bunda bajarilgan ish (6.3) ga asosan:

$$dA_2 = Id\Phi \quad (6.3)$$

teng bo'ladi. Energiyaning saqlanish qonuniga asosan:

$$dA = dA_1 + dA_2$$

yoki

$$\varepsilon dt = I^2 R dt + Id\Phi \quad (6.4)$$

Bu tenglamaning har ikki tomonini Idt ga hadlab bo'lsak:

$$\varepsilon = IR + d\Phi/dt$$

bundan

$$I = \frac{-\frac{d\Phi}{dt}}{R} = -\left(\frac{d\Phi}{dt}\right) \frac{1}{R} \quad (6.5)$$

Bu ifodani E.YU.K ε bo'lgan tok manbaidan tashqari, yana kontur bilan chegaralangan yuza orqali o'tuvchi magnit induksiya oqimining o'zgarishi tufayli paydo bo'lgan qo'shimcha $-\frac{d\Phi}{dt}$ E.YU.K li kontur uchun Om qonuni ifodasi deb qarash mumkin. Ana shu qo'shimcha E.YU.K induksiya elektr yurituvchi kuchidir:

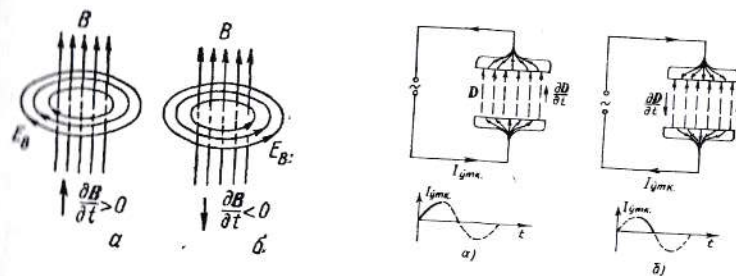
$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (6.6)$$

Shunday qilib, Faradey xulosasiga muvofiq induksiya elektr yurituvchi kuchi magnit induksiya oqimining o'zgarish tezligiga proporsional bo'lib chiqdi. Bu ifodani Faradey -Maksvell qonuni deb ataladi. Faradey -Maksvell qonuni kontur yuzi orqali o'tuvchi magnit oqimining har qanday o'zgarishi uchun o'rinalidir.

1863-yilda Maksvell yagona elektromagnit maydon nazariyasini ishlab chiqdi, bu nazariyaga muvofiq, o'zgaruvchan elektr maydoni, o'zgaruvchan magnit maydonini, o'zgaruvchan magnit maydoni esa, o'zgaruvchan elektr maydonini vujudga keltiradi. Bu ikkala o'zgaruvchan maydonlar uyurmali xarakteriga ega,

ya'ni vujudga keltirayotgan maydonning kuch chiziqlari, vujudga kelayotgan maydonning kuch chiziqlari bilan konsentrik o'rab olingan. Natijada o'zaro o'rangan elektr va magnit maydonlar sistemasi hosil bo'ladi.

Magnit maydon induksiyasi chiziqlarining yo'nalishi shu maydonning vujudga kelishiga sababchi bo'layotgan **elektr maydon induksiya vektorining** vaqt davomida o'zgarishini xarakterlovchi $\frac{\partial D}{\partial t}$ vektorning yo'nalishi bilan o'ng vint qoidasi asosida bog'langan (6.11-rasm).



6.11 – rasm.

Elektr

6.12 – rasm.

maydon kuchayib

borayotgan bo'lsa, D vektorining vaqt o'tishi bilan o'zgarishini xarakterlovchi $\frac{\partial D}{\partial t}$ vektorining yo'nalishi V vektorning yo'nalishi bilan mos keladi. Aksincha, elektr maydon susayayotgan bo'lsa, $\frac{\partial D}{\partial t}$ vektorning yo'nalishi D vektorning yo'nalishiga qarama-qarshi bo'ladi. Elektr maydonning o'zgarishi va bu o'zgarish tufayli vujudga kelayotgan magnit maydon orasidagi miqdoriy bog'lanishni topish uchun Maksvell **siljish toki** deb ataladigan tushunchani kiritadi. Siljish toki bilan yaqinroq tanishish maqsadida yassi kondensatorli zanjirdan o'zgaruvchan tok oqqandagi jarayonlarni tekshiraylik. U holda kondensator plastinka-larini birlashtiruvchi o'tkazgichlar orqali **o'tkazuvchanlik** toki o'tadi, lekin plastinkalar oralig'idagi dielektrikdan o'tmaydi. U holda o'zgaruvchan tokning zanjir bo'ylab oqishi kondensatorning zaryadlanishlari (6.11,a-rasm) va razryadlanishlaridan (6.12,b-rasm) iborat bo'ladi.

Maksvell tashqi zanjirda oquvchi o'tkazuvchanlik toki kondensator ichida alohida tok - *siljish toki bilan tutashadigan* o'z g'oyasini ilgari surdi, siljish toki elektr maydon induksiya vektorining o'zgarish tezligi $\left(\frac{\partial D}{\partial t}\right)$ proporsional va tashqi zanjirdagi o'tkazuvchanlik tokiga teng bo'ladi.

Zanjirdan o'tayotgan tokning oniy qiymati 1 bo'lsin, kondensator qoplamalaridagi zaryadning sirt zichligini $\sigma = \frac{q}{S}$ deb olaylik. U holda kondensator plastinkasi ichidagi o'tkazuvchanlik toki zichligining qiymati

$$j_{ulk} = \frac{I}{S} = \frac{dq}{S} \frac{1}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{q}{S} \right) = \frac{d\sigma}{dt}$$

yoki

$$j_{ulk} = \frac{d\sigma}{dt} \quad (6.7)$$

bo'ladi.

Ikkinchi tomonidan shu momentdagi plastinkalar oralig'idagi elektr maydon kuchlanganligining qiymati

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon}$$

teng edi.

Maydonning elektr induksiyasi esa

$$D = \epsilon_0 \epsilon E = \epsilon_0 \epsilon \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} = \sigma \quad (6.8)$$

ga teng. Vaqt o'tishi bilan plastinkalardagi zaryadning sirt zichligi o'zgaradi. Bu esa plastinkalar oralig'idagi elektr maydon induksiyasi qiymatining o'zgarishiga sababchi bo'ladi, ya'ni:

$$\frac{\partial D}{\partial t} = \frac{d\sigma}{dt} \quad (6.9)$$

Hamma vaqt $\frac{\partial D}{\partial t}$ ning yo'nalishi o'tkazuvchanlik tokining yo'nalishi bilan bir xil

bo'ladi. $\frac{\partial D}{\partial t}$ ning birligi

$$\frac{\partial D}{\partial t} = \frac{K_F}{m^2} \cdot \frac{1}{c} = \frac{A}{m^2}$$

bo'ladi.

$\frac{\partial D}{\partial t}$ kattalik Maksvell gipotezasiga asosan, siljish tokining zichligidir, ya'ni:

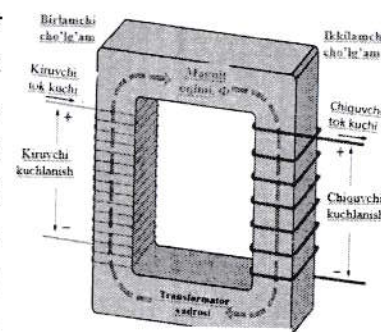
$$j_{ulk} = \frac{\partial D}{\partial t} \quad (6.10)$$

Shunday qilib, o'zgaruvchan tok zanjirida o'tkazgichlardagi o'tkazuvchanlik tokining chiziqlari kondensator plastinkalari oralig'idagi siljish tokining chiziqlariga ulanib ketadi.

Faradayning elektromagnit induksiya qonuni turli sohalarda va ishlab chiqarish jarayonlarida muhim qo'llaniladi.

Elektr energiyasini ishlab chiqarish: Faraday qonuni elektr energiyasini ishlab chiqarishning asosiy prinsipidir. Elektr stantsiyalarida, gidroelektr to'g'onlarida va shamol turbinalarida ishlatiladigan elektr generatorlari mexanik energiyani elektr energiyasiga aylantirish uchun elektromagnit induksiyaga tayanadi.

Transformatorlar: Transformatorlar elektr energiyasini uzatish va tarqatish tizimlarida muhim qurilmalardir. Ular Faradey qonuni asosida elektr energiyasini turli kuchlanish darajalari o'rtasida samarali o'tkazish uchun ishlaydi. Birlamchi o'ramdagi o'zgaruvchan oqim o'zgaruvchan magnit maydon hosil qiladi, bu esa elektromagnit induksiya orqali ikkilamchi o'ramdagi



6.13 - rasm

kuchlanishni keltirib chiqaradi. Transformatorlar kuchlanishni o'zgartirish va uzoq masofalarga elektr quvvatini samarali uzatish imkonini beradi.

Induksion isitish: Induksion isitish turli ishlab chiqarish jarayonlarida keng qo'llaniladigan texnikadir. Elektr o'tkazuvchan materiallarni tez va aniq isitish uchun Faradey qonuniga tayanadi. O'zgaruvchan tok g'altakdan o'tib, o'zgaruvchan magnit maydon hosil qiladi. Bu maydon o'tkazuvchan materialda uyurmali oqimlarni keltirib chiqaradi, natijada metallni isishiga olib keladi.

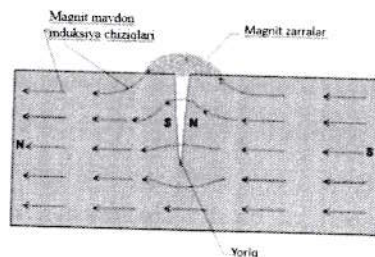
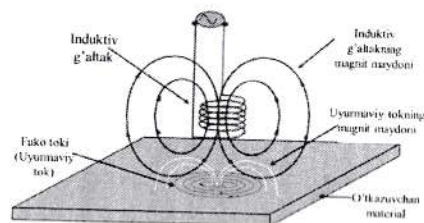
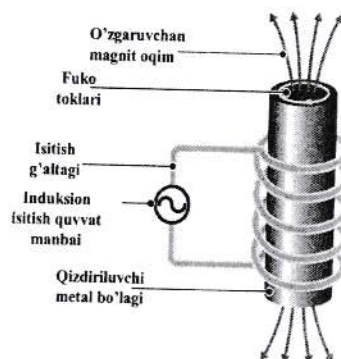
Induksion isitish metallni qizdirish, payvandlash va issiqlik bilan ishlov berish kabi holatlarda qo'llaniladi.

Fuko toklarining sinovi:

Fuko toklarini tekshirish - bu kamchiliklarni aniqlash yoki o'ta o'tkazuvchi materiallarning elektr o'tkazuvchanligini tekshirish uchun ishlatiladigan sinov usuli. U

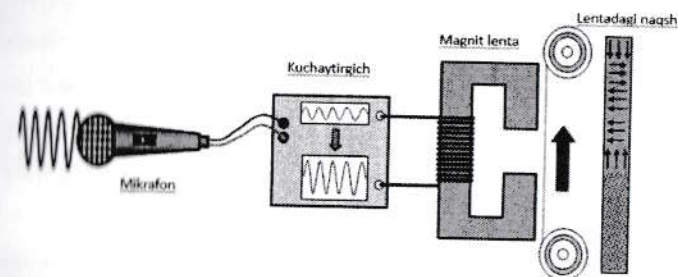
tekshirilayotgan materialda uyurmaviy toklarni keltirib chiqarish orqali Faradey qonunidan foydalanadi. Induksiyalangan oqimlardagi o'zgarishlarni o'lchash orqali muhandislar sinovdan o'tgan obyektga zarar bermasdan nuqsonlar, yoriqlar yoki moddiy xususiyatlardagi o'zgarishlarni aniqlashlari mumkin.

Magnit zarracha tekshiruvi: Faradey qonuni magnit zarrachalarni tekshirishda ham qo'llaniladi, bu ferromagnit materiallardagi sirt va sirtga yaqin nuqsonlarni aniqlash uchun ishlatiladigan sinov usuli. Materialga magnit maydon



qo'llaniladi, bu magnit domenlarning qutblanishiga olib keladi. Temir zarralari sirtga qo'llanilganda, nuqsonlar magnit maydonni buzadi, bu zarrachalarning nuqsonli joylarda to'planishiga olib keladi va ularni tekshirish uchun ko'rinadi.

Magnit yozish: Faradey qonuni magnit yozish texnologiyalari, jumladan, qattiq disklar, magnit lenta va magnit kartalarni ishlash prinsipi shunga asoslangan. Ushbu tizimlarda ma'lumotlar muhitda magnit naqshlar sifatida saqlanadi. Muhitda magnit maydon yo'nalishini o'zgartirish orqali ma'lumotlarni Faradeyning elektromagnit induksiya qonuni yordamida yozish yoki o'qish mumkin.



Bular Faradeyning elektromagnit induksiya qonuniga asoslangan texnikalar sanoat va ishlab chiqarish jarayonlarida qanday qo'llanilishiga bir nechta misollar bo'lib, Faradey qonuni elektr energiyasini konvertatsiya qilish, ishlab chiqarish va o'zlash shuningdek, buzilmaydigan sinov va magnit yozish texnologiyalarini o'z ichiga olgan turli xil holatlarni ta'minlaydigan asosiy qonundir.

Sinov savollari:

1. Faradeyning elektromagnit induksiya qonuni Maksvell tenglamalari sistemasining qaysi tenglamalarida o'z aksini topgan?
2. Elektrodinamika fani asosida tarixan qaysi kuchlar birinchi bo'lib birlashtirilgan?
3. Elektr maydoni manbasi nima?
4. Magnit maydoni manbasi nima?
5. Siljish toki nima?

6. Elektromagnit induksiya hodisasi nima maqsadda izlangan?
7. Elektromagnit induksiya hodisasi deb qanday hodisaga aytiladi?
8. Induksion tok deb qanday tokka aytiladi?
9. Lens qoidasini tushuntiring.
10. Galvanometr strelkasining og'ishi nimaga bog'liq?
11. Magnetikning qutblari o'zgartirilsa strelkaning og'ishi o'zgaradimi?
12. Faradey tajribalarini tushuntiring?
13. Faradey xulosasi qanday?
14. Induksion tokning qiymati nimaga bog'liq?
15. Induksiya EYuK deb qanday EYuK ga aytiladi?

7. Elektrodinamikada sababiyat prinsipi

- *Maksvell-Lorens tenglamalari.*
- *Elektrodinamikada sababiyat prinsipi.*

Klassik elektrodinamikada nuqtaviy zaryad deb fazoning cheksiz kichik hajmida joylashgan cheksiz kichik dq –zaryad qabul qilingan

$$dq = \rho dV$$

Bu model fazoda zaryadning uzluksiz taqsimlanganligiga mos keladi. Ikkinchi model - diskret nuqtaviy zaryad modelidir. Bu modelga ko'ra, q –ixtiyoriy qiymatli makroskopik zaryad fazoning geometrik nuqtasida joylashishi mumkin. Bu holda zaryad zichligi

$$\rho(\vec{r}) = q\delta(\vec{r} - \vec{r}_0)$$

kabi aniqlanadi, bu yerda $\delta(\vec{r} - \vec{r}_0)$ –Dirakning delta funksiyasi deyiladi, $\vec{r}_0$ – zaryad joylashgan nuqtaning radius vektori. Biz

$$\rho = \rho(\vec{r}, t)$$

$$\vec{j} = \vec{j}(\vec{r}, t)$$

ekanligini bilamiz, ya'ni ρ va $\vec{j}$ fazo nuqtasi koordinatalari hamda vaqtning funksiyasidir. Shu sababli ham diskret nuqtaviy zaryad uchun

$$\rho = \rho\delta(\vec{r} - \vec{r}_0(t)) \quad (7.1)$$

$$\vec{j} = qv\delta(\vec{r} - \vec{r}_0(t))$$

munosabat o'rinishi kelib chiqadi.

Faraz qilamiz, vakuumda zaryadlangan zarralar hamda elektromagnit maydondan iborat izolyatsiyalangan sistema bo'lsin. Sistemaning dastlabki holati ma'lum bo'lsin. Ya'ni, zaryadli zarralarning koordinatalari va tezliklari hamda elektromagnit maydonning tashkil etuvchi $-\vec{E}$ va $-\vec{B}$ vektorlari ma'lum bo'lsin. Bu sistemaning bundan keyingi ixtiyoriy vaqt momentlaridagi holatini aniqlash talab qilinsin. Ma'lumki, dastlabki elektromagnit maydon aniqlangan bo'lsa bu elektromagnit maydonning ixtiyoriy paytdagi holatini aniqlash elektrodinamikaning asosiy masalasidir. Buning uchun sistemaning umumiy maydonini hamda har bir zaryadli zarraga ta'sir qiluvchi kuchni aniqlaymiz. Bu vaqt ichida zaryadlar joylashish koordinatalari o'zgaradi va unga mos holda sistema hosil qilgan umumiy elektromagnit maydon ham o'zgaradi va hakoza bu jarayon doimo o'zgarib turadi. Shu sababli ham bu masala yechimga ega emas. Ikkinchi tomondan esa:

1. Izolyatsiyalangan systemsani har doim ham ajratib olish imkoni yo'q.
 2. Zaryadli zarralar sistemasida zarralar tezlanishli harakat qilishadi va natijada radiatsion ishqalanish kuchlari hosil bo'ladi, bu kuchlarni esa hisobga olishning imkoni yo'q.
 3. Zaryadlar harakatini mexanika qonunlari yordamida o'rganish uchun jismlarning mexanik modeli zarur va bu modelda jismlar o'rnida zaryadlar joylashgan bo'lishi kerak.
- Superpozitsiya prinsipi hamda (1) sistema yordamida Maksvell tenglamalari sistemasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\begin{cases} \operatorname{div} \vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum \rho_i \delta(\vec{r} - \vec{r}_i) \\ \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \operatorname{div} \vec{B} = 0 \\ \operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \sum q_i \vec{r}_i \delta(\vec{r} - \vec{r}_i) \end{cases} \quad (7.2)$$

Bu sistemaga Lorents kuchi ifodasini quyidagi ko'rinishda qo'shib yozamiz

$$\frac{d\vec{p}_i}{dt} = q_i \vec{E} + q_i [\vec{v}_i \vec{B}] \quad (7.3)$$

(7.2) hamda (7.3) ifodalar birgalikda vakuumdagi zaryadlar va elektromagnit maydon sistemasi uchun Maksvell-Lorens tenglamalari deyiladi.

Maksvell-Lorens tenglamalari boshlang'ich shartlarga ko'ra zaryadli zarralar va elektromagnit maydon sistemasi holatini aniqlashga, ya'ni elektrodinamikaning asosiy masalasini yechishga imkon beradi. Demak, elektrodinamika dinamik qonuniyatlar nazariyasi deb hisoblanar ekan. Shu sababli ham elektrodinamikada sababiyat prinsipi o'rinalidir: zaryadlar - maydon sistemasining biror vaqtdagi holati bu sistemaning keyingi vaqt momenlaridagi holatini aniqlashga imkon beradi. Lekin Maksvell-Lorens tenglamalarining aniq yechimi kam sondagi zaryadlar uchun ham mavjud emas. Shu sababli ham maydon-zaryadlar sistemasi holatini aniqlash uchun boshqa taqribiy usullar qo'llaniladi. Maksvell-Lorens tenglamalari esa faqat prinsipal ahamiyatga ega. Ya'ni, maydon-zaryadlar sistemasining boshlang'ich holati ma'lum bo'lsa bu sistemaning istalgan vaqtdagi holatini sababiyat prinsipi asosida aniqlash mumkin. Lekin buni hisolashning o'ta murakkabligi sababli bu maqsadni amalga oshirib bo'lmaydi. Shu sababli ham Maksvell-Lorens tenglamalari faqat prinsipial ahamiyatga ega va amalda ularni qo'llab bo'lmaydi.

Sinov savollari:

1. Klassik elektrodinamikada nuqtaviy zaryad qanday tushuniladi?
2. Diskret nuqtaviy zaryad qanday tushuniladi?
3. Sababiyat prinsipini tushuntiring.
4. Maksvell-Lorens tenglamalarini izohlang.

8. Elektromagnit maydon energiyasi

- *Elektromagnit maydon energiyasi.*
- *Energiyaning saqlanish qonuni.*

Jismlarga xos bo'lgan energiya va impuls kabi universal kattaliklar elektromagnit maydon uchun ham xosdir. Bu kattaliklar elektromagnit maydon uchun boshqacha aniqlanadi.

Agar bir-biri bilan o'zaro ta'sirlashuvchi zaryadlangan moddiy nuqtalarni qarasa, bu sistema Maksvell-Lorens tenglamalari bilan bayon qilinadi. Faraz qilamiz, m_i massali zarra q_i zaryadga ega bo'lsin. U holda bu zarraga sistema tomonidan hosil bo'lgan elektromagnit maydon tomonidan ta'sir qiluvchi kuch-Lorents kuchi

$$\frac{d\vec{p}_i}{dt} = q_i \vec{E} + q_i [\vec{v}_i \vec{B}]$$

yoki

$$\frac{d}{dt} \frac{m\vec{v}_i}{\sqrt{1 - \frac{v_i^2}{c^2}}} = q_i \vec{E} + q_i [\vec{v}_i \vec{B}]$$

kabi ifodalanadi. Oxirgi ifodaning har ikkala tomonini $d\vec{r}_i$ ga ko'paytirsak

$$d\vec{r}_i \frac{d}{dt} \frac{m\vec{v}_i}{\sqrt{1 - \frac{v_i^2}{c^2}}} = q_i \vec{E} d\vec{r}_i + q_i [\vec{v}_i \vec{B}] d\vec{r}_i$$

bo'ladi. Bu yerda

$$q_i [\vec{v}_i \vec{B}] d\vec{r}_i = 0$$

ga teng bo'ladi, chunki $\vec{v}_i$ va $d\vec{r}_i$ vektorlar kollinear. Bu yerda

$$\vec{v}_i \frac{d}{dt} \frac{m\vec{v}_i}{\sqrt{1 - \frac{v_i^2}{c^2}}} = d \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v_i^2}{c^2}}}$$

munosabatdan foydalanamiz va

$$d \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = q_i \vec{E} d\vec{r}_i$$

ifodaga kelimiz. Oxirgi ifodaga ko'ra, zarralar sistemasidagi m_i massali va q_i zaryadli zarraning relyativistik kinetik energiyasining o'zgarishi shu zarralar sistemasi hosil qilgan elektromagnit maydonning shu zarra ustida bajargan ishiga teng.

Endi elektromagnit maydon energiyasi ifodasini topish uchun Maksvell tenglamalari sistemasidan foydalanamiz. Bu sistemaning 2- va 4- tenglamalarini

$$\begin{aligned} \text{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \frac{1}{\mu_0} \text{rot} \vec{B} &= \vec{j} + \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{aligned}$$

ko'rinishda yozib olamiz va ularning har ikkala tomonini mos ravishda $\frac{1}{\mu_0} \vec{B}$ va $\vec{E}$ larga ko'paytiramiz. Ya'ni,

$$\frac{1}{\mu_0} \vec{B} \text{rot} \vec{E} = -\frac{1}{\mu_0} \vec{B} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (8.1)$$

$$\frac{1}{\mu_0} \vec{E} \text{rot} \vec{B} = \varepsilon_0 \vec{E} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \vec{j} \vec{E} \quad (8.2)$$

ko'rinishga kelimiz. (b) ifodadan (a) ifodani ayirsak,

$$\varepsilon_0 \vec{E} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{1}{\mu_0} \vec{B} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \frac{1}{\mu_0} (\vec{E} \text{rot} \vec{B} - \vec{B} \text{rot} \vec{E}) - \vec{j} \vec{E}$$

ga kelimiz. Bu yerda

$$-\frac{1}{\mu_0} (\vec{E} \text{rot} \vec{B} - \vec{B} \text{rot} \vec{E}) - \vec{j} \vec{E} = \frac{1}{\mu_0} \text{div} [\vec{E} \vec{B}]$$

va

$$\varepsilon_0 \vec{E} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{1}{\mu_0} \vec{B} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t} \frac{1}{2} \left(\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{\mu_0} B^2 \right)$$

ekanligini e'tiborga olsak

$$-\frac{\partial}{\partial t} \frac{1}{2} \left(\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{\mu_0} B^2 \right) = \frac{1}{\mu_0} \text{div} [\vec{E} \vec{B}] + \vec{j} \vec{E} \quad (8.3)$$

ko'rinishga kelimiz. Elektromagnit maydon fazoda makroskopik hajmni egallashini e'tibotga olib, oxirgi ifodani hajm bo'yicha integrallaymiz. U holda oxirgi ifodaning chap tomoni

$$W = \frac{1}{2} \int \left(\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{\mu_0} B^2 \right) dV$$

berilgan hajmdagi elektromagnit maydon energiyasini ifodalaydi. Integral ostidagi

$$\frac{1}{2} \left(\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{\mu_0} B^2 \right) = \omega$$

ifoda esa elektromagnit maydon energiyasi zichligi deyiladi.

O'ng tomondagi birinchi ifoda esa

$$\int \frac{1}{\mu_0} \text{div} [\vec{E} \vec{B}] dV = \oint \frac{1}{\mu_0} [\vec{E} \vec{B}] dS = N$$

zaryadlar sistemasining to'la quvvati deyiladi. Integral ostidagi ifodaga

$$\vec{\sigma} = \frac{1}{\mu_0} [\vec{E} \vec{B}]$$

esa energiya oqimi zichligi yoki Umov-Poynting vektori deyiladi. Shunday qilib (8.3) ifoda

$$-dW = Ndt + Pdt \quad (8.4)$$

ko'rinishga keladi. (8.4) dagi minus (-) ishora energiyaning kamayishini bildiradi. Bu yerda

$$\frac{\partial}{\partial t} \rightarrow \frac{d}{dt}$$

almashtirishni bajardik, chunki W -energiya maydon nuqtalari koordinatalaridan bog'liq emas. Shu sababli (8.4) ifoda quyidagicha talqin qilinadi: biror hajmdagi elektromagnit maydon energiyasining kamayishi shu hajmdan chiqayotgan energiya oqimi va maydonning shu hajmdagi zaryadlar ustidan bajargan ishi yig'indisiga teng. (8.4) ifodada

$$P = \int \vec{j} \vec{E} dV$$

ga teng bo'lib, u elektromagnit maydonning vaqt birligida bajargan ishini, ya'ni quvvatini anglatadi.

Elektromagnit maydon energiyaga egaligi Quyosh nuri ostida jismlarning qizishida, mexanik energiyaning generatoridagi rotor va startor orasidagi elektromagnit maydon energiyasiga, o'z navbatida esa bu energiyaning elektr energiyaga aylanishida, elektr dvigatellarda esa elektr energiyaning mexanik energiyaga aylanishi ham yana rotor va startor orasidagi elektromagnit maydon energiyasi orqali amalga oshishida ko'rinadi.

Sinov savollar:

1. Elektromagnit maydon energiyaga egaligini asoslab bering.
2. Elektromagnit maydon energiyasi ifodasini tushintiring.

9. Elektromagnit maydon impuls

- *Elektromagnit maydon impuls.*
- *Impulsning saqlanish qonuni.*

Zaryadlarni ko'chirishda maydon tomonidan bajarilgan ish. Barcha fizik obyektlarga xos bo'lgan inergiya va impuls tushunchalari elektromagnit maydon uchun ham o'rinlidir. Lekin kinetik va potensial energiya hamda impuls uchun mexanikada berilgan tavsiflarni yangi fizik obyekt bo'lgan maydon uchun qo'llab bo'lmaydi. Elektromagnit maydon energiyasi va impulsini mexanikadagi mos kattaliklar elektr zaryadli zarralardan tashkil topgan yopiq sistema uchun energiya va impulsning saqlanish qonunlari asosida baholash mumkin. Moddiy nuqtalarning mexanik energiyasidan farqli holda maydon energiyasi deb ataluvchi yangi kattalik kiritiladi. Impuls uchun ham xuddi o'zaro ta'sirlashuvchi moddiy nuqtalar sistemasini qaraylik. Makroskopik elektr zaryadlari ularning o'zlari joylashgan moddiy jismlar bilan ma'lum bir bog'lanishda bo'ladi.

Bunday sistema Maksvell-Lorens tenglamalari bilan ifodalanadi. Bu tenglamalar yordamida "maydon-zaryadlar" izolatsiyalangan sistemasi uchun

saqlanuvchi kattaliklarni topgan holda energiya va impuls tushunchalarini maydon uchun tatbiq etamiz.

Faraz qilaylik m massali zarracha q zaryadga ega bo'lsin. U holda

$$\frac{d\vec{p}_i}{dt} = q_i \vec{E} + q_i [\vec{r}_i \vec{B}] \quad (9.1)$$

harakat tenglamasi mexanikadagi singari energiya integralida keltiriladi. Tenglikning har ikkala tomonini $d\vec{r}_i$ ga ko'paytirsak

$$d\vec{r}_i \frac{d}{dt} \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = q_i \vec{E}_i d\vec{r}_i$$

ifodani olamiz. Bu ifodaning o'ng tomonida Lorens kuchining ishi turibdi. Va bu ish faqat elektr tashuvchi tomonidan bajariladi. Bunda $\vec{v}$ va $d\vec{r}_i$ vektorlarning kollinearligi tufayli magnit tashkil etuvchining ishi nolga teng.

$$q_i [\vec{v}_i \vec{B}] d\vec{r}_i = 0$$

Tenglikning chap tomonini mazkur ayniyat yordamida o'zgartirsak.

$$\vec{\vartheta} d \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = d \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Quyidagi ifodani olamiz

$$d \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = q_i \vec{E}_i d\vec{r}_i$$

Lorens kuchining elementar ishi zaryadlangan moddiy nuqtaning relyativistik kinetik energiyasi o'zgarishiga teng ekan. Endi elektromagnit maydonning impulsini aniqlaymiz. Elektromagnit maydon impulsini barcha harakat tenglamalarining yig'indisi ko'rinishida aniqlashimiz mumkin

$$\frac{d}{dt} \frac{m_i \vec{v}_i}{\sqrt{1 - \frac{v_i^2}{c^2}}} = \sum (q_i \vec{E}_i - q_i [\vec{\vartheta}_i \vec{B}_i])$$

Agar zaryadlar taqsimotini uzluksiz deb qarash, bu ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\frac{d}{dt} \frac{m_i \vec{v}_i}{\sqrt{1 - \frac{v_i^2}{c^2}}} = \int \{\rho \vec{E}_i - [\vec{j} \vec{B}]\} dV$$

Bu yerda, $q = \rho V$ va $\vec{j} = q \vec{v}$ munosabatlardan foydalanildi. Oxirgi ifodadagi integral ostidagi yig'indini quyidagi ko'rinishda yozib olamiz:

$$\rho \vec{E}_i - [\vec{j} \vec{B}] = \varepsilon_0 \vec{E} \operatorname{div} \vec{E} - \varepsilon_0 \left[\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \vec{B} \right] + \frac{1}{\mu_0} [\operatorname{rot} \vec{B} \cdot \vec{B}]$$

Bu ko'rinishga kelishda Maksvell tenglamalari sistemasining 1- va 4-tenglamalaridan foydalandik. Oxirgi ifodada 1- va 3-hadlar nolga tenglashishi sababli elektromagnit maydon impulsi uchun quyidagi ifodani yozishimiz mumkin:

$$\frac{d}{dt} \frac{m_i \vec{v}_i}{\sqrt{1 - \frac{v_i^2}{c^2}}} = - \frac{d}{dt} \int \varepsilon_0 [\vec{E} \vec{B}] dV$$

Bu ifoda izolyatsiyalangan sistema uchun

$$\sum \frac{m_i \vec{v}_i}{\sqrt{1 - \frac{v_i^2}{c^2}}} + \int \varepsilon_0 [\vec{E} \vec{B}] dV = \text{const}$$

ko'rinishga keladi, ya'ni impulsning saqlanish qonunini ifodalaydi. Integral ostidagi ifoda

$$\varepsilon_0 [\vec{E} \vec{B}] = g -$$

elektromagnit maydon impulsi zichligi deb ataladi.

Elektromagnit maydon impulsga egaligi yorug'likning bosim ko'rsatishida namoyon bo'ladi. Yorug'lik bosimi mavjudligi 1899-yilda rus fizigi P.N.Lebedev tomonidan tajriba natijasida aniqlangan.

Sinov savollari:

1. Elektromagnit maydon impulsga egaligini asoslab bering.
2. Elektromagnit maydon impulsi ifodasini tushintiring.

10. Elektromagnit maydon potentsiallari

➤ *Elektromagnit maydon potentsiallari.*

➤ *Vektor potentsial, Skalyar potentsial.*

Elektrodinamikaning asosiy masalasi bo'lgan maydonni topish masalasini yechish uchun Maksvell tenglamalarini integrallash kerak bo'ladi. Aniq holatlar uchun bu tenglamalarni to'g'ridan-to'g'ri integrallashda ancha murakkab matematik qiyinchiliklarga duch kelamiz. Bu muammoni Maksvell tenglamalarini ya'ni birinchi tartibli differensial tenglama yordam kattaliklar maydon kiritish matematikadan yaxshi o'rganilgan ikkinchi tartibli tenglamalarga keltirish orqali hal qilish mumkin.

Biz Maksvell tenglamalari sistemasini bilamiz. U quyidagi ko'rinishga ega:

$$\begin{cases} \operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & (2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \operatorname{div} \vec{B} = 0 & (3) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} & (4) \end{cases}$$

Har qanday maydon to'la aniqlangan bo'ladi agar uning divergentsiyasi va rotori berilgan bo'lsa. Shu sababli ham Maksvell tenglamalar sistemasi elektromagnit maydonni to'la aniqlashga imkon beradi. Elektromagnit maydonning komponentalari $-\vec{E}$ va $-\vec{B}$ zaryadlar va toklar taqsimoti bilan aniqlanadi. Elektrodinamikaning asosiy masalasini yechish – elektromagnit maydonni aniqlash uchun Maksvell tenglamalar sistemasini integrallash zarur. Lekin ayrim hollarda uni integrallash hamda olingan natijalarni tahlil qilishda qiyinchiliklar yuzaga keladi, umuman ayrim noqulayliklar yuzaga keladi. Shu sababli ham Maksvell tenglamalar sistemasiga boshqacha ko'rinish berish zaruriyati yuzaga keladi va asosiy maqsad hosil qilingan yangi ko'rinishda uni yechish oson bo'lsin. Buning uchun yordamchi kattaliklar kiritiladi. Bu yordamchi kattaliklarga maydon

potensiallari deyiladi. Maydon potensiallarini kiritish uchun Maksvell tenglamalari sistemasining 3-tenglamasidan foydalanamiz. Ya'ni,

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \vec{B} &= 0 \text{ dan} \\ \vec{B} &= \operatorname{rot} \vec{A} \end{aligned} \quad (10.1)$$

deb belgilab olamiz, chunki operatorlar nazariyasiga ko'ra, har qanday rotordan olingan divergentsiya nolga teng bo'ladi, ya'ni

$$\operatorname{div} \operatorname{rot} \vec{A} = 0$$

bo'ladi. Natijada (1)-sistemaning 3-tenglamasi o'rinli bo'ladi. Bu yerda $\vec{A} = \vec{A}(\vec{r}, t)$ —elektromagnit maydonning vektor potentsiali deyiladi. (10.1)-ifodani Maksvell tenglamalari sistemasining 2-tenglamasiga qo'ysak,

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} \operatorname{rot} \vec{A} = -\operatorname{rot} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

ga kelimiz. Yoki,

$$\operatorname{rot} \left(\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) = 0 \quad (10.2)$$

deb yozishimiz mumkin va qavs ichidagi ifodani

$$\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = -\operatorname{grad} \varphi \quad (10.3)$$

deb belgilashimiz mumkin. Chunki, har qanday gradientdan olingan rotor nolga teng va natijada (10.2) - ifoda o'z kuchida qoladi. Bu yerda $\varphi = \varphi(\vec{r}, t)$ —elektromagnit maydonning skalyar potentsiali deyiladi. Agar $\varphi(\vec{r}, t)$ — skalyar va $\vec{A} = \vec{A}(\vec{r}, t)$ —vektor potentsiallar ma'lum bo'lsa, elektromagnit maydonning elektr tashkil etuvchisi $-\vec{E}$ (3)-ifodaga ko'ra aniqlanadi

$$\vec{E} = -\operatorname{grad} \varphi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (10.4)$$

Shunday qilib, Maksvell tenglamalari sistemasining 3- va 2- tenglamalari quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\vec{B} = \operatorname{rot} \vec{A},$$

$$\vec{E} = -\operatorname{grad} \varphi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

Maksvell tenglamalari sistemasining qolgan tenglamalari (1- va 4-tenglamalari) (2)- va (4)- ifodalar yordamida

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \operatorname{rot} \operatorname{rot} \vec{A} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} - \frac{1}{c^2} \operatorname{grad} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \mu_0 \vec{j}$$

$$\operatorname{div} \vec{E} = \Delta \varphi + \frac{\partial}{\partial t} \operatorname{div} \vec{A} = -\frac{1}{\varepsilon_0} \rho$$

ko'rinishga keladi. Bu yerda $\frac{1}{c^2} = \varepsilon_0 \mu_0$ munosabat o'rinli. Matematikada ma'lum bo'lgan

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \vec{a} = \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{a} - \Delta \vec{a}$$

munosabatdan foydalanib

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \vec{A} = \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{A} - \Delta \vec{A} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} - \frac{1}{c^2} \operatorname{grad} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \mu_0 \vec{j}$$

ifodaga kelimiz. Bundan

$$\Delta \vec{A} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = -\mu_0 \vec{j} + \operatorname{grad} \left(\operatorname{div} \vec{A} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right)$$

hosil bo'ladi. Oxirgi ifodani soddalashtirishimiz mumkin, agar

$$\operatorname{div} \vec{A} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = 0 \quad (10.5)$$

deb qabul qilsak. (10.5)-ifodaga Lorens kalibrovkasi deyiladi. (10.5)-ifodadan

$$\frac{\partial}{\partial t} \operatorname{div} \vec{A} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}$$

munosabatga kelimiz. Shunday qilib, Maksvell tenglamalari sistemasining ikkinchi juftligi, ya'ni (1) va (2) ifodalar quyidagi ko'rinishga keladi

$$\begin{cases} \Delta \vec{A} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = -\mu_0 \vec{j} \\ \Delta \varphi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = -\frac{1}{\varepsilon_0} \rho \end{cases} \quad (10.6)$$

(10.6)-tenglamalarni yechsak elektromagnit maydon potentsiallari $-\vec{A}$ va φ ni aniqlaymiz, keyin o'tish formulalari bo'lgan (10.2) va (10.4) orqali elektromagnit

maydonni aniqlashimiz, ya'ni $\vec{E}$ va $\vec{B}$ tashkil etuvchilarni topishimiz mumkin. Shuning uchun (10.6) - tenglamalar sistemasi potentsiallar orqali ifodalangan Maksvell tenglamalari sistemasi, yoki potentsiallar orqali yozilgan elektromagnit maydon tenglamalari sistemasi deyiladi. Bu tenglamalar sistemasi 2-tartibli differentsial tenglamalar bo'lib, ular matematikada yaxshi o'rganilgan Dalamber tenglamalari deyiladi. Ularning yechimi oson topib olinadi hamda elektromagnit maydonni hisoblashni osonlashtiradi. Elektromagnit maydon potentsiallari $-\vec{A}$ va ϕ yordamchi kattaliklar hisoblanadi, fizik kattaliklar emas. Ya'ni, bevosita o'lchab topiladigan kattaliklar emas. Elektromagnit maydon tashkil etuvchilari - $\vec{E}$ va $-\vec{B}$ lar esa fizik kattaliklardir. Demak, potentsiallar orqali yozilgan elektromagnit maydon tenglamalari oson yechiladi, bunda 1-tartibli differentsial tenglamalar 2-tartibli differentsial tenglamalarga aylanadi, 4 ta tenglamadan iborat sistema 2 ta tenglamadan iborat sistemaga o'tadi.

Potentsiallar asosidagi tenglamalar sistemasi (10.6) maydon vektorlarining potentsiallarga bog'lanishini ko'rsatadigan

$$-\text{grad}\phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = \vec{E} \quad \text{rot}\vec{A} = \vec{B} \quad (10.7)$$

(10.7) formulalar bilan birgalikda

$$\begin{cases} \text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \text{div}\vec{B} = 0 \\ \text{rot}\vec{B} = \mu\vec{j} + \mu_0\epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \\ \text{div}\vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \end{cases} \quad \text{va} \quad \begin{cases} \text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \text{div}\vec{B} = 0 \\ \text{rot}\vec{B} = \mu\vec{j} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \\ \text{div}\vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \end{cases}$$

Maksvell tenglamalar sistemasi bilan ekvivalent hisoblanadi. Matematik jihatdan potentsiallar asosidagi tenglamalar qulay hisoblanadi. Bu tenglamalarning asosiy afzalligi bu tenglamalar sistemasining umumiy yechimini olish mumkinligidir. Bu masalaning yechimini qaraylik.

Faraz qilaylik biror inersial sanoq sistemasida zaryadlarning joylashuvi va harakati berilgan bo'lsin:

$$\rho = \rho(\vec{r}, t); \quad \vec{j} = \vec{j}(\vec{r}, t)$$

Bunda maydonning $-\vec{E}$ va $-\vec{B}$ vektorlarini aniqlash talab etiladi. Bu kattaliklarni bevosita aniqlash o'rniga dastlab maydonning $\vec{A}$ va ϕ potentsiallarini aniqlaymiz. Buning uchun quyidagi to'rtta skalyar tenglamani yozib olamiz.

$$\begin{aligned} \Delta A_x - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 A_x}{\partial t^2} &= -\mu_0 j_x \\ \Delta A_y - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 A_y}{\partial t^2} &= -\mu_0 j_y \\ \Delta A_z - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 A_z}{\partial t^2} &= -\mu_0 j_z \\ \Delta \phi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} &= -\frac{1}{\epsilon_0} \rho \end{aligned} \quad (10.8)$$

Matematik jihatdan bu tenglamalar bir xil bo'lib quyidagi Dalamber tenglamasining aynan o'zidir.

$$\Delta u - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -g(\vec{r}, t) \quad (10.9)$$

Bu bir jinslimas xususiy hosilali tenglamaning umumiy yechimi bir jinsli tenglamaning umumiy yechimi va bir jinslimas tenglamaning xususiy yechimlari yig'indisidan iborat:

$$u = v + u_{ch}$$

$\vec{E}(\vec{r}, t)$ va $\vec{B}(\vec{r}, t)$ vektorlar bir qiymatli aniqlanishi lozim bo'lganligi uchun (10.8) tenglamaning bir qiymatli va birinchi tartibli hosilalari bilan uzluksiz yechimlarigina fizik ma'noga ega bo'ladi.

Umumiy yechimning birinchi hadi - to'liq funksiyasining umumiy yechimi fazoda zaryadlar mavjud bo'lmagan holdagi elektromagnit to'liq ifodasidan iborat. Bunday maydon erkin maydon deb ataladi. Qanday maydonlarning bo'lishi esa boshlang'ich shartlarga bog'liq bo'ladi.

(10.8) sistemadagi har bir to'liq funksiyasi ikkinchi tartibli differentsial tenglama bo'lib umumiy yechimida ikkita ixtiyoriy funksiyaga ega, ya'ni xususiy yechimga o'tish uchun har bir alohida holatda quyidagi boshlang'ich shartlar xizmat qiladi.

$$\begin{cases} \varphi|_{t=0} = \varphi_{bosh}(\vec{r}) \\ \left. \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right|_{t=0} = \psi_{bosh}(\vec{r}) \end{cases} \quad (10.10)$$

Xuddi shuningdek $\vec{A}$ ning barcha proyeksiyalari uchun:

$$\begin{cases} A_x|_{t=0} = A_{x\,bosh}(\vec{r}) \\ \left. \frac{\partial A_x}{\partial t} \right|_{t=0} = A'_{bosh}(\vec{r}) \end{cases}$$

Boshqacha aytganda erkin maydon sistemaga berilgan nuqtada boshlang'ich momentdagi qiymat sifatida kiradi. Uning keying rivojlanishi esa to'liq tenglamaning yechimi bilan aniqlanadi.

Potensiallar asosidagi maydon tenglamalarining umumiy yechimning ikkinchi hadi (10.8) tenglamaning xususiy yechimi – berilgan tenglamalar sistemasining aniq maydonini tavsiflaydi. Bu yechimning xususiy xarakteri har bir alohida sistema uchun o'z maydoni bo'lishini talab etadi. Maydon potensiallarining bir qiymatli emasligi tufayli ular potensiallar normurovkasi bilan aniqlanadigan o'zgarmas kattalik aniqligida topiladi.

Vakuumda yopiq izolyatsiyalangan zaryadlar sistemasi uchun chegaraviy shartlar zaryadlar sistemasigacha bo'lgan masofaning ortib borishi bilan potensiallarning kamayib borishidir.

$$r \rightarrow \infty \quad \text{da} \quad A_{r \rightarrow \infty} = 0$$

Potensiallar aniqlangandan so'ng (10.7) formula yordamida maydonning $\vec{E}$ va $\vec{B}$ potensiallari aniqlanadi va maydonni hisoblash masalasi yechilgan hisoblanadi

Sinov savollari:

1. Fizik kattaliklarni tushuntiring.
2. Maydon potensiallari qanday kattalik?
3. Maksvell tenglamalari sistemasini potensiallar orqali ifodalash zaruriyati nimada?
4. Vektor potensialni tanlash nimaga asoslangan?
5. Skalyar potensialni tanlash nimaga asoslangan?

11. Stasionar elektromagnit maydon

➤ Stasionar elektromagnit maydon.

Stasionar elektromagnit maydon $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ va $\frac{\partial j}{\partial t} = 0$ bo'lganda, ya'ni zaryadlar va toklar zichliklari vaqt bo'yicha o'zgarmas bo'lganda hosil bo'ladi. Bu holda maydonning potensiallar orqali tenglamalari

$$\Delta A_x - \frac{1}{c^2} \frac{\partial A_x}{\partial t^2} = -\mu_0 j_x$$

$$\Delta A_y - \frac{1}{c^2} \frac{\partial A_y}{\partial t^2} = -\mu_0 j_y$$

$$\Delta A_z - \frac{1}{c^2} \frac{\partial A_z}{\partial t^2} = -\mu_0 j_z$$

$$\Delta \varphi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = -\frac{1}{\epsilon_0} \rho$$

ilgari aniqlangan vaqtga bog'liq bo'lmagan yechimga ega bo'ladi va bu yechimlar

$$\varphi(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{Q(\vec{r}_0)}{r'} dV_0 \quad (11.1)$$

$$\vec{A}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{j\vec{r}_0}{r'} dV_0 \quad (11.2)$$

formulalar bilan ifodalangan. Yechimlarni

$$\left. \begin{aligned} \varphi(\vec{r}, t) &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\rho\left(\vec{r}_0, t - \frac{r'}{c}\right)}{r'} dV_0 \\ A(\vec{r}, t) &= \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{j\left(\vec{r}_0, t - \frac{r'}{c}\right)}{r'} dV_0 \end{aligned} \right\}$$

kechikuvchi potensiallar formulasidan ham olish mumkin, bunda ρ va j kattaliklarning vaqtga bog'lanishini hisobga olmaslik kerak.

Aniq masalada potensiallar hisoblangandan keyin stasionar maydon vektorlari olingan natijalarni:

$$\vec{E} = -\text{grad } \varphi, \quad \vec{B} = \text{rot } \vec{A} \quad (11.3)$$

formulalar asosida differensiallash orqali aniqlanadi.

Bir qator masalalarni yechishda

$$\begin{cases} \text{div } \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \\ \text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \text{div } \vec{B} = 0 \\ \text{rot } \vec{B} = \mu \vec{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{cases}$$

Maksvell tenglamalar sistemasini qo'llash maqsadga muvofiq bo'ladi. Bizni vaqtga bog'liq bo'lmagan yechinlar qiziqargani uchun yuqoridagi tenglamalarda vaqtga bog'liq hosila mavjud bo'lgan hadlar tashlab yuboriladi. Statsionar maydonlar uchun Maksvell tenglamalari quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\begin{cases} \text{div } \vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0} \rho \\ \text{rot } \vec{E} = 0 \end{cases} \quad (11.4)$$

$$\begin{cases} \text{rot } \vec{B} = \mu_0 \vec{j} \\ \text{div } \vec{B} = 0 \end{cases} \quad (11.5)$$

Ko'rinib turibdiki tenglamalar sistemasini o'zaro bog'liq bo'lmagan : Elektrostatik (11.4) va magnitostatik (11.5) maydonlar uchun alohida sistemalarga ajraladi. (11.4) sistemaga ko'ra elektrostatik maydon kuchlanish chiziqlari zaryaddan boshlanib zaryadda tugaydigan potentsial maydondan iborat va shuning uchun ham zaryadlar maydon manbalari sifatida qoraladi.

Qaralayotgan holda elektr maydonning uyurmaviy tashkil etuvchisi yo'q. Magnitostatik maydon toklar tomonidan hosil qilinadi va uyurmaviy solenoidga ega statsionar maydonlarning muhim jihatlaridan biri Maksvell tenglamalar sistemasining ikkitaga ajralganligidan kelib chiqadi. Qo'zg'almas zaryadlarning elektrostatik maydoni magnit maydoniga ega emas va alohida o'rganilishi mumkin.

Magnitostatik maydon esa zaryad toklari bilan bog'langan bo'lib umumiy holda elektr maydoni bilan birgalikda mavjud bo'ladi. Lekin umumiy fizika kursidan ma'lumki o'tkazgichlardan elektr tokining magnit xususiyatlari muhim ahamiyatga ega va shuning uchun alohida o'rganiladi.

Statsionar elektr maydonning pensiyalar orqali tenglamasi: O'zgarmas elektr maydoni qo'zg'almas zaryadlar tomonidan $\rho = \rho(r)$ va $j = 0$ bo'lsa yoki statsionar harakatlanuvchi zaryadlar tomonidan bo'lganda kuzatiladi. Birinchi holda toklar bo'lmaydi, ikkinchi holda esa fazoning barcha nuqtalarida toklar vaqt bo'yicha bir xil zichlikka ega.

Qo'zg'almas zaryadlar holatida statsionar elektr maydonini elektrostatik maydon deb ataladi.

Yuqorida ko'rsatilganidek zaryad ular jamlangan jismda ajratish foydali ideallashtirish bo'lib, jismlar tarkibiga kiruvchi zaryadlar ta'sirini hisobga olish kerak. Bu elektrostatik maydonda yaqqol ko'rinadi. Tinch turgan zaryadlar bo'lmaganligi uchun elektrostatik maydon ta'sirida ular tezlanish oladilar. Xuddi shuningdek erkin zaryadlarning faqat elektrostatik maydon ta'sirida tekis harakati ham mumkin emas. Aynan jismlar yoki moddiy muhit erkin zaryadlarning fazodagi harakati va ko'chishini ta'minlaydi. Lekin elektrdinamikada statsionar maydonlarni o'rganishda bu bog'lanishlar qaralmaydi. Ularning mavjudligi zaryad va toklarning konfiguratsiyasi borilishi bilan hisobga olinadi:

Statsionar maydon uchun differensial tenglamalardan tashqari integral tenglamalar ham o'rinli.

$$\oint \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0} \rho \quad (11.6)$$

(11.6) ifoda Gauss teoremasi deb yuritiladi. Gauss teoremasi zarralari simmetrik bo'lgan zarralar maydonini hisoblashda ishlatiladi.

Agar ρ va φ vaqtga bog'liq emas deb hisoblasak potentsial asosidagi elektrostatik maydon tenglamasi

$$\Delta A_x - \frac{1}{c^2} \frac{\partial A_x}{\partial t^2} = -\mu_0 j_x$$

$$\Delta A_y - \frac{1}{c^2} \frac{\partial A_y}{\partial t^2} = -\mu_0 j_y$$

$$\Delta A_z - \frac{1}{c^2} \frac{\partial A_z}{\partial t^2} = -\mu_0 j_z$$

$$\Delta \varphi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = -\frac{1}{\varepsilon_0} \rho$$

tenglamalardan kelib chiqadi:

$$\Delta \varphi = -\frac{1}{\varepsilon_0} \rho \quad (11.7)$$

Bu tenglama matematikadagi Puasson tipidagi tenglama deb yuritiladi va (11.1) tenglamaning xususiy yechimidan iborat. (11.7) tenglamaning umumiy yechimini olish uchun xususiy yechimga

$$\Delta \varphi = 0 \quad (11.8)$$

bir jinsli tenglamaning umumiy yechimini qo'shish kerak bo'ladi.

Vakuumda elektrostatik maydon masalalarida ko'pincha $\varphi = 0$ yechim qo'llaniladi va bu tashqi maydon yo'qligini ko'rsatadi. Lekin Laplas tenglamasi ma'lum chegaraviy shartlarni qanoatlantiruvchi, zaryadsiz maydondagi elektrostatik maydonlarni hisoblashda qo'llaniladi.

Shunday qilib (11.4)-sistema biz bilgan elektrostatika tenglamalari, (11.5)-sistema esa magnitostatika tenglamalari deyiladi. Bu yerda hech qanday elektromagnit maydon mavjud emas, ya'ni elektr va magnit maydonlari o'zaro bir-birini hosil qilmaydi. Elektrostatik elektr va magnitostatik magnit maydonlari bir-biridan mustaqil holda mavjud. (11.4) ga ko'ra, elektr zaryadi elektr maydonining manbai hamda elektr maydoni uyurmali maydon emas, uning kuch chiziqlari berk emas, musbat zaryadlardan boshlanib manfiy zaryadlarda tugaydi. (11.5) ga ko'ra, magnitostatik maydon manbasi elektr tokidir va u uyurmaviy xarakterga ega. Shunday qilib, tabiatda statsionar elektromagnit maydon mavjud emas. Faqat

elektrostatik va magnitostatik maydonlar mavjud, ular bir-birlarini hosil qilmaydilar va har biri mustaqil holda mavjud bo'ladi.

Agar statsionar elektromagnit maydonni potentsiallar orqali yozadigan bo'lsak,

$$\begin{cases} \Delta \vec{A} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = -\mu_0 \vec{j} \\ \Delta \varphi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = -\frac{1}{\varepsilon_0} \rho \end{cases} \quad (11.9)$$

sistema

$$\begin{cases} \Delta \vec{A} = -\mu_0 \vec{j} \\ \Delta \varphi = -\frac{1}{\varepsilon_0} \rho \end{cases} \quad (11.10)$$

ko'rinishga keladi. Elektromagnit maydon potentsiallari $-\vec{A}, \varphi$ ni $\vec{E}$ va $\vec{B}$ tashkil etuvchilar bilan bog'lovchi

$$\begin{cases} \vec{B} = \text{rot } \vec{A} \\ \vec{E} = -\text{grad } \varphi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \end{cases}$$

o'tish formulalari esa

$$\begin{cases} \vec{B} = \text{rot } \vec{A} \\ \vec{E} = -\text{grad } \varphi \end{cases}$$

ko'rinishga keladi.

Sinov savollari:

1. Statsionarlik shartini tushuntiring.
2. Statsionarlik sharti qo'llanilganda elektr tashkil etuvchi tabiati qanday o'zgaradi?
3. Statsionarlik sharti qo'llanilganda magnit tashkil etuvchi tabiati qanday o'zgaradi?
4. Statsionar magnit maydon elektr maydoni hosil qiladimi?
5. Statsionar elektr maydoni magnit maydoni hosil qiladimi?

12. Elektromagnit to'liqlar

Endi Maksvell tenglamalari sistemasi

$$\begin{cases} \operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \operatorname{div} \vec{B} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{cases} \quad (4)$$

ga $\rho = 0$ va $\vec{j} = 0$ shartlarni qo'ysak,

$$\begin{cases} \operatorname{div} \vec{E} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \operatorname{div} \vec{B} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{cases} \quad (8)$$

ko'rinishga kelimiz. Hosil bo'lgan bu tenglamalar sistemasi noldan farqli yechimga ega bo'ladi. Ya'ni, bu holat elektromagnit maydonning zaryadlar va toklar mavjud bo'lmasa ham mavjud bo'la olishini anglatadi. Elektromagnit maydonning $-\vec{E}$ va $-\vec{B}$ tashkil etuvchilari o'zaro bog'liq bo'lib, ulardan birining vaqt bo'yicha o'zgarishi ikkinchisining hosil bo'lishiga olib keladi. Ular shu taxlit bir-birlarini o'zaro hosil qilib fazoda c —tezlikda tarqaladilar va fazoda makroskopik hajmni egallaydilar. Elektromagnit maydonlarning vakuumdagi, zaryadlar va toklar bo'lmagandagi, bunday mavjud bo'lishiga elektromagnit to'liqlar deyiladi. Masalan, Quyosh nuri Quyoshda hosil bo'ladi, undan ajralgach mustaqil ravishda mavjud bo'lib, c —tezlikda elektromagnit to'liqin ko'rinishida tarqaladi. Yerga naxminan 8,3 minutda elektromagnit to'liqin ko'rinishida yetib keladi. Elektromagnit to'liqinning (maydonning ham) $-\vec{E}$ va $-\vec{B}$ tashkil etuvchilari uyurmali (solenoidal), yopiq. Ularning manbalari yo'q. $-\vec{E}$ va $-\vec{B}$ tashkil etuvchilar bir-birlarini hosil qiladilar. Bu vektorlarning fazo va vaqtdagi o'zgarish jarayoni

to'liqin xarakterga ega. Ya'ni, fazoning biror nuqtasidagi maydonning holati, yoki $\vec{E}$ va $\vec{B}$ vektorlarning qiymati ma'lum vaqtdan keyin c —tezlikda tarqalib fazoning boshqa nuqtasida takrorlanadi. (2)-tenglamani har ikkala tomoniga rotor operatorini qo'llasak

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \vec{E} = \operatorname{rot} \left(-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right)$$

ko'rinishga kelimiz. Ikkinchi tomondan esa matematik nuqtai-nazardan

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \vec{E} = \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{E} - \Delta \vec{E} \quad (12.1)$$

ekanligi ma'lum. Lekin elektromagnit tolqin uchun

$$\operatorname{div} \vec{E} = 0$$

ekanligi ma'lum. Ikkinchi tomondan esa,

$$\operatorname{rot} \left(-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) = -\frac{\partial}{\partial t} \operatorname{rot} \vec{B} = -\frac{\partial}{\partial t} \epsilon_0 \mu_0 \frac{d\vec{E}}{dt} = -\frac{1}{c^2} \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2} \quad (12.2)$$

ko'rinishga kelimiz. (12.1) va (12.2) ni tenglashtirib hamda (8) —tenglamani ham shunga o'xshash o'zgartirish yo'li bilan quyidagi sistemaga kelimiz:

$$\begin{cases} \Delta \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2} = 0 \\ \Delta \vec{B} - \frac{1}{c^2} \frac{d^2 \vec{B}}{dt^2} = 0 \end{cases} \quad (12.3)$$

(12.3)-sistemaga elektromagnit to'liqin tenglamalari deyiladi. Bu to'liqin tenglamalarining yechimi

$$\begin{cases} \vec{E} = \vec{E} \left(t - \frac{\vec{k}_0 \vec{r}}{c} \right) \\ \vec{B} = \vec{B} \left(t - \frac{\vec{k}_0 \vec{r}}{c} \right) \end{cases}$$

yassi to'liqin ko'rinishiga ega. Bu yerda $\vec{k}_0$ —to'liqin tarqalishi yo'nalishidagi birlik vektor va bu vektor elektromagnit to'liqin tashkil etuvchilari $-\vec{E}$ va $-\vec{B}$ bilan o'zaro perpendikulyardir, ya'ni

$$\vec{k}_0 \perp \vec{E} \perp \vec{B}$$

Potensiallar orqali yozilgan elektromagnit to'liqin tenglamalari shunga o'xshash

$$\begin{cases} \Delta \vec{A} - \frac{1}{c^2} \frac{d^2 \vec{A}}{dt^2} = 0 \\ \Delta \varphi - \frac{1}{c^2} \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = 0 \end{cases} \quad (12.4)$$

ko'rinishga ega bo'ladi. Lekin biz bilgan

$$\begin{cases} \vec{B} = \text{rot} \vec{A} \\ \vec{E} = -\text{grad} \varphi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \end{cases}$$

o'tish ifodalari

$$\begin{cases} \vec{B} = \text{rot} \vec{A} \\ \vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \end{cases}$$

ko'rinishga keladi. Chunki, elektromagnit to'liqin manbaga ega bo'lmagan elektromagnit maydon bo'lganligi uchun

$$\varphi = 0 \quad \text{va} \quad \text{div} \vec{A} = 0$$

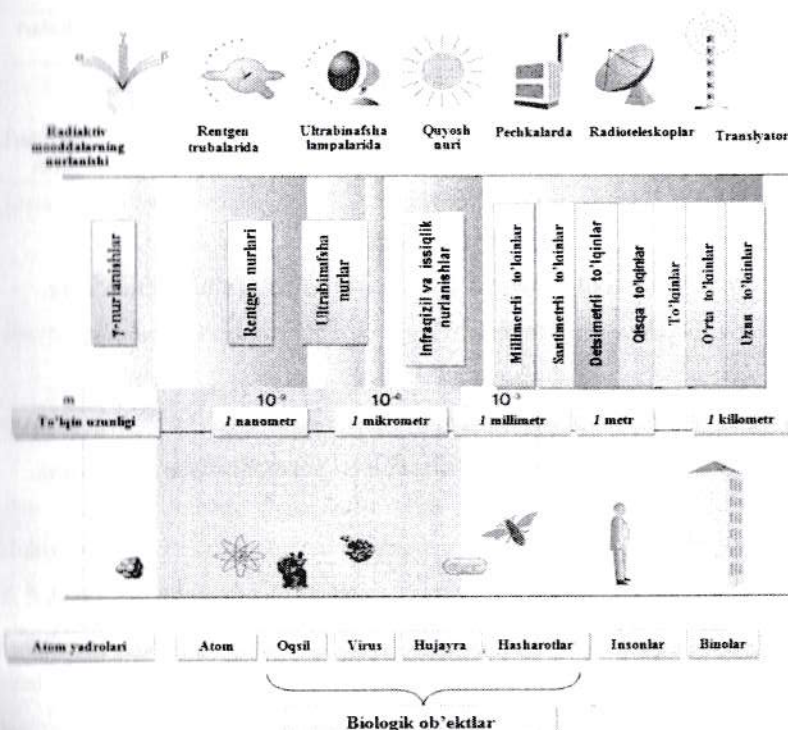
deb qabul qilishimiz mumkin. Shuning uchun (12)-sistemaning 1-tenglamasi qoladi va

$$\text{div} \vec{A} = 0$$

ifoda bilan birgalikda potensiallar orqali yozilgan elektromagnit to'liqin tenglamalari sistemasini tashkil qiladi, ya'ni

$$\begin{cases} \Delta \vec{A} - \frac{1}{c^2} \frac{d^2 \vec{A}}{dt^2} = 0 \\ \text{div} \vec{A} = 0 \end{cases} \quad (12.5)$$

ko'rinishga keladi.



Elektromagnit to'liqlar shkalasi

1-jadval

Nurlanish turlari	To'liqin uzunligi, m	To'liqin chastotasi, Hz	Nurlanish manbalari
Radioto'liqlar	10 ⁻⁴ - 10 ³	3 · 10 ⁵ - 3 · 10 ¹²	Tebranish konturi Gerts vibratori lampali generator
Yorug'lik to'liqlari:	5 · 10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁹	6 · 10 ¹¹ - 3 · 10 ¹⁷	
Infraqizil	8 · 10 ⁻⁷ - 5 · 10	8 · 10 ¹¹ - 3,75 · 10 ¹⁴	Lampalar
Ko'zga ko'rinadigan nurlar	8 · 10 ⁻⁷ - 4 · 10 ⁻⁷	3,75 · 10 ¹⁴ - 7,5 · 10 ¹⁴	Lazerlar
Ultrabinafsha nurlar	10 ⁻⁹ - 4 · 10 ⁻⁷	7,5 · 10 ¹⁴ - 3 · 10 ¹⁷	Lazerlar

Rentgen nurlari	$6 \cdot 10^{-12} - 2 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{17} - 5 \cdot 10^{19}$	Rentgen trubkalari
α -nurlanish	$< 6 \cdot 10^{-12}$	$> 5 \cdot 10^{19}$	Radioaktiv parchalanish, yadro jarayonlari, kosmik nurlanish

Sinov savollari:

1. Elektromagnit maydon va elektromagnit to'liqini tushuntiring.
2. To'liq jarayonini tushuntiring.

13. Relyativistik elektrodinamika

➤ 4-kattaliklar. Ularning mazmuni. 3-kattaliklar bilan bog'lanishi.

Elektromagnit maydon elektrodinamikaning obyekti va u c — tezlikda tarqaladi. Shu sababli elektromagnit maydon relyativistik obyektidir. Ma'lumki, $\vartheta \geq 0,1c$ tezliklarda sodir bo'ladigan jarayonlarni relyativistik fizika o'rganadi. Chunki, bunday tezliklarda relyativistik effektlar o'zini namoyon qiladi. Shu sababli ham elektrodinamikaning asosiy tenglamasi — Maksvell tenglamalari sistemasi (elektromagnit maydon tenglamalari sistemasi)ni relyativistik ko'rinishda yozish zaruriyati tug'iladi. Chunki maydon tenglamalari Lorents almashtirishlariga nisbatan kovariant bo'lishi, ya'ni ular o'z ko'rinishlarini barcha inertsial sanoq sistemalarda o'zgartirmasliklari kerak. Biz shu paytgacha Maksvell tenglamalari sistemasining 3-o'lchovli ifodasidan foydalanib keldik va ularning kovariantligi yaqqol ko'rinmas edi. Relyativistik fizikada esa 4-o'lchovli fazo-vaqt o'rinli bo'lgani uchun Maksvell tenglamalari sistemasini 4-o'lchovli ko'rinishda ifodalash zarur bo'ladi. Buning uchun elektromagnit maydon potentsiallari $-\vec{A}$ va $-\phi$ ni ustun-matritsa ko'rinishida birlashtiramiz

$$A_\alpha = \begin{pmatrix} \frac{i}{c} \phi \\ A_x \\ A_y \\ A_z \end{pmatrix} \quad (13.1)$$

Dalamber 4-operatoridan, yani 4-o'lchovli Dalamber operatori

$$\square = -\frac{1}{c^2} \frac{d^2 \vec{A}}{dt^2} + \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x_0^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} \quad (13.2)$$

dan foydalanamiz. Bu yerda

$$x_0 = ict, x_1 = x, x_2 = y, x_3 = z$$

yoki,

$$x_\alpha = (ict, x, y, z) = (ict, \vec{r}), x_1 = x, x_2 = y, x_3 = z$$

deb yozishimiz mumkin. Potentsiallar orqali yozilgan maydon tenglamalari

$$\begin{cases} \Delta \vec{A} - \frac{1}{c^2} \frac{d^2 \vec{A}}{dt^2} = -\mu_0 \vec{j} \\ \Delta \phi - \frac{1}{c^2} \frac{d^2 \phi}{dt^2} = -\frac{1}{\epsilon_0} \rho \end{cases} \quad (13.3)$$

ko'rinishga egaligini bilamiz. Agar (13.1) va (13.2) ifodalarni e'tiborga olsak, (13.3)-sistema

$$\square A_\alpha = -\mu_0 j_\alpha \quad (13.4)$$

ko'rinishga keladi. Bu yerda,

$$j_\alpha = \rho_0 \vartheta_\alpha,$$

ϑ_α — zaryadlarning 4-tezligi, ya'ni 4-o'lchovli tezligi bo'lib, u quyidagi ko'rinishga ega

$$\vartheta_\alpha = \left(\frac{ic}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}}, \frac{\vec{\vartheta}}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}} \right)$$

U holda j_α — 4-o'lchovli tok zichligi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi.

$$j_\alpha = \left(\frac{ic\rho_0}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}}, \frac{\rho_0 \vec{\vartheta}}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}} \right) = (ic\rho_0, \vec{j})$$

(13.4)-ifoda barcha inertsial sanoq sistemalarida o'z ko'rinishni o'zgartirmaydi, ya'ni kovariantdir. Potensiallarni kalibrovkalash sharti (Lorents sharti)

$$\operatorname{div} \vec{A} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = 0$$

quyidagi

$$\sum_{\alpha=0}^3 \frac{\partial A_{\alpha}}{\partial x_{\alpha}} = 0$$

yoki

$$\nabla_{\alpha} A_{\alpha} = 0$$

ko'rinishga keladi. A_{α} -ni aniqlab keyin $-\vec{E}$ va $-\vec{B}$ tashkil etuvchilarni topishimiz mumkin.

Sinov savollari:

1. Elektrodinamikani relyativistik ko'rinishda ifodalash zaruriyati nimada?
2. Nima uchun 4-o'lchamli kattaliklar ishlatiladi?
3. Relyativistik ko'rinishdagi maydon tenglamalarini tushintiring.

14. Modda (muhit) dagi elektromagnit maydon

- *Modda (muhit) dagi elektromagnit maydon.*
- *Modda (muhit) dagi elektromagnit maydon xususiyatlari.*

Biz hozirga qadar vakuumdagi elektromagnit maydonni o'rgandik. Endi moddadagi yoki muhitdagi elektromagnit maydonni qarab chiqamiz. Elektr zaryadi doimo modda bilan bog'liq hamda uning tarkibiga kiradi. Zaryadli zarralar atomlar va molekulalar tarkibiga kirib ular bilan kuchli bog'langanligi sababli erkin harakatlana olmasligi mumkin. Ayrim hollarda esa zaryadli zarralar (elektronlar) atomlar bilan o'z bog'lanishini yo'qotib modda bo'ylab erkin harakatlana olishi mumkin. Faqat bog'langan zaryadli atom va molekulalardan iborat moddalar dielektriklar deyiladi. Tarkibida erkin elektronlar mavjud moddalar esa o'tkazgichlar deyiladi. Lekin har qanday moddada (o'tkazgichlarda ham)

bog'langan va erkin elektronlar mavjudligi uchun zaryad va tok zichliklarini ikkiga ajratishimiz mumkin: erkin va bog'langan zaryadlar zichliklariga hamda ular hosil qilgan tok zichliklariga, ya'ni

$$\rho \rightarrow \rho_{er} + \rho_{bog'}$$

$$\vec{j} \rightarrow \vec{j}_{er} + \vec{j}_{bog'}$$

Ma'lumki, vakuumdagi elektromagnit maydon manbasi zaryadlangan zarralar sistemasi bo'lib bu sistemada zaryadlar xotik erkin harakatda bo'ladilar. Shu sababli moddada bog'langan zaryadlar zichligi hamda ular hosil qilgan tok zichligi mavjudligi vakuumdagidan farq qiladi. Moddadagi bog'langan zaryadlar hamda ular hosil qilgan tok shu moddaning elektr singdiruvchanligi $-\varepsilon$ hamda magnit kirituvchanligi $-\mu$ kabi kattaliklarda o'z aksini topadi. Ma'lumki, bu kattaliklar modda (muhit) ning mos holda elektr va magnit xususiyatlarini xarakterlaydi. Shu sababli ham moddada (muhitda) gi elektromagnit maydon tenglamalarini vakuumdagi maydon tenglamalaridan quyidagi almashtirish orqali osongina olinishi mumkin:

$$\varepsilon_0 \rightarrow \varepsilon_0 \varepsilon, \mu_0 \rightarrow \mu_0 \mu$$

Ya'ni, vakuum uchun yozilgan elektromagnit maydon tenglamalarida qayerda ε_0 bo'lsa, o'rniga $\varepsilon \varepsilon_0$ ni yozamiz, qayerda μ_0 bo'lsa, o'rniga $\mu \mu_0$ ni yozamiz. Demak, Maksvell tenglamalari sistemasi

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{div} \vec{B} = 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{array} \right. \quad (4)$$

quyidagi ko'rinishga

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon \varepsilon_0} \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{div} \vec{B} = 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{rot} \vec{B} = \mu \mu_0 \vec{j} + \mu \mu_0 \varepsilon \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{array} \right. \quad (4)$$

keladi. (1)- ifodaning har ikkala tomonini $\varepsilon \varepsilon_0$ ga ko'paytiramiz, (4)-ifodaning har ikkala tomonini esa $\mu \mu_0$ ga bo'lamiz va

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{div} \vec{D} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{div} \vec{B} = 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \end{array} \right. \quad (4)$$

sistemaga kelimiz. Oxirgi sistema modda (muhit) dagi elektromagnit maydon tenglamalari yoki modda (muhit) uchun Maksvell tenglamalari sistemasi deyiladi. Bu yerda

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E},$$

$$\vec{H} = -\frac{1}{\mu \mu_0} \vec{B}$$

bolib, $\vec{D}$ —elektr maydon induktsiyasi vektori, $\vec{B}$ —magnit maydon kuchlanganligi vektori deyiladi va ular mos holda moddada (muhitda) gi elektr va magnit maydonlarini xarakterlaydi.

Sinov savollari:

1. Modda (muhit) ni tushuntiring.
2. Moddada (muhitda) gi elektromagnit maydonni tushuntiring.

15. Modda (muhit) dagi elektromagnit maydon xususiyatlari

Modda(muhit)dagi elektromagnit maydon vakuumdagi elektromagnit maydonga qaraganda ayrim xususiyatlarga ega bo'ladi. Masalan, modda (muhit)ning atom va molekullari bilan kuchli bog'langan zaryadlar bilan bog'liq elektr hamda magnit xususiyatlari modda (muhit) ning turli qismlarida turlicha bo'lishi mumkin. Ya'ni,

$$\varepsilon = \varepsilon(\vec{r}), \quad \mu = \mu(\vec{r})$$

bo'lishi mumkin. U holda modda (muhit) dagi elektromagnit maydonni hisoblash yanada murakkablashadi. Lekin modda (muhit) bir jinsli va izotrop bo'lsa, ya'ni

$$\varepsilon = \text{const}, \quad \mu = \text{const}$$

bo'lsa, undagi elektromagnit maydonni hisoblash osonlashadi. Agar modda (muhit) uchun yozilgan Maksvell tenglamalari sistemasiga $\varepsilon = 1, \mu = 1$ qiymatlarni qo'ysak, vakuumdagi elektromagnit maydon tenglamariga kelimiz.

Modda (muhit) dagi elektromagnit maydon potentsiallarini vakuumdagi elektromagnit maydon potentsiallari kabi aniqlasak,

$$\vec{E} = -\operatorname{grad} \varphi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

$$\vec{B} = \operatorname{rot} \vec{A}$$

kabi bo'ladi. U holda modda (muhit) uchun yozilgan elektromagnit maydon tenglamalari sistemasini

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{div} \vec{D} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{div} \vec{B} = 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \end{array} \right. \quad (4)$$

potentsiallar orqali yozilganda quyidagi

$$\begin{cases} \Delta \vec{A} - \frac{\varepsilon\mu}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = -\mu_0 \vec{j} \\ \Delta \varphi - \frac{\varepsilon\mu}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon\epsilon_0} \end{cases} \quad (15.1)$$

ko'rinishga keladi. Lorentsning potentsiallarni kalibrovkalash sharti

$$\text{div} \vec{A} + \frac{\varepsilon\mu}{c^2} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = 0 \quad (15.2)$$

ko'rinishga keladi. (15.1)- va (15.2)-ifodalardan

$$c' = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}} \quad (15.3)$$

ekanligi kelib chiqadi, ya'ni elektromagnit maydonning modda (muhit) dagi tezligi uning vakuumdagi tezligidan $\sqrt{\varepsilon\mu}$ marta kichik bo'ladi. Bu yerda, $\sqrt{\varepsilon\mu} = n$ —modda (muhit) ning sindirish ko'rsatgichi ekanligi Optika kursidan ma'lum.

Sinov savollari:

1. Muhitning sindirish ko'rsatkichi qanday elektrodinamik kattaliklar bilan bog'langan?
2. Yorug'lik tezligi qanday elektrodinamik kattaliklar bilan bog'langan?
3. Modda va maydonning umumiyliги nimada?
4. Modda va maydon qaysi xususiyatlari bilan farqlanadi?

16. Modda (muhit) dagi elektromagnit maydon energiyasi va impuls

- *Modda(muhit) dagi elektromagnit maydon energiyasi.*
- *Modda(muhit) dagi elektromagnit maydon impuls.*

Biz vakuumdagi elektromagnit maydon energiyasi ifodasini bilamiz:

$$-\frac{\partial}{\partial t} \frac{1}{2} \left(\epsilon_0 E^2 + \frac{1}{\mu_0} B^2 \right) = \frac{1}{\mu_0} \text{div} [\vec{E} \vec{B}] + j\vec{E} \quad (16.1)$$

Bu ifoda modda (muhit) dagi elektromagnit maydon uchun quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi.

$$-\frac{\partial}{\partial t} \frac{1}{2} \left(\varepsilon\epsilon_0 E^2 + \frac{1}{\mu_0\mu} B^2 \right) = \frac{1}{\mu_0\mu} [\vec{E} \vec{B}] + j\vec{E} \quad (16.2)$$

Ya'ni, bu yerda

$$\epsilon_0 \rightarrow \epsilon_0 \epsilon, \quad \mu_0 \rightarrow \mu_0 \mu$$

almashtirishni amalga oshirdik. (16.2)-ifodada quyidagi almashtirishlarni bajaramiz:

$$\varepsilon\epsilon_0 E^2 + \frac{1}{\mu_0\mu} B^2 = \varepsilon\epsilon_0 \vec{E} \cdot \vec{E} + \frac{1}{\mu_0\mu} \vec{B} \cdot \vec{B} = \vec{D} \vec{E} + \vec{H} \vec{B}$$

$$\frac{1}{\mu_0\mu} \text{div} [\vec{E} \vec{B}] = \text{div} \left[\vec{E} \frac{1}{\mu_0\mu} \vec{B} \right] = \text{div} [\vec{E} \vec{H}]$$

Bu almashtirishlardan foydalansak, (16.2)-ifoda

$$-\frac{\partial}{\partial t} \frac{1}{2} (\vec{E} \vec{D} + \vec{H} \vec{B}) = \text{div} [\vec{E} \vec{H}] + j\vec{E} \quad (16.3)$$

ko'rinishga keladi. (16.3)-ifoda modda (muhit) dagi elektromagnit maydon energiyasi ifodasidir. Demak, modda (muhit) dagi elektromagnit maydon energiyasi vakuumdagi elektromagnit maydon energiyasi ifodasiga o'xshash ekan. (16.3)-ifodadan

$$\omega = \frac{1}{2} (\vec{E} \vec{D} + \vec{H} \vec{B})$$

bo'ladi, ya'ni ω —modda (muhit) dagi elektromagnit maydon energiyasi zichligi deyiladi. Energiya oqimi zichligi yoki Umov-Poynting vektori esa

$$\vec{\sigma} = [\vec{E} \vec{H}]$$

ko'rinishga ega bo'ladi. Shunday qilib, modda (muhit) dagi elektromagnit maydon energiyasi vakuumdagi elektromagnit maydon energiyasi ifodasiga o'xshash ekan. Lekin, modda (muhit) dagi elektromagnit maydon energiyasining o'ziga xos xususiyatlari bor:

1. Modda (muhit) tinch holatda bo'lgani uchun elektromagnit maydon tomonidan zaryadli zarralarni ko'chirishda bajarilgan ish $A = j\vec{E}$ modda (muhit) ning ichki energiyasini oshirishga sarflanadi. Shu sababli, (16.3)-ifodadagi $j\vec{E}$ had ajralib chiqqan issiqlikni anglatadi.

2. Modda (muhit) da elektromagnit maydon vakuumdagi elektromagnit maydondan farqli ravishda chegaralarga ega bo'lishi va bu chegaralar orqali o'tadigan energiya oqimi $-\text{div}[\vec{E}\vec{H}]$ nolga teng bo'lishi mumkin. U holda

$$-\frac{\partial}{\partial t} \int \frac{1}{2} (\vec{E}\vec{D} + \vec{H}\vec{B}) dV = j\vec{E} = Q$$

bo'ladi, ya'ni izolyatsiyalangan sistemada energiyaning saqlanish qonuniga kelamiz: biror hajmdagi elektromagnit maydon energiyasining kamayishi elektromagnit maydon tomonidan shu hajmda joylashgan zaryadlarni ko'chirishda bajarilgan ishga teng.

Modda (muhit) dagi elektromagnit maydon impulsi ham vakuumdagi elektromagnit maydon impulsi ifodasiga o'xshash bo'ladi. Faqat impuls zichligi

$$\vec{g} = [\vec{D} \vec{B}]$$

kabi aniqlanadi. Impulsning saqlanish qonuni esa

$$\sum \frac{m_i \vec{v}_i}{\sqrt{1 - \frac{v_i^2}{c^2}}} + \int [\vec{D} \vec{B}] dV = \text{const}$$

ko'rinishga keladi.

Sinov savollari:

1. Vakumdagi va modda (muhit) dagi elektromagnit maydon energiyalari orasidagi farqni tushintiring.
2. Vakumdagi va modda (muhit) dagi elektromagnit maydon impulslari ifodalari orasidagi farqni tushintiring.
3. Modda (muhit) dagi elektromagnit maydon energiyasi xususiyatlarini tushuntiring.

Uslubiy ko'rsatmalar va tavsiyalar

Ushbu o'quv qo'llanma klassik elektrodinamika asoslarini o'z ichiga oladi: unda fanning asosiy tushunchalari va kattaliklari, shuningdek asosiy tenglamalari va tamoyillari keltirilgan. Elektrodinamikaning qolgan mazmunini alohida maydonlar va zaryadlar tizimi uchun Maksvell yoki Maksvell-Lorens tenglamalar tizimini yechishda matematik almashtirishlar yordamida olingan xulosa va natijalar tashkil etadi.

Ushbu o'quv qo'llanmaning tuzilishi elektrodinamikaning bayon etilish uslubiyatini ham belgilaydi; o'quv materialini ma'ruzada batafsil bayon etilishi lozim; bayon qilingan bilimlarni o'rganishda talabalarning talabalar mustaqil o'qib o'rganishlari uchun qo'shimcha ma'lumotlar keltirilgan.

Nazariy bilimlarning turli holatlarda qo'llanilishi hamda elektromagnit ta'sirlashuvlarning tabiatini tushunish muhim bo'lganligi sababli talabalar ularning ta'riflarini bilishi zarur:

Elektrodinamikaning fundamental tushunchalari bu elektr zaryadi va elektromagnit maydon tushunchalaridir.

Elektr zaryadi – elementar zarralar va jismlarning zaryad miqdori Q bilan baholanuvchi xossasi. Bu kattalik zaryadlar va toklarning kuch ta'siri bilan o'lchanadi. Zaryadlar elektromagnit maydon hosil qiladi va maydonning ta'sirini baholaydi. Tabiatda elektr zaryadining saqlanish qonuni o'rindir.

Elektromagnit maydon materiyaning bir turi hisoblanadi. Har qanday elektr zaryadi o'zining maydoniga bog'langan, lekin maydon zaryaddan uzilgan holda elektromagnit to'lqinlar ko'rinishida mavjud bo'lishi mumkin.

Elektromagnit maydon elektr maydon kuchlanganligi E va magnit induksiyasi B bilan ifodalanadi. Bu kattaliklar maydonning nuqtaviy sinov zaryadiga ta'sirini baholaydi. Ta'sir kuchi Lorens formulasidan aniqlanadi.

Maydonning zaryadlar bilan bog'lanishi Maksvell tenglamalari bilan ifodalanadi. Bu tenglamalar zaryadlarning fazodagi joylashuvi va harakati

berilganda maydonni, maydon parametrlari berilganda esa uni hosil qiluvchi zaryadlar joylashuvi va harakatini aniqlash imkonini beradi.

Elektromagnit maydon uchun fazoning berilgan nuqtasida turli zaryadlar hosil qilgan elektr kuchlanganligi $\vec{E}_i$ va magnit induksiyasi $\vec{B}_i$ larning vektor yig'indisini o'z ichiga olgan superpozitsiya prinsipi o'rinli.

Nyutonning ikkinchi qonuni bilan to'ldirilgan Maksvell tenglamalari Maksvell-Lorens tenglamalari deb yuritiladi va "maydon – zaryad" tizimini baholaydi. Bu tizimning turli holatlarini o'rganish elektrodinamika kursining mazmunini tashkil etadi.

Maksvell tenglamalarini integrallash masalasi kuchlanganlikdan maydon potentsiallariga o'tish orqali amalga oshiriladi. Maydonning potentsiallar orqali ifodalangan tenglamalari matematikada yaxshi o'rganilgan Dalamber tenglamalarining aynan o'zidir.

Maydonning potentsiallar orqali ifodalangan tenglamalarining umumiy yechimi turli chastotali, amplitudali, qutblanishli, yo'nalishdagi yassi monoxromatik to'lqinlar va kechikuvchi potentsiallarning yig'indisidan iborat. Elektromagnit maydonning asosiy xossalardan biri uning o'zgaruvchan qiymatlari fazoda

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} \text{ tezlik bilan tarqalishidir.}$$

Maydon energiya va impulsning saqlanish qonuni izolyatsiyalangan (yopiq) "maydon - zaryad" tizimi uchun o'rinli. Maydonda energiyani bir joydan boshqasiga tashuvchi energiya oqimlari bo'lishi mumkin.

Maydonning barcha xususiy holatlari ko'rsatilgan umumiy yechim ichida bo'lib zaryaddan uzilgan elektromagnit to'lqinlar, qo'zg'almas yoki statsionar harakatdagi zaryadlar statsionar maydoni, kvaristat nurlayotgan elektromagnit to'lqinlar sifatida namoyon bo'ladi.

Fizikaning har bir bo'limida o'ziga xos matematik tushunchalar ishlatiladi. Elektrodinamikani o'rganish uchun vektorlar algebrasi va vektorlar analizini o'zlashtirishi lozim.

Skalyar va vektor ko'paytmalar, grad, div, rot amallari va boshqalarning formulasini yoddan bilishi zarur.

Ko'p uchraydigan ifodalarda grad, div, rotni hisoblashni bilishi zarur.

Vektor analizida ko'p uchraydigan ayniyatlarni isbotlash va yodda saqlashi kerak.

δ funksiyaning xossalari bilishi zarur.

Kursni o'rganish davomida elektrodinamikada ma'lumotnoma tuzib olish, ya'ni asosiy formulalar va ularning nomlanishini maxsus daftarga yozib borish kerak.

Har bir mavzuni o'rganishda ularning o'zlashtirilishini mavzudsn keyingi savollarga javob berish orqali nazorat qilib borish kerak.

Elektr zaryadi moddiy obyektlarning qanday xossalari xarakterlaydi. Bu fizik kattalik qanday xossalarga ega ekanligini bilishi kerak.

Vektor analizi amallari bilan maydonning differensial tenglamalari qanday berilishini bilish zarur.

Maksvell tenglamalari qanday masalalarni yechishda ishlatilishini bilish. Maydonlar superpozitsiyasi prinsipini ta'riflash va uning qo'llanilishiga misollar keltirish. Maksvell tenglamalarining differensial va integral shakllari fizik va matematik nuqtayi nazardan ifodalash, Maksvell tenglamalari shakllanishida rol o'ynagan elektromagnetizm qonunlarini bilish zarur.

Elektromagnit maydon materiyaning bir turi ekanligi qanday tasdiqlanishini bilish. Maydon moddadan qanday farqlanishini bilish. Maydon haqidagi tushunchalarni rivojlantirish ya'ni maktab va oliy ta'limda maydon haqidagi tushunchalarni taqqoslay olish, integral ko'rinishdagi Maksvell tenglamalarini differensial ko'rinishga qanday o'tkazilishini bilish. Gauss teoremasini qo'llashda sirtga o'tkazilgan normalning yo'nalishini, Stoks teoremasida normal yo'nalishi va konturni tekshirish yo'nalishini tahlil qilishi.

Mustaqil ravishda energiya va maydon energiyasi saqlanish qonuniga keltiruvchi formulalarni belgilash, materiya, harakat va energiyaning maydon va

maydon-zaryad sistemasi uchun umumiy falsafiy ta'riflarini bilish, mexanik sistema potensial energiyasining maydon energiyasi bilan bog'lanishini ko'rsata olish, elektromagnit maydon energiyasining boshqa turlarga aylanishiga misollar keltirish. Maydonning makroskopik va mikroskopik manzarasini energiya va impuls formulalari orqali taqqoslay olishi, energiya oqimi deganda energiyaning harakati tushunilishimi yoki energiyaga ega jism harakati tushuniladimi degan fikrni taqqoslay olishi.

Potensiallar asosidagi maydon tenglamalarining umumiy yechimini tahlil qilish. Nima uchun φ va $\vec{A}$ funksiyalar va ularning birinchi hosilalari uzluksiz bo'lishi talab etilishini bilishi. To'liq tenglamalari xossalari o'rganishi.

Boshlang'ich va chegaraviy shartlarning ahamiyatini tushina olishi, tenglama umumiy yechimini alohida maydonlar uchun qo'llay olishi zarur.

$\varphi(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{Q(\vec{r}_0)}{r'} dV_0$ funksiya $\vec{A}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{j\vec{r}_0}{r'} dV_0$ maydon tenglamasining xususiy holi ekanligini bilishi.

Tenglamaning umumiy va xususiy yechimlari orasidagi munosabatni umumiy yechimdagi hadlarning fizik ma'nosini o'rganishi. Hisoblashlarda ishlatiladigan statsionar maydonlar uchun turli yondashuvlarni taqqoslashi. Kulon

qonunidan $\begin{cases} \text{div } \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} Q \\ \text{rot } \vec{E} = 0 \end{cases}$ tenglamaga Gauss teoremasiga asoslanib o'tishning

matematik apparatini topishi. $Q = 0$, $\vec{P} \neq 0$ va $Q = 0$, $P = 0$ lekin kvadrupol moment noldan farqli bo'lgan hol uchun nuqtaviy zaryadlar sistemasi asosida masala tuzishi zarur.

Mexanikadan ish, energiya, kuch momentini aniqlashni eslab, zaryadlar ta'sirlashib energiyasi va maydon energiyasi nisbatini mos holda energiyaning uzoq va yaqin ta'sir tariflarini taqqoslashni bilishi zarur.

Magnit maydonini hisoblashning turli usullarini o'rganib chiqishi. Elektrostatik va magnitostatik maydonlar manbai va o'xshashlik chegaralarini tahlil qilishi. Statsionar maydonlaridagi umumiylikni ko'rsatishi zarur.

Yuqorida keltirilgan uslubiy ko'rsatma va tavsiyalar talabalarning fanga oid kompetensiyalarini takomillashtirishga qaratilgan ma'lumotlarning asosiy qismi bo'lib, avval o'rganilgan materialning xususiy holi hisoblanadi. Bu yerda elektrostatika yoki magnitostatika emas balki muhitda va vakuumda statsionar maydonlarning ba'zi bir masalalari bayon etilgan. Yaqin va uzoq ta'sirlashuv munosabatlarining tahlili muhim ahamiyatga ega bo'lib, bunga mos ma'lumotlar har bir mavzuda keltiriladi.

Mustahkamlash uchun mashqlar

1. Agar koordinata boshi sfera markazida bo'lgan maydon kuchlanganligi $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$ formula bilan ifodalansa, radiusi r bo'lgan sfera orqali o'tayotgan elektr maydon oqimini hisoblang.

2. Ixtiyoriy chekli yopiq sirt orqali bir jinsli maydon oqimi vektorini hisoblang.

3. Ixtiyoriy chekli yopiq sirt orqali magnit induksiya vektori hisoblang.

4. Maydon potensial ifodasidan foydalanib, ixtiyoriy yopiq kontur bo'yicha elektr maydon kuchlanganligi vektorining sirkulyatsiyasini toping.

5. Ixtiyoriy yopiq konturga magnit maydon induksiya sirkulyatsiyasini toping va umumiy holda noldan farqli ekanligini ko'rsating.

6. Bir jinsli maydon $\vec{B}$ ning yopiq kontur bo'yicha sirkulyatsiyasini noldan teng ekanligini isbotlang.

Ko'rsatma: 1-6 masalalarni Gauss va Stoks teoremlaridan foydalanib yechish mumkin.

7. Nuqtaviy elektr zaryadini elektromagnit maydonda ko'chirishda bajarilgan ishni maydon pensialari orqali ifodalang.

8. Yassi elektromagnit to'liqlar mavjud bo'lganda, yopiq maydon zaryad sistemasini kiritish mumkin yoki mumkin emasligini muhokama qiling.

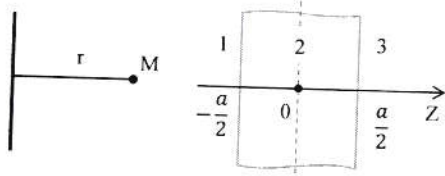
9. Sferik elektromagnit to'liqlar mavjud bo'lganda izolyatsiyalangan sistemani kiritish mumkin yoki mumkin emasligini muhokama qiling.

10. Rotor va divergensiyaning berilishi, vektor maydonni to'liq aniqlashini ko'rsating.

11. Gauss teoremasi yordamida tekis zaryadlangan o'tkazgich, tekislik, silindrik va sferik sirtlarning maydon kuchlanganliklarini toping (8.6-rasm).

Javobi: 1) $E = \frac{2k\tau}{r}$. 2) $\vec{E} = 2\pi k\sigma\vec{n}$.

3) $E = \frac{4\pi k a \sigma}{r}$, $r \gg a$; $E = 0$, $r < a$. 4) $E = \frac{4\pi k a^2 \sigma}{r^2}$, $r \geq a$; $E = 0$, $r < a$.



8.6-rasm.

8.7-rasm.

Javobi: 8.7-rasmdagi Z o'qini plastinaga perpendikulyar tanlab olib 1,2,3 sohalar uchun quyidagiga ega bo'ladi.

12. Potensiallar asosidagi tenglama asosida ρ zichlik bilan zaryadlangan a qalinlikdagi plastinaning maydonini aniqlang.

$$\varphi_1 = 2\pi k \rho a z + \frac{1}{2} \pi k \rho a^2, \quad \left(z \leq -\frac{a}{2}\right);$$

$$\varphi_2 = -2\pi k \rho z^2, \quad \left(-\frac{a}{2} < z < \frac{a}{2}\right);$$

$$\varphi_3 = -2\pi k \rho a z + \frac{1}{2} \pi k \rho a^2, \quad \left(z \geq \frac{a}{2}\right);$$

$$E_{1,z} = -2\pi k \rho a, \quad E_{2,z} = 4\pi k \rho z, \quad E_{3,z} = 2\pi k \rho a.$$

13. Potensiallar asosidagi tenglamani yechib a radiusli va ρ zichlik bilan tekis zaryadlangan cheksiz aylana silindrning maydonini toping.

Javobi: $\varphi_1 = -\pi k \rho r^2$, $E_{1,r} = 2\pi k \rho r$, ($0 < r < a$);

$$\varphi_2 = 2\pi k \rho a^2 \ln \frac{a}{r} - \pi k \rho a^2, \quad E_{2,r} = \frac{2\pi k \rho a^2}{r}, \quad (r \gg a).$$

14. τ chiziqli zichlik bilan zaryadlangan, l uzunlikdagi to'g'ri o'tkazgichning maydonini toping.

Javobi: Zaryadlar joylashuvining nolga nisbatan simmetriyasiga ko'ra maydonning faqatgina maydon kuchlanganligining E_x va E_z tashkil etuvchilari noldan farqli. U holda dz_0 uzunlikdagi element quyidagi maydon kuchlanganligini hosil qiladi (8.8-rasm).

$$d\vec{E} = \frac{k\tau dz_0 \vec{r}}{r^3}.$$

O'tkazgich uzunligi bo'yicha integrallab: $E_x = E_z = 0$ ni olamiz.

$$E_x = \int_{-(l-a)}^a \frac{k\tau dz_0}{z_0^2 + x^2} \cos \alpha, \quad E_z = \int_{-(l-a)}^a \frac{k\tau dz_0}{z_0^2 + x^2} \sin \alpha.$$

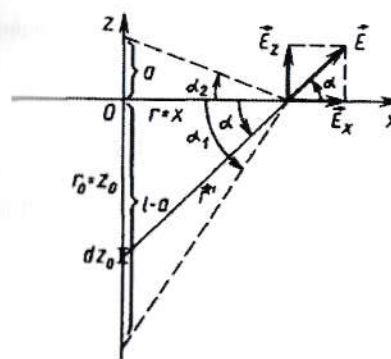
O'zgaruvchilarni almashtirsak (8.8-rasm)

$$z_0 = x \tan \alpha, \quad dz_0 = \frac{x d\alpha}{\cos^2 \alpha}$$

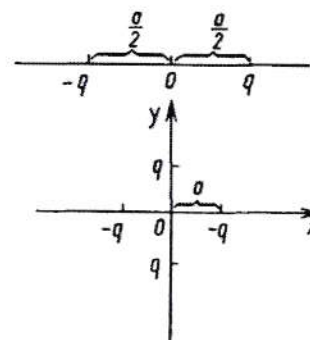
Buni hisobga olganda

$$E_x = \frac{k\tau}{x} (\sin \alpha_2 + \sin \alpha_1), \quad E_z = \frac{k\tau}{x} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

15. 8.9-rasmda tasvirlangan nuqtaviy zaryadlar sistemasi uchun dipol va kvadrupol momentlarni hisoblang.



8.8-rasm.



8.9-rasm.

Javobi: a) $p_x = aq$, $p_y = p_z = 0$, $D_{xx} = qa^2 - qa^2 = 0$;

Kvadrupol momentning boshqa komponentlari nolga teng.

$$b) \beta = 0, \quad D_{xx} = -2qa^2, D_{yy} = 2qa^2, \quad D_{zz} = 0, \quad D_{xy} = D_{yx} = 0,$$

$$D_{xz} = D_{zx} = 0, \quad D_{yz} = D_{zy} = 0.$$

16. Radiusi a va balandligi $2h$ bo'lgan, hajm bo'yicha ρ zichlik bilan zaryadlangan (8.10-rasm) aylana silindrning dipol va kvadrupol momentlarini hisoblang.

Javobi: Zaryadlar joylashuvining simmetriyasiga ko'ra dipol moment nolga teng. Kvadrupol momentni hisoblash uchun γ, φ, z silindrik koordinatalardan foydalanish qulay.

$$D_{xx} = \int_0^a \int_0^{2\pi} \int_{-h}^h \rho r^3 \cos^2 \varphi dr d\varphi dz = \frac{\pi a^4 h \rho}{2};$$

$$D_{yy} = D_{xx}; \quad D_{zz} = \frac{2}{3} \pi a^2 h^3 \rho;$$

Boshqa komponentlar nolga teng.

17. Tokning sirt zichligi $i \left(\frac{A}{m} \right)$ bo'lgan cheksiz solenoidning maydon induksiyasi topilsin (8.11-rasm).

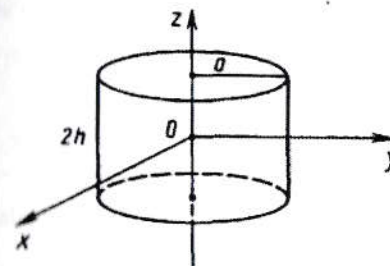
Javobi: Masala shartida tok taqsimoti simmetriyasidan induksiya vektori $\vec{B}$ o'z o'qiga parallel va uning moduli Z koordinata va Oz o'qi atrofida burchagiga bog'liq emasligi kelib chiqadi. $\vec{B}$ vektoring (a) tipidagi ixtiyoriy kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi nolga teng. Formulaga ko'ra solenoiddan tashqarida maydon induksiyasi nolga teng.

(b) kontur bo'yicha sirkulyatsiyani hisoblasak

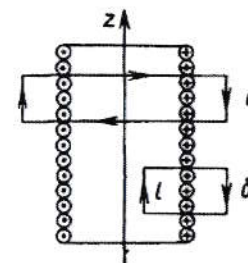
$$l B = \mu_0 i l$$

Bunda solenoidning barcha nuqtalarida $B = \mu_0 L$. Birlik uzunlikdagi o'ramlar soni n ta bo'lgan solenoiddan I tok oqayotgan bo'lsa:

$$B = \mu_0 n I$$



8.10-rasm.



8.11-rasm.

18. Tashqi va ichki diametrlari $2a$ va $2b$ bo'lgan cheksiz uzun ichki kovak silindrning ko'ndalang kesimi bo'yicha tekis taqsimlangan tok tomonidan hosil qilingan maydon vektor potensialini va induksiyasini toping.

Ko'rsatma: $\Delta \vec{A} = -\mu_0 \vec{j}$ formuladan foydalanamiz.

Dekart koordinatalar sistemasida Oz o'qini silindr o'qi bo'ylab yo'naltiramiz. $j_x = j_y = 0$, $j_z = j$ bu yerda $A_x = A_y = 0$, $A_z = A$ va $\Delta A = -\mu_0 j$.

bundan r, α, z silindrik koordinatalarni kiritamiz. Masala shartlaridan simmetriyaga ko'ra $A = A(r)$ bundan,

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dA}{dr} \right) = 0, \quad r \leq a, \quad r \geq b;$$

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dA}{dr} \right) = -\mu_0 j, \quad a \leq r \leq b.$$

Bu tenglamalarni to'g'ridan-to'g'ri integrallasak, potensial uchun quyidagi ifodani olamiz.

$$A_1 = C_1 \ln r + C_2, \quad 0 \leq r \leq a;$$

$$A_2 = -\frac{\mu_0 j}{4} r^2 + C_3 \ln r + C_4, \quad a \leq r \leq b;$$

$$A_3 = C_5 \ln r + C_6, \quad \infty \leq r \leq b. \quad (1)$$

$\vec{B} = \text{rot } \vec{A}$ ekanligi berilgan masalada

$$\vec{B} = -e_\varphi \frac{dA}{dr} \quad (2)$$

(Rotorning silindrik koordinatalardagi ifodasiga qarang).

(1) formula yordamida har uchala soha uchun mos holda quyidagilarga ega bo'lamiz.

$$\frac{dA_1}{dr} = \frac{C_1}{r}, \quad \frac{dA_2}{dr} = -\frac{\mu_0 j}{2} r + \frac{C_3}{r}, \quad \frac{dA_3}{dr} = \frac{C_5}{r}.$$

Mos holda quyidagilarga ega bo'lamiz. $\vec{B}$ induksiyaning chekli qiymatlarida $C_1 = 0$ deb olamiz. Umumiylik cheklanmagani uchun $C_1 = 0$. Boshqa doimiylar potensial va induksiyaning sohalar chegarasida uzluksizligi shartidan topiladi.

Javobi: $A_1 = 0, B_1 = 0;$

$$A_2 = -\mu_0 j \left(\frac{1}{4} r^2 - \frac{a^2}{2} \ln r + \frac{a^2}{2} \ln a - \frac{a^2}{4} \right);$$

$$B_2 = \frac{\mu_0 j}{2} r \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right);$$

$$A_3 = -\frac{\mu_0 j}{2} \left\{ (b^2 - a^2) \ln r + \frac{1}{2} ((b^2 - a^2) + a^2 \ln a - b^2 \ln b) \right\},$$

$$B_3 = \frac{\mu_0 j}{2} \frac{b^2 - a^2}{r}.$$

($a = 0$ bo'lganda yaxlit silindir orqali o'tayotgan tokning magnit maydoni ifodasi kelib chiqadi:

$$B_1 = \frac{\mu_0 j}{2} r, \quad 0 \leq r \leq b;$$

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}, \quad b \leq r \leq \infty;$$

$$I = j\pi b^2.)$$

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Zaryadi 10 nKl bo'lgan nuqtaviy zaryaddan 20 sm masofada elektr maydon kuchlanganligi va induksiya nimaga teng?
2. Zaryadi 10 nKl bo'lgan nuqtaviy zaryad koordinata boshida joylashgan. Ixtiyoriy ($4 \text{ sm}; 3 \text{ sm}$) koordinataga ega bo'lgan nuqtadagi elektr maydon induksiya nimaga teng?
3. Fazoning biror nuqtasida elektr maydon kuchlanganligining tashkil etuvchilari $E_x = 40; E_y = 30; E_z = 120 \text{ [V/m]}$ bo'lsa, bu nuqtadagi kuchlanganlik qiymati nimaga teng?
4. Fazoning biror nuqtasida elektr maydon kuchlanganligi $\vec{E} = 30 \cdot \vec{i} + 40 \cdot \vec{j} + 120 \cdot \vec{k}$ ko'rinishda bo'lsa, u holda kuchlanganlik vektorining bu nuqtadagi yo'naltiruvchi kosinuslari nimaga teng?
5. Zaryadi 4913 nKl bo'lgan nuqtaviy zaryad koordinata boshida joylashgan. Ixtiyoriy ($15 \text{ sm}; 8 \text{ sm}$) koordinataga ega bo'lgan nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligining komponentalari E_x va E_y nimaga teng?
6. Sirt zichligi $\sigma = 8,85 \cdot 10^{-8} \text{ [Kl/m}^2\text{]}$ bo'lgan plastinaning elektr maydon kuchlanganligi nimaga teng?
7. Sirt zichligi $\sigma = 4 \cdot 10^{-7} \text{ [Kl/m}^2\text{]}$ bo'lgan plastinaning elektr maydon induksiya nimaga teng?
8. Chiziqli zichligi $\tau = 8 \cdot 10^{-9} \text{ [Kl/m]}$ bo'lgan cheksiz to'g'ri o'tkazgichdan $3,2 \text{ sm}$ masofada elektr maydon induksiya nimaga teng?
9. Chiziqli zichligi $\tau = 17,7 \cdot 10^{-9} \text{ [Kl/m]}$ bo'lgan cheksiz to'g'ri o'tkazgichdan 10 sm masofada elektr maydon kuchlanganligi nimaga teng?
10. Nuqtaviy zaryaddan, chiziqli zaryadlangan uzun simdan, cheksiz yassi plastinadan 3 marta uzoqlashganda elektr maydon necha marta susayadi?
11. $R = 50 \text{ sm}$ radiusli sim halqa 13 nKl elektr zaryadiga ega. Bu halqa markazidan 120 sm masofada joylashgan nuqtada elektr maydon potentsiali nimaga teng?
12. $R = 60 \text{ sm}$ radiusli sim halqa 10 nKl elektr zaryadiga ega. Bu halqa markazidan 80 sm masofada joylashgan nuqtada elektr maydon kuchlanganligi nimaga teng?

13. $R=10\text{ sm}$ radiusli sim halqa 2 nKl elektr zaryadiga ega. Bu halqa markazidan qanday masofada elektr maydon kuchlanganligi maksimal bo'ladi? Bunda kuchlanganlikning maksimal qiymati nimaga teng?
14. $q_1 = 225\text{ nKl}$ va $q_2 = 64\text{ nKl}$ bo'lgan zaryadlar orasidagi masofa 170 sm ga teng. 1-zaryaddan 150 sm va 2-zaryaddan 80 sm masofada joylashgan nuqtada elektr maydon kuchlanganligi nimaga teng bo'ladi?
15. Ikkita cheksiz yassi plastinalar $\sigma_1 = +120\text{ nKl/m}^2$ va $\sigma_2 = -80\text{ nKl/m}^2$ sirti y zichlikkacha zaryadlangan. Bu plastinalar orasida va tashqarisida elektr maydon induksiylari nimaga teng?
16. Elektr maydon kuch chiziqlar soni vakuumdan biror shaffof dielektrik muhitga o'tganda 9 marta kamaygan bo'lsa, bu dielektrik muhitning absolyut nur sindirish ko'rsatkichi nimaga teng?
17. O'zgarmas tok zanjiri RC ko'rinishida bo'lib, bunda $R=250\text{ Om}$ va $C=4\text{ mkF}$ ga teng. Bu elektr zanjiri uchun vaqt doimiysi τ nimaga teng?
18. O'zgarmas tok zanjiri RC ko'rinishida bo'lib, bunda $R=250\text{ Om}$ va $C=4\text{ mkF}$ ga teng. Kondensator $\varepsilon = 30\text{ V}$ bo'lgan tok manbaiga ulangan holda turibdi. Zanjir tok manбайдan uzilgandan qacha vaqt o'tgach kondensatorda zaryad miqdori 24 mKl ga teng bo'lib qoladi?
19. To'g'ri o'tkazgichdagi tok kuchi 1 A ga teng. Bu o'tkazgichdan 10 sm va 20 sm uzoqliklarda magnit induksiya nimaga teng bo'ladi?
20. $R=6\text{ sm}$ radiusli sim halqa 100 mA aylanma tok hosil qilindi. Bu halqa markazidan 8 sm masofada joylashgan nuqtada magnit maydon kuchlanganligi nimaga teng?
21. G'altakdagi tok kuchi $0,4\text{ A}$ ga teng. Bu g'altakning uzunligi 8 sm bo'lib, unda 400 ta o'ram bor. Bu g'altak o'rtasida magnit maydon induksiya nimaga teng?
22. Tok kuchi 1 A bo'lgan tokli o'tkazgich bizdan tik holda kitob tekisligi tomonga yo'nalgan. Oxy tekisligi odatdagidek kitob tekisligida joylashgan. O'tkazgich koordinata boshidan o'tadi hisoblab, koordinatasi $(3\text{ sm}; 4\text{ sm})$ bo'lgan nuqtadagi magnit induksiya aniqlang.
23. Tok kuchi $3,14\text{ A}$ bo'lgan tokli o'tkazgich bizdan tik holda kitob tekisligi tomonga

- yo'nalgan. Oxy tekisligi odatdagidek kitob tekisligida joylashgan. O'tkazgich koordinata boshidan o'tadi hisoblab, koordinatasi $(3\text{ sm}; 4\text{ sm})$ bo'lgan nuqtadagi magnit maydon kuchlanganligini vektor ko'rinishda yozing.
24. Fazoning biror nuqtasida birinchi tok $H_1 = 20\text{ A/m}$, ikkinchi tok esa $H_2 = 30\text{ A/m}$ ga teng kuchlanganliklar hosil qilib, ular o'zaro 45° burchak tashkil etadi. Shu nuqtadagi natijaviy magnit maydon kuchlanganligi nimaga teng?
 25. Bir tomonga yo'nalgan o'zaro parallel to'g'ri tokli o'tkazgichlardan $I_1 = 4\text{ I}$ va $I_2 = I$ ga teng toklar o'tmoqda. Bu tokli o'tkazgichlar orasidagi masofa $r=20\text{ sm}$ ga teng bo'lsa, tokli o'tkazgichlardan qancha uzoqlikda bo'lgan nuqtada natijaviy maydon induksiya nolga teng bo'ladi?
 26. Yelektr qarshiligi $R=3\text{ Om}$ bo'lgan sim halqani kesib o'tuvchi magnit oqimi $\Delta\Phi=24\text{ mVb}$ ga o'zgarganda simning ko'ndalang kesimi orqali qancha miqdordagi elektr zaryadi oqib o'tadi?
 27. O'zgarmas tok zanjiri RL ko'rinishida bo'lib, bunda $R=25\text{ Om}$ va $L=100\text{ mGn}$ ga teng. Bu elektr zanjiri uchun vaqt doimiysi τ nimaga teng?
 28. O'zgarmas tok zanjiri RL ko'rinishida bo'lib, bunda $R=25\text{ Om}$ va $L=100\text{ mGn}$ ga teng. Kondensator $\varepsilon = 30\text{ V}$ bo'lgan tok manbaiga ulangan holda turibdi. Zanjir tok manбайдan uzilgandan qancha vaqt o'tgach g'altakdagi tok kuchi 240 mA ga teng bo'lib qoladi?
 29. Tebranish konturi induktivligi $L = 4 \cdot 10^{-5}\text{ Gn}$ bo'lgan induktiv g'altagi va elektr sig'imi $C = 9 \cdot 10^{-9}\text{ F}$ bo'lgan kondensatordan tashkil topgan. Bu tebranish konturi uchun tebranish davri nimaga teng?
 30. Real tebranish konturida simlarning elektr qarshiligi $R=10\text{ Om}$, induktiv g'altakning induktivligi $L=10^{-4}\text{ Gn}$, kondensatorning elektr sig'imi $C=10^{-6}\text{ F}$ ga teng. Bu real tebranish konturi uchun so'nishning logarifmik dekrementi nimaga teng?

Masalalarning javoblari:

1. $E=2250 \text{ V/m}$; $D=20 \text{ nKl/m}^2$; 2. $D=320 \text{ nKl/m}^2$; 3. $E=130 \text{ V/m}$; 4. $\cos \alpha = \frac{4}{13}$; $\cos \beta = \frac{3}{13}$; $\cos \gamma = \frac{12}{13}$; 5. $E_x = 1350$; $E_y = 720 \text{ [kV/m]}$; 6. $E=5 \text{ kV/m}$; 7. $D=200 \text{ nKl/m}^2$; 8. $D=40 \text{ nKl/m}^2$; 9. $E=3200 \text{ V/m}$; 10. 9-marta; 3-marta; o'zgarmaydi; 11. $\varphi = 90 \text{ V}$; 12. 72 V/m ; 13. $L_0 = 14 \text{ sm}$; $E_0 = 490 \text{ V/m}$; 14. 1273 V/m ; 15. $D_1 = 100 \text{ nKl/m}^2$; $D_2 = 20 \text{ nKl/m}^2$; 16. $n=3$; 17. $\tau=1 \text{ ms}$; 18. $t=1,61 \text{ ms}$; 19. $B_1 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Tl}$; $B_2 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Tl}$; 20. $H=18 \text{ A/m}$; 21. $B=2,51 \text{ mTl}$; 22. $B = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Tl}$; 23. $\vec{H} = 8 \cdot \vec{i} + 6 \cdot \vec{j} \text{ [A/m]}$; 24. $46,35 \text{ A/m}$; 25. $r_1 = 16 \text{ sm}$; $r_2 = 4 \text{ sm}$; 26. $\Delta q = 8 \text{ mKl}$; 27. $\tau=4 \text{ ms}$; 28. $t=6,44 \text{ ms}$; 29. $T=3,77 \text{ mks}$; 30. $D=1,813$.

Talabalarning bilimlarini baholash uchun testlar

1. Skalyar maydon gradiyenti qanday kattalik?
 - A) Vektor B) Skalyar C) Noma'lum D) Vektor ham skalyar ham bo'lishi mumkin.
2. Elektr maydon gradiyenti nimani ko'rsatadi?
 - A) Elektr maydon potensialining eng tez o'sish yo'nalishini
 - B) Elektr maydon kuchlanganligining eng tez o'sish yo'nalishini
 - C) Elektr maydon potensialining eng tez kamayish yo'nalishini
 - D) Elektr maydon kuchlanganligining eng tez kamayish yo'nalishini
3. Nabla operatori nima?
 - A) Bu operatorning o'zi ma'nosiz bo'lib, u biror kattalikka ta'sir etganda ma'noga ega bo'ladi.
 - B) Bu operatorning o'zi ma'noga ega bo'lib, u biror kattalikka ta'sir etganda ma'nosiz bo'lib qoladi.
 - C) Bu operator biror kattalikka ta'sir qilsa ham qilmasa ham ma'noga ega emas.
 - D) Bu operator biror kattalikka ta'sir qilsa ham qilmasa ham ma'noga ega bo'ladi.
4. Nabla operatori yana qanday ataladi?
 - A) Gamilton operatori B) Faradey operatori.
 - C) Laplas operatori D) Shredinger operatori.
5. Nabla operatorining matematik ko'rinishini ko'rsating.
 - A) $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}$ B) $\vec{\nabla} = \frac{\partial^2}{\partial^2 x} \vec{i} + \frac{\partial^2}{\partial^2 y} \vec{j} + \frac{\partial^2}{\partial^2 z} \vec{k}$
 - C) $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}$ D) $\vec{\nabla} = \frac{\partial^2}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2}{\partial^2 y} + \frac{\partial^2}{\partial^2 z}$
6. Nabla operatorining elektr maydon potensialiga ta'sirini ko'rsating.
 - A) $\vec{\nabla} \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \vec{k}$ B) $\vec{\nabla} \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial^2 x} \vec{i} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial^2 y} \vec{j} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial^2 z} \vec{k}$
 - C) $\vec{\nabla} \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \frac{\partial \varphi}{\partial z}$ D) $\vec{\nabla} \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial^2 x} \vec{i} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial^2 y} \vec{j} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial^2 z} \vec{k}$
7. Divergensiya deganda nimani tushunasiz?

A) Divergensiya – bu biror vektor maydonni hosil qiluvchi manbaning mavjudligini anglatuvchi skalyar kattalik bo'lib, bu faqat vektor maydonlar uchun o'rinalidir.

B) Divergensiya – bu biror skalyar maydonni hosil qiluvchi manbaning mavjudligini anglatuvchi vektor kattalik bo'lib, bu faqat skalyar maydonlar uchun o'rinalidir.

C) Divergensiya – bu biror skalyar maydonni hosil qiluvchi manbaning mavjudligini anglatuvchi skalyar kattalik bo'lib, bu faqat vektor maydonlar uchun o'rinalidir.

D) Divergensiya – bu biror vektor maydonni hosil qiluvchi manbaning mavjudligini anglatuvchi vektor kattalik bo'lib, u skalyar va vektor maydonlar uchun o'rinalidir.

8. Biror nuqtadagi divergensiyaning musbat bo'lishi nimani anglatadi?

A) Bu nuqtani qamragan yopiq sirtidan chiquvchi chiziqlar soni bu sirtga kiruvchi chiziqlar sonidan ko'pligini.

B) Bu nuqtani qamragan yopiq sirtidan chiquvchi chiziqlar soni bu sirtga kiruvchi chiziqlar sonidan kamligini.

C) Bu nuqtani qamragan yopiq sirtidan chiquvchi chiziqlar soni bu sirtga kiruvchi chiziqlar soniga teng bo'lishini.

D) Divergensiya sirtga kiruvchi yoki undan chiquvchi chiziqlar sonini anglatmaydi.

9. Biror nuqtadagi divergensiyaning manfiy bo'lishi nimani anglatadi?

A) Bu nuqtani qamragan yopiq sirtidan chiquvchi chiziqlar soni bu sirtga kiruvchi chiziqlar sonidan kamligini.

B) Bu nuqtani qamragan yopiq sirtidan chiquvchi chiziqlar soni bu sirtga kiruvchi chiziqlar sonidan ko'pligini.

C) Bu nuqtani qamragan yopiq sirtidan chiquvchi chiziqlar soni bu sirtga kiruvchi chiziqlar soniga teng bo'lishini.

D) Divergensiya sirtga kiruvchi yoki undan chiquvchi chiziqlar sonini anglatmaydi.

10. Biror nuqtadagi divergensiyaning nol bo'lishi nimani anglatadi?

A) Bu nuqtani qamragan yopiq sirtidan chiquvchi chiziqlar soni bu sirtga kiruvchi chiziqlar soniga teng bo'lishini.

B) Bu nuqtani qamragan yopiq sirtidan chiquvchi chiziqlar soni bu sirtga kiruvchi chiziqlar sonidan ko'pligini.

C) Bu nuqtani qamragan yopiq sirtidan chiquvchi chiziqlar soni bu sirtga kiruvchi chiziqlar sonidan ikki marta ko'p bo'lishini.

D) Bu nuqtani qamragan yopiq sirtidan chiquvchi chiziqlar soni bu sirtga kiruvchi chiziqlar sonidan ikki marta kam bo'lishini.

11. Ixtiyoriy berilgan $\vec{a} = P(x, y, z) \cdot \vec{i} + Q(x, y, z) \cdot \vec{j} + R(x, y, z) \cdot \vec{k}$ ko'rinishdagi vektor maydonning divergensiya ifodasi qanday bo'ladi?

A) $\text{div} \vec{a} = \vec{\nabla} \cdot \vec{a} = \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z}$ B) $\text{div} \vec{a} = \vec{\nabla}^2 \cdot \vec{a} = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Q}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 R}{\partial z^2}$

C) $\text{div} \vec{a} = \vec{\nabla} \times \vec{a} = \frac{\partial P}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial Q}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial R}{\partial z} \vec{k}$ D) $\text{div} \vec{a} = \vec{\nabla}^2 \cdot \vec{a} = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \vec{i} + \frac{\partial^2 Q}{\partial y^2} \vec{j} + \frac{\partial^2 R}{\partial z^2} \vec{k}$

12. Elektr maydon kuchlanganlik vektori divergensiya ifodasini ko'rsating.

A) $\text{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$ B) $\text{div} \vec{E} = \frac{q}{\epsilon_0}$ C) $\text{div} \vec{E} = \rho$ D) $\text{div} \vec{E} = \rho \epsilon_0$

13. Elektr maydon induksiya vektori divergensiya ifodasini ko'rsating.

A) $\text{div} \vec{D} = \rho$ B) $\text{div} \vec{E} = q/\epsilon_0$ C) $\text{div} \vec{E} = q$ D) $\text{div} \vec{E} = \rho \epsilon_0$

14. Magnit maydon kuchlanganlik vektori divergensiya ifodasini ko'rsating.

A) $\text{div} \vec{H} = 0$ B) $\text{div} \vec{H} = \mu_0 I$ C) $\text{div} \vec{H} = \mu_0 \sum I$ D) $\text{div} \vec{H} = \mu_0 \vec{j}$

15. Magnit maydon induksiya vektori divergensiya ifodasini ko'rsating.

A) $\text{div} \vec{B} = 0$ B) $\text{div} \vec{B} = \mu \mu_0 I$ C) $\text{div} \vec{B} = \mu \mu_0 \sum I$ D) $\text{div} \vec{B} = \mu \mu_0 \vec{j}$

16. Divergensiya va oqim orasida bog'lanishni ko'rsating.

A) $\text{div} \vec{a} = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{\Phi_a}{V}$ B) $\text{div} \vec{a} = \lim_{S \rightarrow 0} \frac{\Phi_a}{S}$

C) $\text{div} \vec{a} = \lim_{S \rightarrow 0} \frac{\oint_{adl} \vec{a}}{S}$ D) $\text{div} \vec{a} = \lim_{\ell \rightarrow 0} \frac{\Phi_a}{\ell}$

17. Ixtiyoriy berilgan $\vec{a} = P(x, y, z) \cdot \vec{i} + Q(x, y, z) \cdot \vec{j} + R(x, y, z) \cdot \vec{k}$ ko'rinishdagi vektor maydon oqimi nimaga teng?

A) $\Phi_a = \oint_S a_n dS$ B) $\Phi_a = \oint_L a_n d\ell$ C) $\Phi_a = \oint_V a_n dV$

D) $\Phi_a = \oint_L a_x dx + a_y dy + a_z dz$

18. Yopiq sirt bo'yicha elektr maydon kuchlanganlik vektori oqimi nimaga teng?

A) $\Phi_E = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_i$ B) $\Phi_E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$ C) $\Phi_E = \sum q_i$ D) $\Phi_E = \epsilon_0 \sum \rho_i$

19. Yopiq sirt bo'yicha elektr maydon induksiya vektori oqimi nimaga teng?

A) $\Phi_D = \sum q_i$ B) $\Phi_E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$ C) $\Phi_E = \epsilon_0 \sum \rho_i$ D) $\Phi_E = \epsilon_0 \sum q_i$

20. Yopiq sirt bo'yicha magnit maydon kuchlanganlik vektori oqimi nimaga teng?

A) $\Phi_H = 0$ B) $\Phi_H = \mu_0 I$ C) $\Phi_H = \mu \mu_0 \sum I$ D) $\Phi_H = \frac{1}{\mu \mu_0} \sum I$

21. Yopiq sirt bo'yicha magnit maydon induksiya vektori oqimi nimaga teng?

A) $\Phi_B = 0$ B) $\Phi_B = \frac{1}{\mu_0} I$ C) $\Phi_H = \mu \mu_0 \sum I r$ D) $\Phi_H = \frac{1}{\mu \mu_0} \oint \vec{j} d\vec{S}$

22. Biror $\vec{a}$ vektor maydonining ishi deganda nimani tushunasiz?

A) $A_a = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \Delta \vec{l}_i$ B) $A_a = \sum_{i=1}^n a_i \times \Delta \vec{l}_i$ C) $A_a = \sum_{i=1}^n \Delta a_i \cdot \vec{l}_i$ D) $A_a = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta a_i}{\vec{l}_i}$

23. Biror $\vec{a}$ vektor maydonning sirkulyatsiyasi deganda nimani tushunasiz?

A) $\Pi_a = \oint \vec{a} \cdot d\vec{\ell}$ B) $\Pi_a = \oint \vec{a} \times d\vec{\ell}$ C) $\Pi_a = \oint \vec{\ell} \times d\vec{a}$ D) $\Pi_a = \oint \frac{d\vec{a}}{\vec{\ell}}$

24. Elektr maydon sirkulyatsiyasi nimaga teng?

A) $\oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = 0$ B) $\oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = \rho$ C) $\oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$

D) $\oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_i$

25. Magnit maydon sirkulyatsiyasi nimaga teng?

A) $\left\{ \begin{array}{l} \oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 \sum I_i \\ \oint \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \sum I_i \end{array} \right.$ B) $\left\{ \begin{array}{l} \oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 \vec{j} \\ \oint \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \vec{j} \end{array} \right.$

C) $\left\{ \begin{array}{l} \oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \sum I_i \\ \oint \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 \sum I_i \end{array} \right.$ D) $\left\{ \begin{array}{l} \oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \sum q_i \\ \oint \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 \sum q_i \end{array} \right.$

26. Potensial maydon deganda nimani tushunasiz? Elektr maydon qanday maydon?

A) Potensial maydonda bajarilgan ish trayektoriya shakliga bog'liq bo'lmaydi va berk trayektoriyada ish bajarilmaydi. Elektr maydoni potensial maydondir.

B) Potensial maydonda bajarilgan ish trayektoriya shakliga bog'liq bo'lib, berk trayektoriyada ish bajarilmaydi. Elektr maydoni potensial maydon emas.

C) Potensial maydonda bajarilgan ish trayektoriya shakliga bog'liq bo'lmasdan, berk trayektoriyada ish bajariladi. Elektr maydoni potensial maydon emas.

D) Potensial maydonda bajarilgan ish trayektoriya shakliga bog'liq bo'lmaydi va berk trayektoriyada ish bajariladi. Elektr maydoni nokonservativ maydondir.

27. Elektr maydon kuchlanganligining vektor ko'rinishdagi ifodasini ko'rsating (dielektrik muhit uchun).

A) $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^3} \vec{r}$ B) $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \vec{r}$

C) $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}$ D) $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^3} \vec{r}$

28. Kulon qonunining vektor ko'rinishdagi ifodasini ko'rsating (dielektrik muhit uchun).

A) $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{r}$ B) $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{r}$

C) $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$ D) $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{r}$

29. Magnit maydon divergensiyasining nolga teng bo'lishi nimani anglatadi?

A) Tabiatda elektr zaryadlari kabi "magnit" zaryadlarining mavjud emasligini.

B) Tabiatda elektr zaryadlari kabi "magnit" zaryadlarining mavjud ekanligini va magnit kuch chiziqlarining radial ekanligini.

C) Tabiatda elektr zaryadlari kabi "magnit" zaryadlarining mavjud emasligini va magnit kuch chiziqlarining radial ekanligini.

D) Tabiatda elektr zaryadlari kabi "magnit" zaryadlarining mavjud bo'lishini va magnit kuch chiziqlarining boshi va oxiri bo'lishini.

30. $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ – ixtiyoriy $M(x, y, z)$ nuqtasining radius-vektori bo'lsa,

$\frac{\partial r}{\partial x}, \frac{\partial r}{\partial y}, \frac{\partial r}{\partial z}$ xususiy hosilalar nimaga teng bo'ladi?

A) $\frac{\partial r}{\partial x} = \frac{x}{r}, \frac{\partial r}{\partial y} = \frac{y}{r}, \frac{\partial r}{\partial z} = \frac{z}{r}$ B) $\frac{\partial r}{\partial x} = \frac{y}{r}, \frac{\partial r}{\partial y} = \frac{z}{r}, \frac{\partial r}{\partial z} = \frac{x}{r}$

C) $\frac{\partial r}{\partial x} = \frac{xy}{r^2}, \frac{\partial r}{\partial y} = \frac{yz}{r^2}, \frac{\partial r}{\partial z} = \frac{zx}{r^2}$ D) $\frac{\partial r}{\partial x} = \frac{r}{x}, \frac{\partial r}{\partial y} = \frac{r}{y}, \frac{\partial r}{\partial z} = \frac{r}{z}$

31. Koordinata boshida joylashgan q nuqtaviy zaryadning ixtiyoriy $M(x, y, z)$ nuqtada hosil qilgan elektr maydon kuchlanganligi $\vec{E} = E_x \vec{i} + E_y \vec{j} + E_z \vec{k}$ ning koordinata o'qlaridagi proyeksiyalarini aniqlang.

A) $\begin{cases} E_x = kq \frac{x}{r^3} \\ E_y = kq \frac{y}{r^3} \\ E_z = kq \frac{z}{r^3} \end{cases}$ B) $\begin{cases} E_x = kq \frac{y}{r^3} \\ E_y = kq \frac{z}{r^3} \\ E_z = kq \frac{x}{r^3} \end{cases}$ C) $\begin{cases} E_x = kq \frac{x}{r^2} \\ E_y = kq \frac{y}{r^2} \\ E_z = kq \frac{z}{r^2} \end{cases}$ D) $\begin{cases} E_x = kq \frac{xy}{r^3} \\ E_y = kq \frac{yz}{r^3} \\ E_z = kq \frac{zx}{r^3} \end{cases}$

32. Ma'lumki, elektr maydon divergentsiyasi $\text{div} \vec{E} = \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z}$

formula yordamida aniqlanadi. Bu formuladagi $\frac{\partial E_x}{\partial x}$ xususiy hosila nimaga teng?

A) $\frac{\partial E_x}{\partial x} = \left(kq \frac{x}{r^3}\right)'_x = kq \frac{r^2 - 3y^2}{r^4}$ B) $\frac{\partial E_x}{\partial x} = \left(kq \frac{x}{r^3}\right)'_x = kq \frac{r^3 - 3xy^2}{r^4}$

C) $\frac{\partial E_x}{\partial x} = \left(kq \frac{x}{r^3}\right)'_x = kq \frac{r^2 x - 3zy^2}{r^4}$ D) $\frac{\partial E_x}{\partial x} = \left(kq \frac{x}{r^3}\right)'_x = kq \frac{r^3 - 3zy^2}{r^5}$

33. Ma'lumki, elektr maydon divergentsiyasi $\text{div} \vec{E} = \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z}$

formula yordamida aniqlanadi. Bu formuladagi $\frac{\partial E_y}{\partial y}$ xususiy hosila nimaga teng?

A) $\frac{\partial E_y}{\partial y} = \left(kq \frac{y}{r^3}\right)'_y = kq \frac{r^2 - 3y^2}{r^4}$ B) $\frac{\partial E_y}{\partial y} = \left(kq \frac{y}{r^3}\right)'_y = kq \frac{r^3 - 3yz^2}{r^4}$

C) $\frac{\partial E_y}{\partial y} = \left(kq \frac{y}{r^3}\right)'_y = kq \frac{r^2 y - 3xz^2}{r^4}$ D) $\frac{\partial E_y}{\partial y} = \left(kq \frac{y}{r^3}\right)'_y = kq \frac{r^3 - 3xz^2}{r^5}$

34. Ma'lumki, elektr maydon divergentsiyasi $\text{div} \vec{E} = \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z}$

formula yordamida aniqlanadi. Bu formuladagi $\frac{\partial E_z}{\partial z}$ xususiy hosila nimaga teng?

A) $\frac{\partial E_z}{\partial z} = \left(kq \frac{z}{r^3}\right)'_z = kq \frac{r^2 - 3z^2}{r^4}$ B) $\frac{\partial E_z}{\partial z} = \left(kq \frac{z}{r^3}\right)'_z = kq \frac{r^3 - 3zx^2}{r^4}$

C) $\frac{\partial E_z}{\partial z} = \left(kq \frac{z}{r^3}\right)'_z = kq \frac{r^2 z - 3yz^2}{r^4}$ D) $\frac{\partial E_z}{\partial z} = \left(kq \frac{z}{r^3}\right)'_z = kq \frac{r^3 - 3yz^2}{r^5}$

35. Faraz qilaylik, $Oxyz$ fazoning V sohasida $P = P(x, y, z), Q = Q(x, y, z), R = R(x, y, z)$ koordinatalarga ega bo'lgan $\vec{a} = P(x, y, z) \cdot \vec{i} + Q(x, y, z) \cdot \vec{j} + R(x, y, z) \cdot \vec{k}$ vektor maydon berilgan bo'lsin. Bunda $\vec{a}$ vektor maydonning $M(x, y, z)$ nuqtadagi rotori deb nimaga aytiladi?

A) $\vec{a}$ vektor maydonning ixtiyoriy $M(x, y, z)$ nuqtadagi rotori deb, shunday vektorga aytiladiki, bunda shu nuqtadagi vektor maydon rotoriga perpendikulyar bo'lgan va nuqtagacha tortilgan cheksiz kichik yuzaga ega bo'lgan S_0 yuzani chegaralovchi berk L kontur bo'ylab vektor maydon bajargan ishning cheksiz kichik S_0 yuzaga nisbati vektor maydon rotorining qiymatini beradi.

B) $\vec{a}$ vektor maydonning ixtiyoriy $M(x, y, z)$ nuqtadagi rotori deb, shunday vektorga aytiladiki, bunda shu nuqtadagi vektor maydon rotoriga parallel bo'lgan va nuqtagacha tortilgan cheksiz kichik yuzaga ega bo'lgan S_0 yuzani chegaralovchi berk L kontur bo'ylab vektor maydon oqimining cheksiz kichik S_0 yuzaga nisbati vektor maydon rotorining qiymatini beradi.

C) $\vec{a}$ vektor maydonning ixtiyoriy $M(x, y, z)$ nuqtadagi rotori deb, shunday vektorga aytiladiki, bunda shu nuqtadagi vektor maydon rotoriga parallel bo'lgan va nuqtagacha tortilgan cheksiz kichik yuzaga ega bo'lgan S_0 yuzani chegaralovchi berk L kontur bo'ylab vektor maydon bajargan ishning cheksiz kichik S_0 yuzaga ko'paytmasi vektor maydon rotorining qiymatini beradi.

D) $\vec{a}$ vektor maydonning ixtiyoriy $M(x, y, z)$ nuqtadagi rotori deb, shunday vektorga aytiladiki, bunda shu nuqtadagi vektor maydon rotoriga ixtiyoriy joylashgan va nuqtagacha tortilgan cheksiz kichik yuzaga ega bo'lgan S_0 yuzadan o'tuvchi oqimning cheksiz kichik S_0 yuza atrofidagi fazo hajmiga ko'paytmasi vektor maydon rotorining qiymatini beradi.

36. $\vec{a} = P(x, y, z) \cdot \vec{i} + Q(x, y, z) \cdot \vec{j} + R(x, y, z) \cdot \vec{k}$ vektor maydon berilgan bo'lsin. Bunda $\vec{a}$ vektor maydonning $M(x, y, z)$ nuqtadagi rotorining matematik ifodasi qanday ko'rinishda bo'ladi?

A) $\text{rot} \vec{a} = \left(\frac{\partial R}{\partial y} - \frac{\partial Q}{\partial z} \right) \cdot \vec{i} + \left(\frac{\partial P}{\partial z} - \frac{\partial R}{\partial x} \right) \cdot \vec{j} + \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y} \right) \cdot \vec{k}$

B) $\text{rot} \vec{a} = \left(\frac{\partial Q}{\partial y} - \frac{\partial P}{\partial z} \right) \cdot \vec{i} + \left(\frac{\partial R}{\partial z} - \frac{\partial Q}{\partial x} \right) \cdot \vec{j} + \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial R}{\partial y} \right) \cdot \vec{k}$

C) $\text{rot} \vec{a} = \left(\frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\partial Q}{\partial z} \right) \cdot \vec{i} + \left(\frac{\partial P}{\partial z} - \frac{\partial Q}{\partial x} \right) \cdot \vec{j} + \left(\frac{\partial R}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y} \right) \cdot \vec{k}$

D) $\text{rot} \vec{a} = \left(\frac{\partial P}{\partial z} - \frac{\partial R}{\partial x} \right) \cdot \vec{i} + \left(\frac{\partial R}{\partial y} - \frac{\partial Q}{\partial z} \right) \cdot \vec{j} + \left(\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\partial Q}{\partial y} \right) \cdot \vec{k}$

37. Elektr maydon kuchlanganligi va induksiya vektorlarining rotorlari nimaga teng?

A) $\begin{cases} \text{rot} \vec{E} = \vec{\nabla} \times \vec{E} = \lim_{S_0 \rightarrow 0} \frac{\oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell}}{S_0} = 0 \\ \text{rot} \vec{D} = \vec{\nabla} \times \vec{D} = \lim_{S_0 \rightarrow 0} \frac{\oint \vec{D} \cdot d\vec{\ell}}{S_0} = 0 \end{cases}$ B) $\begin{cases} \text{rot} \vec{E} = \vec{\nabla} \times \vec{E} = \lim_{S_0 \rightarrow 0} \frac{\oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell}}{S_0} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \text{rot} \vec{D} = \vec{\nabla} \times \vec{D} = \lim_{S_0 \rightarrow 0} \frac{\oint \vec{D} \cdot d\vec{\ell}}{S_0} = \rho \end{cases}$

C) $\begin{cases} \text{rot} \vec{E} = \vec{\nabla} \times \vec{E} = \lim_{S_0 \rightarrow 0} \frac{\oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell}}{S_0} = \frac{q}{\epsilon_0} \\ \text{rot} \vec{D} = \vec{\nabla} \times \vec{D} = \lim_{S_0 \rightarrow 0} \frac{\oint \vec{D} \cdot d\vec{\ell}}{S_0} = q \end{cases}$ D) $\begin{cases} \text{rot} \vec{E} = \vec{\nabla} \times \vec{E} = \lim_{S_0 \rightarrow 0} \frac{\oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell}}{S_0} = \epsilon_0 \rho \\ \text{rot} \vec{D} = \vec{\nabla} \times \vec{D} = \lim_{S_0 \rightarrow 0} \frac{\oint \vec{D} \cdot d\vec{\ell}}{S_0} = \rho \end{cases}$

38. Magnit maydon kuchlanganligi va induksiya vektorlarining rotorlari nimaga teng?

A) $\begin{cases} \text{rot} \vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} \\ \text{rot} \vec{H} = \vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} \end{cases}$ B) $\begin{cases} \text{rot} \vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{B} = \vec{j} \\ \text{rot} \vec{H} = \vec{\nabla} \times \vec{H} = \mu_0 \vec{j} \end{cases}$

C) $\begin{cases} \text{rot} \vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \rho \\ \text{rot} \vec{H} = \vec{\nabla} \times \vec{H} = \rho \end{cases}$ D) $\begin{cases} \text{rot} \vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \oint_S \vec{j} d\vec{S} \\ \text{rot} \vec{H} = \vec{\nabla} \times \vec{H} = \oint_S \vec{j} d\vec{S} \end{cases}$

39. Elektr dipolining dipol momenti va uning elektr maydonda hosil qiladigan burovchi momenti ifodasini yozing.

A) $\begin{cases} p_e = q\ell \\ \vec{p}_e = p_e \cdot \vec{n} \end{cases} (|\vec{n}| = 1), \begin{cases} M = p_e E \sin \varphi \\ \vec{M} = \vec{p}_e \times \vec{E} \end{cases}$ B) $\begin{cases} p_e = q\ell^2 \\ \vec{p}_e = p_e \cdot \vec{n} \end{cases} (|\vec{n}| = 1), \begin{cases} M = p_e E \cos \varphi \\ \vec{M} = \vec{E} \times \vec{p}_e \end{cases}$

C) $\begin{cases} p_e = q\ell \\ \vec{p}_e = p_e \times \vec{n} \end{cases} (|\vec{n}| = 1), \begin{cases} M = p_e E \sin \varphi \\ \vec{M} = \vec{E} \times \vec{p}_e \end{cases}$ D) $\begin{cases} p_e = q\ell \\ \vec{p}_e = q \cdot \vec{n} \end{cases} (|\vec{n}| = 1), \begin{cases} M = p_e E \cos \varphi \\ \vec{M} = \vec{p}_e \cdot \vec{E} \end{cases}$

40. Berk tokli konturning magnit momenti va uning magnit maydonda hosil qiladigan burovchi momenti ifodasini yozing.

A) $\begin{cases} p_\mu = IS \\ \vec{p}_\mu = p_\mu \cdot \vec{n} \end{cases} (|\vec{n}| = 1), \begin{cases} M = p_\mu E \sin \varphi \\ \vec{M} = \vec{p}_\mu \times \vec{E} \end{cases}$ B) $\begin{cases} p_\mu = q\ell^2 \\ \vec{p}_\mu = p_e \cdot \vec{n} \end{cases} (|\vec{n}| = 1), \begin{cases} M = p_\mu E \cos \varphi \\ \vec{M} = \vec{E} \times \vec{p}_\mu \end{cases}$

C) $\begin{cases} p_\mu = q\ell \\ \vec{p}_\mu = p_\mu \times \vec{n} \end{cases} (|\vec{n}| = 1), \begin{cases} M = p_\mu E \sin \varphi \\ \vec{M} = \vec{E} \times \vec{p}_\mu \end{cases}$ D) $\begin{cases} p_\mu = q\ell \\ \vec{p}_\mu = q \cdot \vec{n} \end{cases} (|\vec{n}| = 1), \begin{cases} M = p_\mu E \cos \varphi \\ \vec{M} = \vec{p}_\mu \cdot \vec{E} \end{cases}$

41. O'zgaras tok zanjiri RC ko'rinishida. Bunda vaqt doimiysi nimaga teng?

A) $\tau = RC$ B) $\tau = R/C$ C) $\tau = C/R$ D) $\tau = R\omega C$

42. O'zgaras tok zanjiri RC ko'rinishida. Bunda kondensatorning zaryadlanish va razryadlanish qonuniyati qanday ko'rinishida?

A) $\begin{cases} q = C\varepsilon \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \\ q = C\varepsilon e^{-\frac{t}{RC}} \end{cases}$ B) $\begin{cases} q = C\varepsilon e^{\frac{t}{RC}} \\ q = C\varepsilon e^{-\frac{t}{RC}} \end{cases}$

C) $\begin{cases} q = C\varepsilon t \\ q = C\varepsilon e^{-\frac{t}{RC}} \end{cases}$ D) $\begin{cases} q = C\varepsilon t \\ q = C\varepsilon e^{-\frac{RC}{t}} \end{cases}$

43. O'zgaras tok zanjiri RL ko'rinishida. Bunda vaqt doimiysi nimaga teng?

A) $\tau = \frac{L}{R}$ B) $\tau = \frac{R}{L}$ C) $\tau = RL$ D) $\tau = \frac{R^2}{L}$

44. O'zgaras tok zanjiridan uzilgandan so'ng bitta vaqt doimiysiga ($t = \tau$), ikkita vaqt doimiysiga ($t = 2\tau$) teng vaqt o'tganda kondensatorning necha protsent zaryadi qoladi?

A) 37% va 14% B) 63% va 86% C) 70% va 40% D) 50% 38%.

45. Real tebranish konturlari uchun so'nishning logarifmik dekrementi ifodasini ko'rsating ($n = \frac{R}{2L}, \omega^2 = \frac{1}{LC}$).

A) $D = \frac{\pi n}{\sqrt{\omega^2 - n^2}}$ B) $D = \frac{\pi \omega}{\sqrt{\omega^2 - n^2}}$

C) $D = \frac{n}{\sqrt{\omega^2 - n^2}}$ D) $D = \frac{\sqrt{\omega^2 - n^2}}{\pi n}$

46. O'zgaruvchan tok zanjiriga induktiv g'altak ulangan. Bunda kuchlanish $u = U_m \cos(\omega t + \pi/2)$ qonuniyat bo'yicha o'zgarsa, tok kuchi qanday qonuniyat bo'yicha o'zgaradi?

A) $i = \frac{U_m}{\omega L} \cos \omega t$ B) $i = U_m \omega C \cos \omega t$

C) $u = \frac{U_m}{\omega L} \cos(\omega t + \pi/2)$ D) $i = U_m \omega L \sin \omega t$

47. O'zgaruvchan tok zanjiriga kondensator ulangan. Bunda kuchlanish $u = U_m \cos(\omega t + \pi/2)$ qonuniyat bo'yicha o'zgarsa, tok kuchi qanday qonuniyat bo'yicha o'zgaradi?

A) $i = U_m \omega C \cos(\omega t + \pi)$ B) $i = \frac{U_m}{\omega C} \cos \omega t$

C) $u = U_m \omega C \cos(\omega t + \pi/2)$ D) $i = U_m \omega C \sin \omega t$

48. Ideal tebranish konturida elektr zaryadi $q = q_m \cos \omega t$ qonuniyat bo'yicha o'zgarsa, tok kuchi qanday qonuniyat bo'yicha o'zgaradi?

A) $i = -q_m \omega \sin \omega t$ B) $i = -q_m \sin \omega t$ C) $i = q_m \cos \omega t$ D) $i = q_m \omega \sin \omega t$

49. Ideal tebranish konturida elektr zaryadi $q = q_m \cos \omega t$ qonuniyat bo'yicha o'zgarsa, elektr va magnit maydon energiyalari qanday qonuniyat bo'yicha o'zgaradi?

A) $\begin{cases} W_e = \frac{q_m^2}{2C} \cos^2 \omega t \\ W_m = \frac{LI_m^2}{2} \sin^2 \omega t \end{cases}$ B) $\begin{cases} W_e = \frac{q_m^2 C}{2} \cos^2 \omega t \\ W_m = \frac{LI_m^2}{2L} \sin^2 \omega t \end{cases}$

C) $\begin{cases} W_e = \frac{q_m^2 C}{2} \cos^2 \omega t \\ W_m = \frac{LI_m^2}{2} \cos^2 \omega t \end{cases}$ D) $\begin{cases} W_e = \frac{q_m^2}{2C} \sin^2 \omega t \\ W_m = \frac{LI_m^2}{2} \cos^2 \omega t \end{cases}$

50. Ideal tebranish konturidagi umumiy elektromagnit maydon energiyasi W dan vaqt bo'yicha olingan hosila nimaga teng? Tebranish konturi real bo'lgandachi?

A) $\begin{cases} \frac{dW}{dt} = 0 \\ \frac{dW}{dt} < 0 \end{cases}$ B) $\begin{cases} \frac{dW}{dt} < 0 \\ \frac{dW}{dt} = 0 \end{cases}$ C) $\begin{cases} \frac{dW}{dt} < 0 \\ \frac{dW}{dt} < 0 \end{cases}$ D) $\begin{cases} \frac{dW}{dt} > 0 \\ \frac{dW}{dt} = 0 \end{cases}$

51. Ideal tebranish konturi uchun tebranish davrini aniqlash formulasini ko'rsating.

A) $T = 2\pi\sqrt{LC}$ B) $T = 2\pi\sqrt{L/C}$ C) $T = 2\pi\sqrt{C/L}$ D) $T = \pi\sqrt{LC}$

52. Ideal tebranish konturi uchun siklik chastota formulasini ko'rsating?

A) $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ B) $\omega_0 = \sqrt{LC}$ C) $\omega_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$ D) $\omega_0 = \frac{2\pi}{\sqrt{LC}}$

53. Ideal tebranish konturida elektr maydon energiyasi $W_e = 10^{-3} \cos^2 10^6 \pi t$ qonuniyat bo'yicha o'zgarsa, magnit maydon energiyasi qanday qonuniyat bo'yicha o'zgaradi?

A) $W_m = 10^{-3} \sin^2 10^6 \pi t$ B) $W_m = 10^6 \cos^2 10^{-3} \pi t$

C) $W_m = 10^{-3} \cos 10^6 \pi t$ D) $W_e = 10^{-3} \sin 10^6 \pi t$

54. Real tebranish konturi uchun tebranish davrini aniqlash formulasini ko'rsating.

A) $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}}$ B) $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\left(\frac{1}{LC}\right)^2 - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}}$

$$C) T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R}{2L}}} \quad D) T = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$

55. Real tebranish konturi uchun siklik chastota formulasini ko'rsating?

$$A) \omega = \sqrt{\omega_0^2 - n^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} \quad B) \omega = \sqrt{\omega_0^2 - n} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R}{2L}}$$

$$C) \omega = \sqrt{\omega_0^2 - n^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R}{2L}} \quad D) \omega = \sqrt{\omega_0 - n} = \sqrt{\left(\frac{1}{LC}\right)^2 - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$

56. Elektr maydon kuchlanganligining tangensial tashkil etuvchisi (E_τ) uchun chegaraviy shartni bayon eting.

A) $E_{2\tau} = E_{1\tau}$, ya'ni bu tashkil etuvchi har qanday sharoitda ham uzilishga uchramaydi.

B) $E_{2\tau} = E_{1\tau}$, ya'ni bu tashkil etuvchi har qanday sharoitda ham uzilishga uchraydi.

C) $\varepsilon_2 E_{2\tau} = \varepsilon_1 E_{1\tau}$, ya'ni bu tashkil etuvchi har qanday sharoitda ham uzilishga uchraydi.

D) $E_{2\tau} = E_{1\tau} + \sigma_s$, ya'ni bu tashkil etuvchi sirtiy zaryad mavjud bo'lgandagina uzilishga uchrashi mumkin.

57. Elektr maydon kuchlanganligining normal tashkil etuvchisi (E_n) uchun chegaraviy shartni bayon eting.

A) $\varepsilon_2 E_{2n} = \varepsilon_1 E_{1n} + \sigma_s$, ya'ni bu tashkil etuvchi har qanday sharoitda ham uzilishga uchraydi.

B) $E_{2n} = E_{1n} + 4\pi\sigma_s$, ya'ni bu tashkil etuvchi sirtiy zaryad mavjud bo'lgandagina uzilishga uchrashi mumkin.

C) $\varepsilon_2 E_{2n} = \varepsilon_1 E_{1n} + 4\pi\sigma_s$, ya'ni bu tashkil uzilishga uchrashi ham uzilishga uchramasligi ham mumkin.

D) $E_{2n} = E_{1n} + \sigma_s$, ya'ni bu tashkil etuvchi sirtiy zaryad mavjud bo'lgandagina uzilishga uchrashi mumkin.

58. Ikki muhit chegarasida sirtiy zaryadlar bo'lmaganda elektr maydon kuchlanganligining normal tashkil etuvchisi uchun chegaraviy shartni yozing?

$$A) \varepsilon_2 E_{2n} = \varepsilon_1 E_{1n} \quad B) E_{2n} = E_{1n} \quad C) \varepsilon_1 E_{2n} = \varepsilon_2 E_{1n} \quad D) E_{2n} \neq E_{1n}$$

59. Elektr maydon induksiyasining tangensial tashkil etuvchisi (D_τ) uchun chegaraviy shartni bayon eting.

A) $D_{2\tau} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} D_{1\tau}$, ya'ni bu tashkil etuvchi har qanday sharoitda ham uzilishga uchraydi.

B) $D_{2\tau} = D_{1\tau}$, ya'ni bu tashkil etuvchi har qanday sharoitda ham uzilishga uchramaydi.

C) $\varepsilon_2 D_{2\tau} = \varepsilon_1 D_{1\tau}$, ya'ni bu tashkil etuvchi har qanday sharoitda ham uzilishga uchraydi.

D) $D_{2\tau} = D_{1\tau} + 4\pi\sigma_s$, ya'ni bu tashkil etuvchi sirtiy zaryad mavjud bo'lgandagina uzilishga uchrashi mumkin.

60. Elektr maydon induksiyasining normal tashkil etuvchisi (D_n) uchun chegaraviy shartni bayon eting.

A) $D_{2n} = D_{1n} + \sigma_s$, ya'ni bu tashkil etuvchi sirtiy zaryad mavjud bo'lgandagina uzilishga uchrashi mumkin.

B) $D_{2n} = D_{1n}$, ya'ni bu tashkil etuvchi uzilishga uchrashi mumkin emas.

C) $\varepsilon_2 D_{2n} = \varepsilon_1 D_{1n} + \sigma_s$, ya'ni bu tashkil etuvchi uzilishga uchrashi ham uzilishga uchramasligi ham mumkin.

D) $D_{2n} = D_{1n} + \varepsilon_1 i_s$, ya'ni bu tashkil etuvchi sirtiy tok mavjud bo'lgandagina uzilishga uchrashi mumkin.

61. Magnit maydon kuchlanganligining tangensial tashkil etuvchisi (H_τ) uchun chegaraviy shartni bayon eting.

A) $H_{2\tau} = H_{1\tau} + \frac{I_s}{\ell}$, ya'ni bu tashkil etuvchi sirt bo'y lab τ yo'nalishga perpendikulyar sirtiy tok mavjud bo'lgandagina uzilishga uchramaydi.

B) $H_{2\tau} = H_{1\tau}$, ya'ni bu tashkil etuvchi har qanday sharoitda ham uzilishga uchramaydi.

C) $\mu_2 H_{2\tau} = \mu_1 H_{1\tau}$, ya'ni bu tashkil etuvchi har qanday sharoitda ham uzilishga uchraydi.

D) $H_{2\tau} = H_{1\tau} + I_s$, ya'ni bu tashkil etuvchi sirtiy tok mavjud bo'lgandagina uzilishga uchrashi mumkin.

62. Magnit maydon kuchlanganligining normal tashkil etuvchisi (H_n) uchun chegaraviy shartni bayon eting.

A) $H_{2n} = \frac{\mu_1}{\mu_2} H_{1n}$, ya'ni bu tashkil etuvchi har qanday sharoitda ham uzilishga uchraydi.

B) $H_{2n} = H_{1n} + 4\pi I_s$, ya'ni bu tashkil etuvchi sirtiy tok mavjud bo'lgandagina uzilishga uchrashi mumkin.

C) $H_{2n} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} H_{1n}$, ya'ni bu tashkil uzilishga uchrashi muqarrar.

D) $H_{2n} = H_{1n}$, ya'ni bu tashkil etuvchi uzilishga uchramaydi.

63. Magnit maydon induktsiyasining tangensial tashkil etuvchisi (B_τ) uchun chegaraviy shartni bayon eting.

A) $B_{2\tau} = \frac{\mu_2}{\mu_1} B_{1\tau} + \frac{I_s}{\mu_1 l}$, ya'ni bu tashkil etuvchi har qanday sharoitda ham uzilishga uchraydi.

B) $B_{2\tau} = B_{1\tau}$, ya'ni bu tashkil etuvchi har qanday sharoitda ham uzilishga uchramaydi.

C) $\mu_2 B_{2\tau} = \mu_1 B_{1\tau}$, ya'ni bu tashkil etuvchi har qanday sharoitda ham uzilishga uchraydi.

D) $B_{2\tau} = B_{1\tau} + 4\pi I_s$, ya'ni bu tashkil etuvchi sirtiy tok mavjud bo'lgandagina uzilishga uchrashi mumkin.

64. Magnit maydon induktsiyasining normal tashkil etuvchisi (B_n) uchun chegaraviy shartni bayon eting.

A) $B_{2n} = B_{1n}$, ya'ni bu tashkil etuvchi hech qachon uzilishga uchramaydi.

B) $B_{2n} = B_{1n} + \mu I_s$, ya'ni bu tashkil etuvchi sirtiy tok paydo bo'lgandagina uzilishga uchrashi mumkin.

C) $B_{2n} = B_{1n} + \varepsilon \sigma_s$, ya'ni bu tashkil etuvchi sirtiy tok paydo bo'lgandagina uzilishga uchrashi mumkin.

D) $B_{2n} = \frac{\mu_1}{\mu_2} B_{1n}$, ya'ni bu tashkil etuvchi uzilishga uchrashini oldindan aytib bo'lmaydi.

65. Tok zichligining tangensial tashkil etuvchisi (j_τ) uchun chegaraviy shartni bayon eting.

A) $j_{2\tau} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} j_{1\tau}$, ya'ni bu tashkil etuvchi har qanday sharoitda ham uzilishga uchraydi.

B) $j_{2\tau} = j_{1\tau}$, ya'ni bu tashkil etuvchi har qanday sharoitda ham uzilishga uchramaydi.

C) $\varepsilon_2 j_{2\tau} = \varepsilon_1 j_{1\tau}$, ya'ni bu tashkil etuvchi moddaning dielektrik xususiyatiga bog'liq.

D) $\mu_2 j_{2\tau} = \mu_1 j_{1\tau}$, ya'ni bu tashkil etuvchi moddaning magnit xususiyatiga bog'liq.

66. Elektr maydon kuchlanganligining normal tashkil etuvchisi (j_n) uchun chegaraviy shartni bayon eting.

A) $j_{2n} = j_{1n} - \frac{\partial \omega_s}{\partial \tau}$, ya'ni bu tashkil etuvchi ikki muhit chegerasida zaryad sirt zichligi o'zgargandagina uzilishga uchrashi mumkin.

B) $j_{2n} = j_{1n} + 4\pi \sigma_s$, ya'ni bu tashkil etuvchi chegara sirtida zaryad mavjud bo'lgandagina uzilishga uchrashi mumkin.

C) $\gamma_2 j_{2n} = \gamma_1 j_{1n} + 4\pi \sigma_s$, ya'ni bu tashkil uzilishga uchrashi ham uzilishga uchramasligi ham mumkin.

D) $j_{2n} = j_{1n}$, ya'ni bu tashkil etuvchi hech qachon uzilishga uchramaydi.

67. Chiziqli o'tkazgich nima?

A) Ko'ndalang o'lchami e'tiborsiz darajada kichik bo'lgan tokli o'tkazgich.

B) Ko'ndalang o'lchami o'rtacha bo'lgan tokli o'tkazgich.

C) Ko'ndalang o'lchami sanimetr tartibida bo'lgan tokli o'tkazgich.

D) To'g'ri chiziq shaklidagi tokli o'tkazgich.

68. Massiv o'tkazgich nima?

A) Ko'ndalang o'lchamini e'tiborga olish kerak bo'lgan tokli o'tkazgich

- B) Ko'ndalang o'lchami o'rtacha bo'lgan egri shakldagi tokli o'tkazgich
 C) Ko'ndalang o'lchami millimetr tartibida bo'lgan tokli o'tkazgich
 D) Kub shaklidagi tokli o'tkazgich
69. Maydonning kvazistatsionarlik shartlarini sanab bering.
- A) Kechikish vaqti hisobga olmaslik darajada kichik; siljish toki o'tkazuvchanlik tokidan juda kichik; maydon o'zgarishi muhit xossalari ta'sir qilmaydi.
 B) Kechikish vaqtini hisobga olish mumkin; siljish toki o'tkazuvchanlik tokidan biroz kichik; maydon o'zgarishi muhit xossalari ta'sir qilmaydi.
 C) Siljish toki o'tkazuvchanlik tokidan biroz kichik; maydon o'zgarishi muhit xossalari ta'sir qiladi.
 D) Maydon o'zgarishi muhit xossalari kuchli ta'sir qiladi; kechikishni hisobga olish ahamiyatsiz; siljish toki o'tkazuvchanlik tokidan biroz katta.
70. Skin effekt nima?
- A) O'zgaruvchan tok chastotasi ortganda tokning siriqib o'tkazgich yuzasiga chiqish hodisasi.
 B) O'zgaruvchan tok chastotasi ortganda tokning siriqib o'tkazgich markaziga tomon kirish hodisasi.
 C) Tokli o'tkazgich magnit maydon ta'sirida og'ish hodisasi.
 D) O'tkazgichdagi tokning magnit maydon ta'sirida ko'ndalang yuzaning bir tomoniga siriqish hodisasi.
71. Elektrodinamika nimani o'rganadi?
- A) Elektromagnit maydon, uning xususiyatlarini o'rganadi.
 B) Elektr hodisalarini o'rganadi.
 C) Magnit hodisalarini o'rganadi.
 D) Mexanik hodisalarini.
72. Elektrodinamikaning obyekti nima?
- A) Elektromagnit maydon.
 B) Elektr zaryadi.

- C) Magnit zaryadi.
 D) Gravitatsion maydon.
73. Elektrodinamikaning asosiy tushunchasi nima?
- A) Elektr zaryadi.
 B) Magnit zaryadi.
 C) Elektromagnit maydon.
 D) Elektr maydoni.
74. Elektrodinamikaning matematik apparati nima?
- A) Maksvell tenglamalari sistemasi.
 B) Elektr zaryadi.
 C) Magnit zaryadi.
 D) Elektromagnit maydon.
75. Maksvell tenglamalari sistemasi 1-tenglamasi fizik ma'nosi?
- A) Elektr maydonining manbasi elektr zaryadidir
 B) Elektr maydoni uyurmali maydondir
 C) Elektromagnit maydon manbasi zaryadlangan zarralar sistemasidir
 D) Massa gravitatsion maydon manbasidir.
76. Maksvell tenglamalari sistemasi 2-tenglamasi fizik ma'nosi?
- A) O'zgaruvchan magnit maydoni elektr maydonini hosil qiladi. Hosil bo'lgan elektr maydoni ham o'zgaruvchan bo'lib magnit maydoni kabi uyurmali.
 B) Elektr maydonining manbasi elektr zaryadidir.
 C) Elektr maydoni uyurmali maydondir.
 D) Elektromagnit maydon manbasi zaryadlangan zarralar sistemasidir.
77. Maksvell tenglamalari sistemasi 3-tenglamasi fizik ma'nosi?
- A) Tabiatda magnit zaryadi mavjud emas.
 B) Elektromagnit maydon manbasi zaryadlangan zarralar sistemasidir.
 C) Elektr maydoni uyurmali maydondir.
 D) Elektr maydonining manbasi elektr zaryadidir.
78. Maksvell tenglamalari sistemasi 4-tenglamasi fizik ma'nosi?

- A) Elektr toki kabi o'zgaruvchan elektr maydoni ham magnit maydonini hosil qiladi. Hosil bo'lgan magnit maydoni ham o'zgaruvchandir
- B) Elektromagnit maydon manbasi zaryadlangan zarralar sistemasidir
- C) Elektr maydoni uyurmali maydondir
- D) Elektr maydonining manbasi elektr zaryadidir.
- 79.** Faradeyning elektromagnit induksiya qonuni Maksvell tenglamalari sistemasining qaysi tenglamalarida o'z aksini topgan?
- A) 2- va 4- tenglamalarida.
- B) 2- va 3- tenglamalarida.
- C) 1- va 3- tenglamalarida.
- D) 1- va 2- tenglamalarida.
- 80.** Elektrodinamika fani asosida tarixan qaysi kuchlar birinchi bo'lib birlashtirilgan?
- A) Elektr va magnit kuchlari.
- B) Magnit va mexanik kuchlar.
- C) Elektr va mexanik kuchlar.
- D) Barcha kuchlar.
- 81.** Elektr maydoni manbasi nima?
- A) Zaryadlangan zarralar va o'zgaruvchan magnit maydoni (o'zgaruvchan elektr toki)
- B) Doimiy elektr toki va neytral zarralar.
- C) Doimiy magnit maydoni (doimiy elektr toki) va zaryadlangan zarralar.
- D) Elektr toki.
- 82.** Magnit maydoni manbasi nima?
- A) Elektr toki (doimiy yoki o'zgaruvchan) va o'zgaruvchan elektr maydoni.
- B) Doimiy elektr toki va neytral zarralar.
- C) Zaryadlangan zarralar va o'zgaruvchan elektr maydoni (o'zgaruvchan elektr toki)
- D) Doimiy magnit.

- 83.** Siljish toki nima?
- A) $\partial \vec{E} / \partial t$ -siljish toki deyiladi, chunki o'zgaruvchan elektr maydoni ikkinchi o'ramdagi elektronlarni tartibli harakatga keltirib induksion tok hosil bo'lishiga sabab bo'ladi.
- B) $\partial \vec{B} / \partial t$ - siljish toki deyiladi, chunki o'zgaruvchan magnit maydoni ikkinchi o'ramdagi tinch elektronni harakatga keltirib induksion tok hosil bo'lishiga sabab bo'ladi.
- C) Elektr toki o'tayotgan o'tkazgich siljisa siljish toki deyiladi.
- D) Elektr toki biror jismni siljitsa siljish toki deyiladi.
- 84.** Elektrostatik elektr maydoni bilan elektromagnit maydon elektr komponentasi orasida farq bormi?
- A) Elektrostatik elektr maydoni kuch chiziqlari berk emas (uyurmali emas), elektromagnit maydon elektr komponentasi kuch chiziqlari esa berk(uyurmali)dir
- B) Yo'q.
- C) Ikkalasi ham bir xil tabiatga ega.
- D) Ikkalasi ham elektr maydonini xarakterlaydi.
- 85.** Magnitostatik magnit maydoni bilan elektromagnit maydon magnit komponentasi orasida farq bormi?
- A) Magnitostatik magnit maydoni kuch chiziqlari berk(uyurmali), elektromagnit maydon magnit komponentasi kuch chiziqlari ham berk(uyurmali)dir.
- B) Ikkalasi kam bir xil tabiatga ega.
- C) Ikkalasi ham magnit maydonini xarakterlaydi.
- D) Yo'q.
- 86.** Maksvell tenglamalari sistemasini maydon potentsiallari orqali yozish zaruriyati nimada?
- A) Maksvell tenglamalari sistemasi - elektromagnit maydon tenglamalari sistemasi birinchi tartibli differensial tenglamalar bo'lib ularni yechishda qiyinchiliklar uchrab turadi. Bu tenglamalar maydon potentsiallari orqali ikkinchi

tartibli differensial tenglamalar sistemasi ko'rinishiga keladi va bunday Dalamber tipidagi differensial tenglamalarni yechish oson.

- B) Zaruriyati yo'q.
- C) Ikkalasi ham bir xil ahamiyatga ega.
- D) Shunday qabul qilingan.

87. Elektromagnit maydon tenglamalari sistemasi – Maksvell tenglamalari sistemasini relyativistik ko'rinishda ifodalash zaruriyati nimada?

A) Elektromagnit maydon yorug'lik tezligida tarqaladi, ya'ni relyativistik obyekt. Shu sababli bu tenglamalar sistemasi relyativistik ko'rinishda ifodalanishi zarur

- B) Bunday zaruriyat yo'q.
- C) Ixcham ko'rinishga ega bo'ladi.
- D) Shunday bo'lishi kerak.

88. Lorens kalibrovkasining fizik mohiyati nimada?

A) Lorens kalibrovkasi elektromagnit maydonning ikki komponentaligini tushuntirib beradi.

- B) Fizik ma'noga ega emas.
- C) Faqat matematika nuqtai nazardan kiritilgan.
- D) Shunday qabul qilingan.

89. Vakuumdagi va muhitdagi elektromagnit maydon tenglamalari nima bilan farqlanadilar?

A) Muhitdagi elektromagnit maydon tenglamalarida vakuum xususiyatlaridan tashqari o'sha muhitning magnit va elektr xususiyatlarini xarakterlovchi kattaliklar ishtirok etadi

- B) Ular farq kilmaydilar
- C) Vakuumdagi elektromagnit maydon tenglamalarida faqat vakuumning magnit va elektr xususiyatlarini xarakterlovchi kattaliklar ishtirok etgan
- D) Farqi ahamiyatsiz.

90. Vakuumning elektr doimiysi va magnit doimiysi qanday fizik doimiy bilan bog'langan?

A) Bu kattaliklar ko'paytmasidan olingan kvadrat ildiz 1/yorug'lik tezligiga teng, ya'ni $\epsilon_0\mu_0 = 1/c^2$

- B) Hech qanday fizik doimiyga aloqasi yo'q
- C) Muhitning sindirish ko'rsatkichi bilan bog'liq
- D) Plank doimiysi bilan bo'g'liq.

91. Muhitning elektr singdiruvchanligi va magnit kirituvchanligi qanday fizik doimiy bilan bog'langan?

- A) Muhitning sindirish ko'rsatkichi bilan bog'liq, ya'ni $\sqrt{\mu\epsilon} = n$.
- B) Bu kattaliklar ko'paytmasidan olingan kvadrat ildiz 1/yorug'lik tezligiga teng.

- C) Hech qanday fizik doimiyga aloqasi yo'q.
- D) Gravitatsion doimiy bilan.

92. Elektromagnit maydon va elektromagnit to'lqin deganda nimani tushunasiz?

A) Elektromagnit maydonning uni hosil qilgan manbadan ajralgandan keyin mustaqil holda mavjud bo'lib tarqalishi elektromagnit to'lqin deyiladi

- B) Ikkala termin ham bir xil ma'noga ega, ya'ni sinonimdir
- C) Zaryadlangan zarralar sistemasi o'z atrofida elektromagnit maydon hosil qiladi
- D) Aslida bir hodisa.

93. Elektromagnit maydon energiyaga egami?

- A) Materiya modda va maydon ko'rinishdariga ega. Shu sababli moddani xarakterlovchi energiya, impuls kabi kattaliklar maydon uchun ham o'rindir.
- B) Elektromagnit maydon uchun bunday savol ma'noga ega emas.
- C) Yo'q, ega emas.
- D) Shunday deb qabul qilingan.

94. Elektromagnit maydonda zaryadlangan zarraga ta'sir qiluvchi kuch?

- A) Lorens kuchi.
- B) Kulon kuchi.
- C) Arximed kuchi.
- D) Ot kuchi.

95. Elektrodinamikaning asosiy masalasi?

A) Berilgan zaryadli zarralar taqsimoti va ular harakatiga qarab istalgan vaqtdagi elektromagnit maydonni aniqlash.

- B) Zaryadni hisoblash.
- C) Lorens kuchini topish.
- D) Bunday masala mavjud emas.

96. Elektromagnit maydon qachon aniqlangan deyiladi?

A) Elektromagnit maydon ikkita $-\vec{E}$ -elektr va $-\vec{B}$ -magnit komponentalariga ega. Maksvell tenglamalari sistemasini yechsak ular topilgan va shu bilan elektromagnit maydon aniqlangan deyiladi

B) Maksvell tenglamalari sistemasi - elektromagnit maydon tenglamalari sistemasi yechilganda elektromagnit maydon aniqlangan deyiladi

- C) Elektromagnit maydonni aniqlab bo'lmaydi
- D) To'g'ri javob mavjud emas.

97. Elektr maydonini qanday kattaliklar xarakterlaydi?

A) Elektr maydon kuchlanganligi $-\vec{E}$ va elektr maydon potentsiali $-\phi$ elektr maydonini xarakterlaydi.

- B) Elektr maydon induksiya vektori xarakterlaydi.
- C) Tok kuchi va kuchlanish xarakterlaydi.
- D) Elektr maydon potentsiali $-\phi$ xarakterlaydi.

98. Elektr maydon kuchlanganligi va elektr maydon induksiya vektori orasidagi bog'lanishni ko'rsating

- A) $\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}$
- B) $\vec{E} = \epsilon_0 \epsilon \vec{D}$
- C) $\vec{D} = \mu_0 \mu \vec{E}$

$$D) \vec{E} = \mu_0 \mu \vec{D}$$

99. Elektr maydon kuchlanganligi va elektr maydon induksiya vektorining mohiyati nimada?

A) $\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}$ bog'lanishga ko'ra bu kattaliklar ϵ_0, ϵ doimiylar bilan farq qiladilar. Shunga ko'ra, elektr maydon kuchlanganligi $-\vec{E}$ vakuumdagi elektr maydonini, elektr maydoni induksiya vektori $-\vec{D}$ esa muhitdagi elektr maydonini xarakterlaydi.

- B) Ikkalasi ham bir xil o'lchamlikka ega bo'lib elektr maydonini xarakterlaydi.
- C) Ular har xil o'lchamga ega bo'lib mos holda vakuumdagi va muhitdagi elektr maydonini xarakterlaydi.

D) Mohiyati bir xil.

100. Magnit maydon induksiya vektori va magnit maydon kuchlanganlik vektori orasidagi bog'lanishni ko'rsating.

- A) $\vec{H} = \vec{B} / \mu_0 \mu$
- B) $\vec{H} = \epsilon_0 \epsilon \vec{B}$
- C) $\vec{B} = \epsilon_0 \epsilon \vec{H}$
- D) $\vec{D} = \mu_0 \mu \vec{E}$

101. Magnit maydon induksiya vektori va magnit maydon kuchlanganlik vektorining mohiyati nimada?

A) $\vec{H} = \vec{B} / \mu_0 \mu$ bog'lanishga ko'ra bu kattaliklar μ_0, μ doimiylar bilan farq qiladi. Shunga ko'ra magnit maydon induksiya vektori $-\vec{B}$ vakuumdagi magnit maydonini, magnit maydoni kuchlanganligi $-\vec{H}$ esa muhitdagi magnit maydonini xarakterlaydi.

B) Ikkalasi ham bir xil o'lchamlikka ega bo'lib magnit maydonini xarakterlaydi.

C) Ular har xil o'lchamga ega bo'lib mos holda vakuumdagi va muhitdagi magnit maydonini xarakterlaydi.

D) Mohiyati bir xil.

102. Elektr doimiysi nimani xarakterlaydi?

- A) Vakuumning elektr xususiyatini xarakterlaydi.
- B) Vakuumning magnit xususiyatini xarakterlaydi.
- C) Muhitning magnit xususiyatini xarakterlaydi.
- D) Muhitning elektr xususiyatini xarakterlaydi.

103. Vakuumning magnit doimiysi nimani xarakterlaydi?

- A) Vakuumning magnit xususiyatini xarakterlaydi.
- B) Vakuumning elektr xususiyatini xarakterlaydi.
- C) Muhitning magnit xususiyatini xarakterlaydi.
- D) Muhitning elektr xususiyatini xarakterlaydi.

104. Maksvell tenglamalari sistemasi–elektromagnit maydon tenglamalari sistemasi asosida elektromagnit maydon mavjudligi kim tomonidan tajribada isbotlangan?

- A) Gers tomonidan.
- B) Rezerford tomonidan.
- C) Kulon tomonidan.
- D) Faradey tomonidan.

105. Faradeyning elektromagnit induksiya qonuni bevosita qo'llaniladigan qurilmalarni ayting?

A) Transformatorlar, generatorlar, elektrodvigatellar, radiokarnay va mikrofonlar

- B) Tele- va videoapparaturalar.
- C) Ichki yonuv dvigatellari.
- D) Dizel dvigatellar.

106. Elektromagnit to'lqinlar asosan qaysi sohalarda qo'llaniladi?

- A) Aloqa, meditsina va texnikada juda keng qo'llaniladi.
- B) Deyarli qo'llanilmaydi.
- C) Kelajakda qo'llanilishi mumkin.

D) Nazariy izlanishlarda.

107. Magnit maydoni manbasi to'g'risidagi ma'lumot qaysi ifodada o'z aksini topgan?

- A) $\text{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$.
- B) $\text{div} \vec{B} = 0$.
- C) $\text{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$.
- D) $\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$.

108. Elektr maydoni manbasi to'g'risidagi ma'lumot qaysi ifodada o'z aksini topgan?

- A) $\text{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}, \text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
- B) $\text{div} \vec{B} = 0$
- C) $\text{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$
- D) $\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

109. Elektrostatik elektr maydoni kuch chiziqlari berk emasligi (uyurmali emasligi) qaysi ifodada o'z aksini topgan?

- A) $\text{rot} \vec{E} = 0$.
- B) $\text{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$.
- C) $\text{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$.
- D) $\text{div} \vec{B} = 0$.

110. Elektr maydonii kuch chiziqlari berkligi (uyurmali) Maksvell tenglamalari sistemasining qaysi tenglamasida o'z ifodasini topgan?

- A) 2-tenglamasida.
- B) 1-tenglamasida.
- C) 3-tenglamasida.
- D) 4-tenglamasida.

111. Magnit maydonii kuch chiziqlari berkligi (uyurmali) Maksvell tenglamalari sistemasining qaysi tenglamasida o'z ifodasini topgan?

- A) 4-tenglamasida.
- B) 1-tenglamasida.
- C) 2-tenglamasida.
- D) 3-tenglamasida.

112. Induksion tok qanday yo'nalgan bo'ladi?

- A) Induksion tokni hosil qilgan tok yo'nalishiga qarama-qarshi.
- B) Induksion tokni hosil qilgan tok yo'nalishida.
- C) Induksion tokni hosil qilgan elektronlar yo'nalishiga qarshi.
- D) Noma'lum.

113. Muhitning elektr singdiruvchanligi qanday o'lchamga ega?

- A) O'lchamsiz kattalik.
- B) V/m .
- C) A/m .
- D) V .

114. Muhitning magnit kirituvchanligi qanday o'lchamga ega?

- A) O'lchamsiz kattalik.
- B) V/m .
- C) A/m .
- D) V .

115. Havoning sindirish ko'rsatkichi 1 ga teng. Bu nimani bildiradi?

- A) Havoda yorug'lik tezligi c ga tengligini.
- B) Havoda yorug'lik tezligi c dan kattaligini.
- C) Havoda yorug'lik tezligi c dan kichikligini.
- D) Ma'noga ega emas.

116. Magnit maydoni tinch turgan zaryadli zarraga kuchdaroq ta'sir qiladimi yoki harakatdagisigami?

- A) Harakatdagiga.

B) Tinch holatdagiga.

C) Ikkalasiga ham bir xil.

D) Ikkalasiga ham ta'sir qilmaydi.

117. Maydon potentsiallari fizik kattalikmi?

A) Yo'q, ular yordamchi kattalik, chunki ularni bevosita o'lchab bo'lmaydi. Potensillar orqali yozilgan Maksvell tenglamalari sistemasini yechish orqali potentsiallar hisoblanadi va o'tish ifodalari orqali fizik kattaliklar bo'lgan $\vec{E}$ va $\vec{B}$ aniqlanadi.

B) Ular fizik kattalik.

C) Bunday savol ma'nosiz.

D) Mohiyati bir xil.

118. Elektr va magnit maydonlari umumiylikka egami?

A) Ha, ega. Elektr va magnit maydonlari yagona elektromagnit maydonning xususiy ko'rinishlaridir.

B) Ko'pincha umumiylikka ega deb taxmin qilishadi.

C) Mohiyati bir xil.

D) Ega emas.

119. Elektrodinamikaning tajriba asoslari.

A) A. Gil'bert, Gal'vani, Vol'ta, Erested, Kavendish, Kulon, Faradey tajribadari elektrodinamikaga asos bo'lib xizmat qilgan.

B) Frank-Gers, Rezerford, Chedvik tajribalari.

C) Elektrodinamika nazariy fan bo'lib, unga hech qanday tajribadar asos bo'lib xizmat qilmagan.

D) Gers tajribasi.

120. Elektromagnit maydon massaga egami?

A) Ha. Bu kattalik elektromagnit maydon energiyasini yorug'lik tezligi kvadratiga bo'lish orqali topiladi.

B) Ha. Bu kattalik elektromagnit maydon energiyasini yorug'lik tezligiga ko'paytirish orqali topiladi.

C) To'g'ri javob yo'q.

D) Elektromagnit maydon massaga ega emas.

Glossariy

№	O'zbekcha	Ruscha	Inglizcha	Lug'aviy ma'nosi
1	fizika	физика	physis	Fizika-grekcha "physis" so'zidan olingan bo'lib, tabiat degan ma'noni anglatadi.
2	elektrodinamika	электродинамика	elektrodynamics	Nazariy fizikaning bo'limi bo'lib, bu fanda elektr va magnit maydon hodisalari yagona elektromagnit maydonning xususiy hollari deb o'rganiladi.
3	zaryad	заряд	charge	Elektr zaryad ishorasi ikki xil bo'lib, musbat va manfiy bo'ladi.
4	Kulon	Кулон	Coulomb	Elektr zaryadining o'lchov birligi bo'lib, Sh. Kulon sharafiga qo'yilgan
5	kuchlanganlik	напряженность	voltage	Masalan, elektr maydon kuchlanganligi birlik musbat zaryadga maydon tomonidan ta'sir etuvchi kuchga teng bo'lgan vektor kattalik
6	Maksvell	Максвелл	Maxwell	Elektromagnit maydon nazariyasini yaratgan olim. Elektromagnit maydonning fizik mohiyatini ochib bergan va o'zining

				tenglamalar sistemasini yaratgan ingliz olimi
7	tenglama	уравнение	equation	Biror fizik qonuniyatning matematik ifodasi
8	divergensiya	дивергенция	divergence	Tarqalish, sochilish, oqim yo'nalishini bildiradi
9	rotor	потоп	rotor	Uyurmaviy degan ma'noni anglatadi, ya'ni berk
10	magnit	магнит	magnetic	Magnit maydonining manbasi
11	nazariya	теория	theory	Biror fizik jarayonning tajribada aniqlangan natijalariga qarab uning qonuniyati, ya'ni nazariyasi ishlab chiqiladi
12	energiya	энергия	energy	Biror jismning ish bajara olish qoblyatiga energiya deyiladi. Tabiatda energiyaning turlari ko'p bolib, bu energiyalar bir biriga aylanaib turadi.
13	oqim	поток	flow	Oqim so'zining ma'nosi shuki, u biror kattalikning yo'nalishini ko'rsatadi
14	elektrostatika	электростатика	electrostatics	Nuqtaviy qo'zg'almas zaryadlar atrofida hosil bo'lgan elektr maydonini o'rganadigan bo'lim

15	tok	ток	current	Tok-oqim degan ma'noni anglatadi
16	kvazistatsionar	квазистационар	quasi-stationary	Go'yoki statsionar, ya'ni statsionarga yaqin degan ma'noni anglatadi
17	dipol	диполь	dipole	Ikki qutbli degan ma'noni anglatadi
18	nurlanish	излучение	radiation	Chiqish, tarqalish degan ma'noni anglatadi
19	quvvat	мощность	power	Vaqt birligi ichida bajarilgan ish
20	to'lqin	волна	wave	Tebranishlarning fazodagi tarqalishi

Ko'p ishlatiladigan matematik tushinchalar

Vektorlar algebrasi. Ikki $\vec{a}$ va $\vec{b}$ vektorlarning skalyar ko'paytmasi quyidagicha yoziladi:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| |\vec{b}| \cos(\vec{a} \wedge \vec{b}),$$

bu yerda $\vec{a}(a_x, a_y, a_z)$ va $\vec{b}(b_x, b_y, b_z)$ bo'lsa,

$$\vec{a} = \vec{i}a_x + \vec{j}a_y + \vec{k}a_z,$$

$$\vec{b} = \vec{i}b_x + \vec{j}b_y + \vec{k}b_z$$

va

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z,$$

$$\cos(\vec{a} \wedge \vec{b}) = \frac{a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2}}.$$

Ikki $\vec{a}$ va $\vec{b}$ vektorlarning vektor ko'paytmasi quyidagicha yoziladi:

$$[\vec{a} \vec{b}] = |\vec{a}| |\vec{b}| \sin(\vec{a} \wedge \vec{b})$$

yoki

$$[\vec{a} \vec{b}] = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} = \vec{i}(a_y b_z - a_z b_y) + \vec{j}(a_x b_z - a_z b_x) + \vec{k}(a_x b_y - a_y b_x)$$

Uchta $\vec{a}$, $\vec{b}$ va $\vec{c}$ vektorlarning vektor ko'paytmasi quyidagicha yoziladi:

$$[\vec{a} [\vec{b} \vec{c}]] = \vec{b}(\vec{a} \vec{c}) - \vec{c}(\vec{a} \vec{b}).$$

Uchta $\vec{a}$, $\vec{b}$ va $\vec{c}$ vektorlar uchun Yakobi ifodasi o'rinli:

$$[\vec{a} [\vec{b} \vec{c}]] + [\vec{b} [\vec{a} \vec{c}]] + [\vec{c} [\vec{a} \vec{b}]] = 0.$$

Vektor operatorlar

1. Skalyar funksiyaning gradiyenti

Faraz qilaylikki, $\varphi = \varphi(x, y, z)$ skalyar funksiya berilgan. Ushbu funksiyaning gradiyenti quyidagicha ifodalanadi:

$$\text{grad} \varphi = \vec{i} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial \varphi}{\partial z}.$$

Funksiyaning gradiyenti uning tez o'zarish yo'nalishini aniqlaydi va u skalyar kattalikdir.

2. Vektorning divergensiya

Faraz qilaylikki, $\vec{a} = \vec{a}(x, y, z)$ vektor berilgan bo'lsin. Ushbu vektorning divergensiya quyidagicha topiladi:

$$\text{div} \vec{a} = \frac{\partial a_x}{\partial x} + \frac{\partial a_y}{\partial y} + \frac{\partial a_z}{\partial z}.$$

Vektorning divergensiya skalyar kattalik bo'lib, u manba bor yoki yo'qligini aniqlaydi.

Agar $\text{div} \vec{a} \neq 0$ bo'lsa, u holda manba bor deyiladi.

Agar $\text{div} \vec{a} = 0$ bo'lsa, u holda manba mavjud bo'lmaydi.

Agar $\text{div} \vec{a} < 0$ bo'lsa, manbaga kiradi va agar $\text{div} \vec{a} > 0$ bo'lsa, manbadan chiqadi deb tushunish lozim.

3. Vektorning uyurmasi

Faraz qilaylikki, $\vec{a} = \vec{a}(x, y, z)$ vektor berilgan bo'lsin. Ushbu vektorning uyurmasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\text{rot} \vec{a} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ a_x & a_y & a_z \end{vmatrix} = \vec{i} \left(\frac{\partial a_z}{\partial y} - \frac{\partial a_y}{\partial z} \right) + \vec{j} \left(\frac{\partial a_x}{\partial z} - \frac{\partial a_z}{\partial x} \right) + \vec{k} \left(\frac{\partial a_y}{\partial x} - \frac{\partial a_x}{\partial y} \right).$$

Vektorning uyurmasi vektor kattalik bo'lib, u maydon uyurmali yoki uyurmasiz ekanligini aniqlaydi. Agar $\text{rot} \vec{a} \neq 0$ bo'lsa, maydon uyurmali va agar $\text{rot} \vec{a} = 0$ bo'lsa, maydon uyurmasiz deyiladi.

Ostrogradskiy-Gauss teoremasi

Faraz qilaylikki, vektor maydon berilgan va bu vektor aniqlangan sohadan ixtiyoriy yopiq yuzani ajratib olaylik (1-rasm). Ushbu yuzani normal yo'nalishida elementar vektor yuzani $d\vec{s}$ deb belgilaymiz.

Agar shu sohada $\vec{a}$ vektor aniqlangan bo'lsa, $\vec{a} \cdot d\vec{s}$ ushbu elementar sirt dan vektorning oqimini beradi. Ushbu vektorning yopiq sirt bo'yicha vektor oqimi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\oint \vec{a} d\vec{s} = \int \text{div} \vec{a} dV.$$

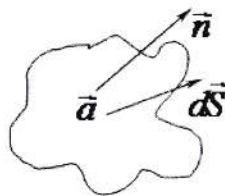
Demak, yopiq sirt orqali vektor oqimi shu yopiq sirt bilan chegaralangan hajm bo'yicha olingan vektor divergesiyasining integraliga teng bo'ladi. Ushbu tasdiq Ostrogradskiy-Gauss teoremasining mazmunini tashkil etadi.

Stoks teoremasi

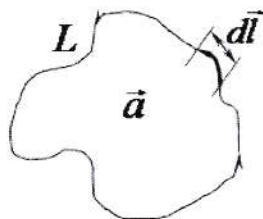
Faraz qilaylikki, vektor maydon berilgan bo'lib, vektor aniqlangan sohada biror ixtiyoriy yopiq kontur ajratib olamiz va uni L deb belgilaymiz (2-rasm). Agar biz konturni aylanib chiqishimizda kontur bilan chegaralangan soha hamma vaqt chap tomonimizda qolsa, konturning bunday yo'nalishi uning musbat yo'nalishi deb qabul qilingan. Kontur yo'nalishida $d\vec{l}$ elementar konturni ajratib olib, uni $\vec{a}$ ga ko'paytirsak, ya'ni $\vec{a} d\vec{l}$ vektorning elementar yopiq kontur bo'yicha sirkulyasiyasini beradi.

Vektorning elementar yopiq kontur bo'yicha sirkulyasiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\oint \vec{a} d\vec{l} = \int \text{rot} \vec{a} d\vec{s}.$$



1.1-rasm



1.2-rasm

Demak, vektorning elementar yopiq kontur bo'yicha olingan integrali shu kontur bilan chegaralangan sirt orqali vektor uyurmasining oqimiga teng bo'ladi. Ushbu tasdiq Stoks teoremasining mazmunini ifodalaydi.

Nabla operatori

Nabla operatori deb quyidagi ko'rinishdagi ifodaga aytiladi:

$$\nabla = \vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z}.$$

Nabla operatori vector kattalikdir. Nabla operatoridan foydalanib, quyidagi tengliklarni yozish mumkin:

$$\text{grad} \varphi = \nabla \varphi,$$

$$\text{div} \vec{a} = (\nabla \vec{a}),$$

$$\text{rot} \vec{a} = [\nabla \vec{a}].$$

Nablaning dekart komponentalarini quyidagicha yozish mumkin:

$$\nabla_x = \frac{\partial}{\partial x}, \nabla_y = \frac{\partial}{\partial y}, \nabla_z = \frac{\partial}{\partial z}.$$

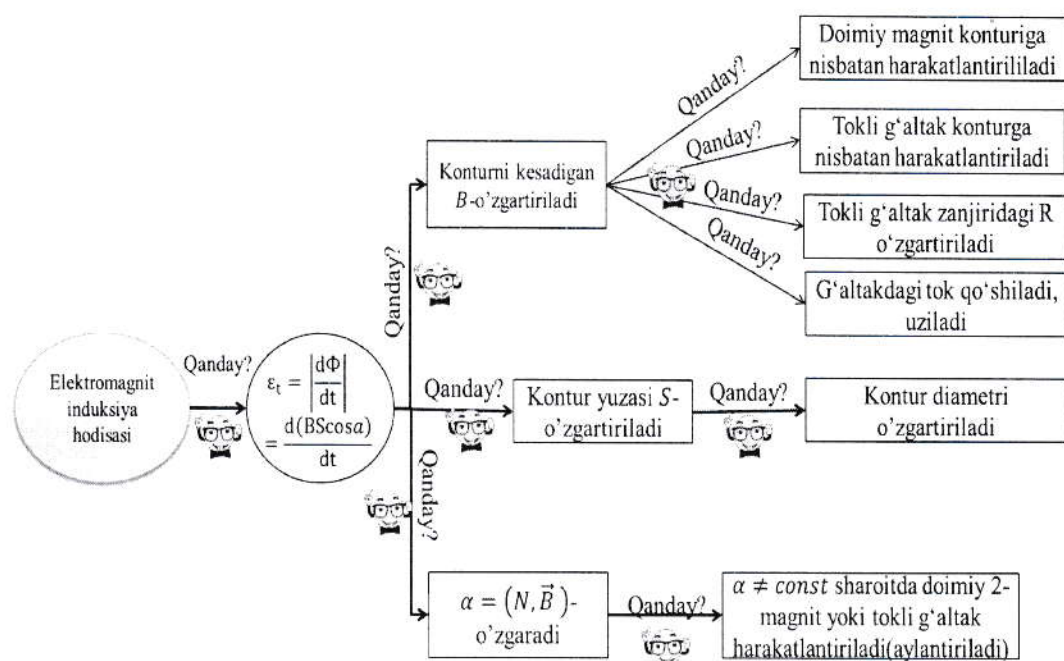
Nablaning boshqa kattaliklar bilan bog'liqligi quyidagicha:

$$\nabla^2 = \Delta, \Delta \vec{a} = \nabla^2 \vec{a}, \nabla(\vec{a} \cdot \vec{b}) = \vec{\nabla}(\vec{a} \cdot \vec{b}) + \vec{\nabla}(\vec{a} \cdot \vec{b}) = \vec{b} \nabla \vec{a} + \vec{a} \nabla \vec{b} = \vec{b} \text{grad} \vec{a} + \vec{a} \text{grad} \vec{b},$$

bu yerda $\vec{a}_c$ va $\vec{b}_c$ lar o'zgarmas vektorlar.

$$\nabla(\nabla \vec{a}) = \text{grad} \text{div} \vec{a}, (\nabla \nabla \varphi) = \text{div} \text{grad} \varphi, [\nabla \nabla \varphi] = \text{rot} \text{grad} \varphi, (\nabla[\nabla \vec{a}]) = \text{div} \text{rot} \vec{a},$$

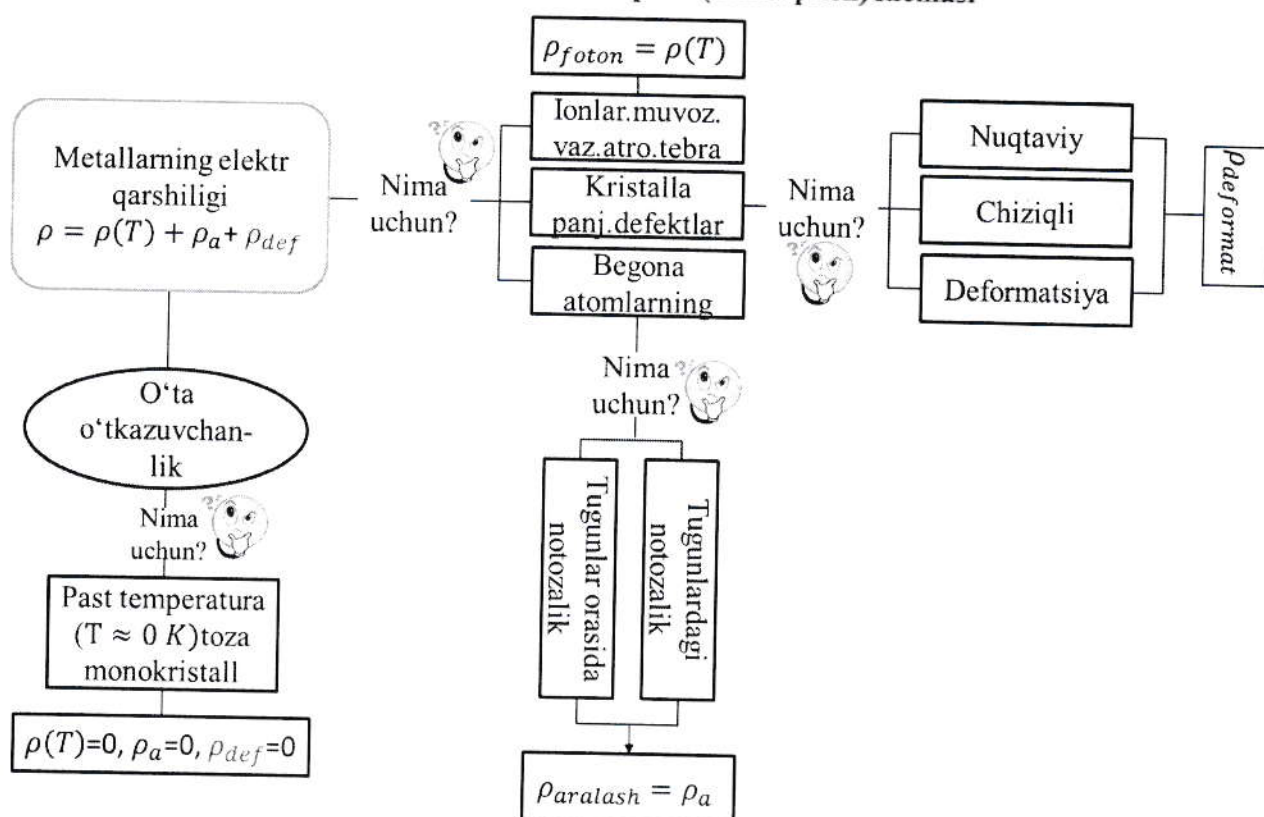
$$[\nabla[\nabla \vec{a}]] = \text{rot} \text{rot} \vec{a}.$$

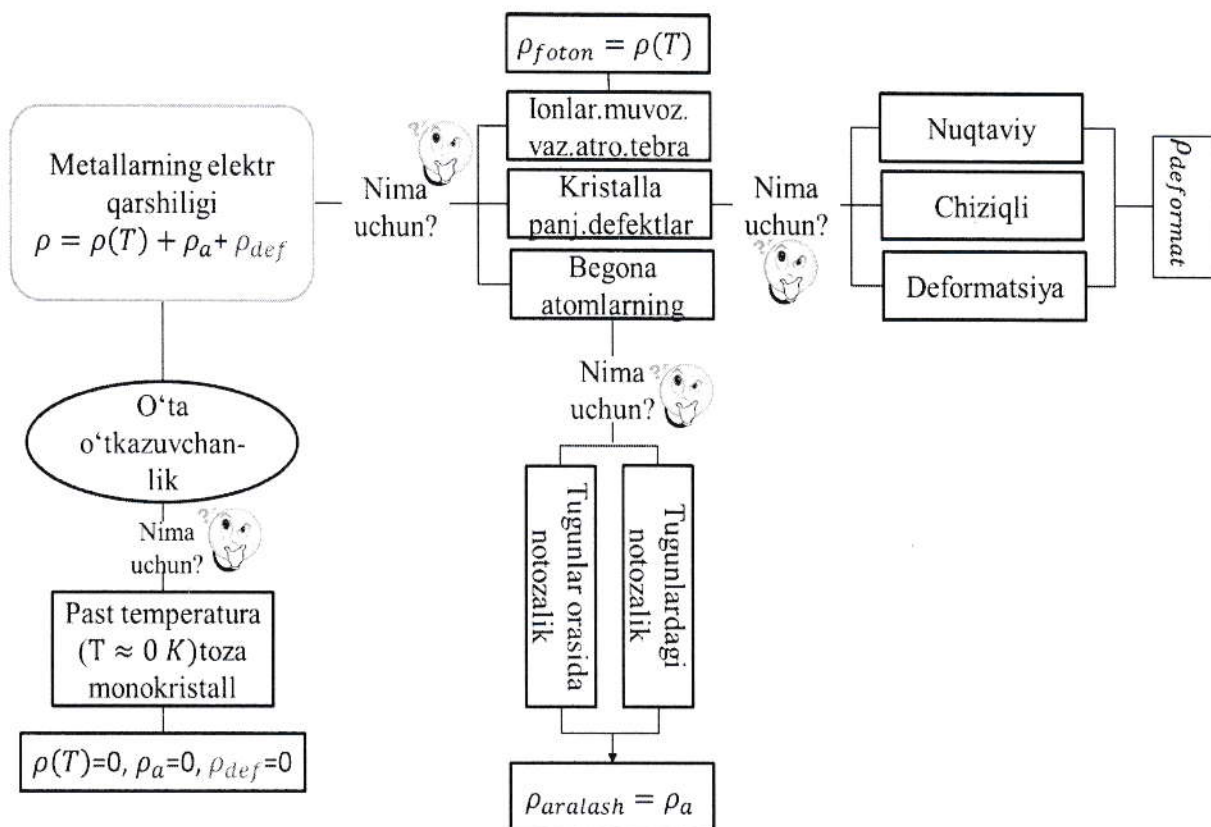


Elektrodinamika faniga oid intellekt xaritalardan namunalari¹.

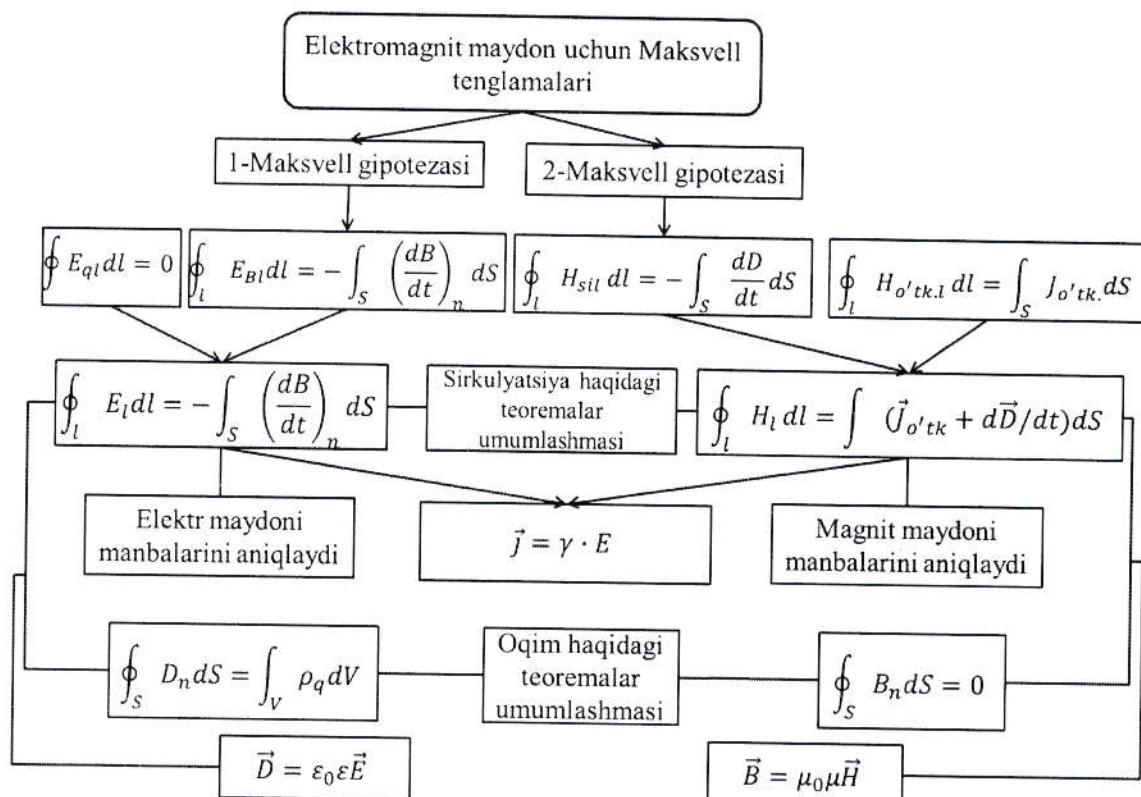
2-ilova

“Nima uchun?”- muammoni aniqlash (tahlil qilish) sxemasi

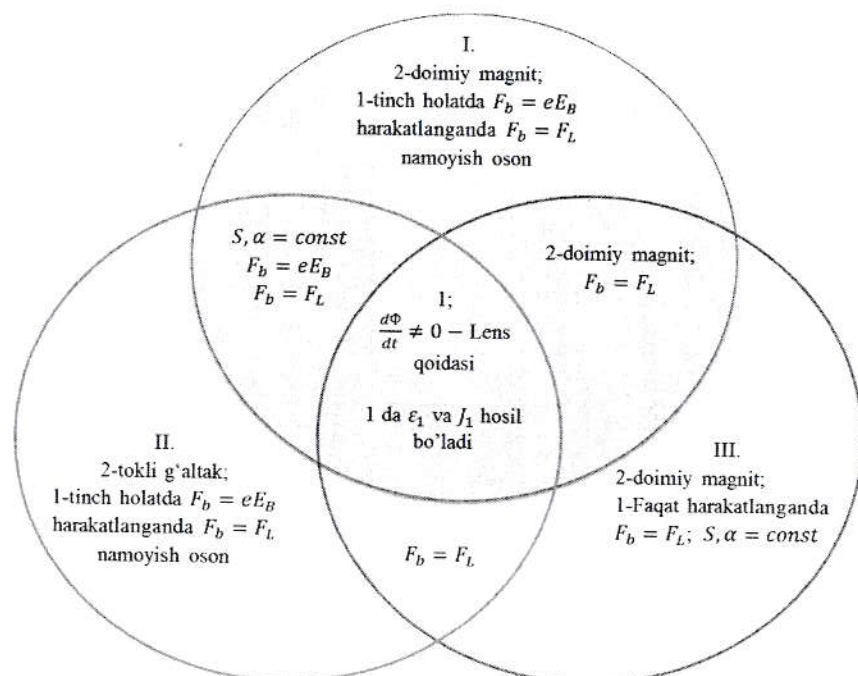




"Piramida" mantiqiy tuzilmasi



“VENN” diagrammasi (Faradey tajribalari bo'yicha)



Izoh: 1-uchlariga galvanometer ulangan g'altak;
2-magnit maydoni manbai.

Foydalanilgan adabiyotlar:

- Rasulov E.N., Begimqulov U.Sh., Nasriddinov K.R., Axmadjanova Sh.X. Kvant fizikadan masalalar to'plami. –T.: TDPU. 2004. –120 b.
- Мултановский В.В., Васильевский А.С. Курс теоретической физики. Классическая электродинамика. - М.: Просвещение, 1998. – 272 с.
- Quvondiqov O. Fizikani o'qitishda innovatsion texnologiyalardan foydalanish uslubiylati. O'quv qo'llanma. – Samarqand. SamDU nashri, 2021. – 448 b.
- Ландау ЛД., Лифшиц Е.М.. Механика. Электродинамика. –Т.: Ўқитувчи, 1976. – 272 б.
- Nasriddinov K.R. Nazariy fizika (Elektrodinamika). –T.: TDPU, 2016. –46 b.
- Дусмуратов М.Б. Олий таълимда электродинамикани ўқитишни ахборот технологиялари асосида такомиллаштириш. Дис. ... пед. фанл. бўйича фалсафа доктори (PhD) илмий даражасини олиш учун. – Чирчик. ТВЧДПИ, 2021. – 155 б.

MUNDARIJA

	bet
KIRISH	3
1. Elektrodinamikaga kirish	4
2. Elektromagnit o'zaro ta'sir	6
3. Elektr zaryadi va elektromagnit maydon	16
4. Elektromagnit maydonning zaryadli zarraga ta'siri	20
5. Elektrodinamikaning eksperimental asoslari	23
6. Elektromagnit induksiya hodisasi	29
7. Elektrodinamikada sababiyat prinsipi	44
8. Elektromagnit maydon energiyasi	47
9. Elektromagnit maydon impulsini	50
10. Elektromagnit maydon potentsiallari	53
11. Stasionar elektromagnit maydon	59
12. Elektromagnit to'liqlar	64
13. Relyativistik elektrodinamika	68
14. Modda (muhit) dagi elektromagnit maydon	70
15. Modda (muhit) dagi elektromagnit maydon xususiyatlari	73
16. Modda (muhit) dagi elektromagnit maydon energiyasi va impulsini	74
Uslubiy ko'rsatmalar va tavsiyalar	77
Mustahkamlash uchun mashqlar	81
Mustaqil yechish uchun masalalar	87
Talabalarning bilimlarini baholash uchun testlar	91
Glosariy	119
Ilovalar	122
Foydalanilgan adabiyotlar	131

K.R.Nasriddinov, E.N.Xudayberdiyev, N.B.Azzamova

NAZARIY FIZIKA 1

Pedagogika oliy ta'lim muassasalari uchun o'quv qo'llanma

Muharrir: X. Tahirov
Texnik muharrir: S. Meliquziyeva
Musahhih: M. Yunusova
Sahifalovchi: A. Isxoqov

Nashr. lits № 2244. 25.08.2020 y.
Bosishga ruxsat etildi 05.06.2024 y.
Bichimi 60x84 1/16. Ofset qog'ozi. "Cambria"
garnituras. Hisob-nashr tabog'i. 8,5.
Adadi 100 dona. Buyurtma № 2265223.

«Sarbon LLS» MCHJ bosmaxonasida chop etildi.

+998 (94) 673-66-56

ISBN 978-9910-9026-6-6



9 789910 902666