

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA
MAXSUS TA‘LIM VAZIRLIGI
O‘RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA‘LIMI MARKAZI

M.H. O‘LMASOVA

FIZIKA
OPTIKA, ATOM VA YADRO
FIZIKASI

3- kitob

Akademik litseylar uchun o‘quv qo‘llanma

Professor **B.M. Mirzaahmedov** tahriri ostida

Ikkinchi nashri

Cho‘lpon nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi
Toshkent – 2010

BBK 22.343

O' 70

*Oliy va o'rta maxsus kasb-hunar ta'limi o'quv metodik
birlashmalar faoliyatini muvofiqlashtiruvchi
Kengash nashrga tavsiya etgan*

Taqrizchilar: **L.F. Po'latova** — *fizika-matematika fanlari nomzodi,*
R.G. Isyanov — *pedagogika fanlari nomzodi,*
G. Ikromova — *1-Toshkent pedagogika kollejining
fizika o'qituvchisi*

Mazkur o'quv qo'llanma fizika chuqurlashtirilgan fan sifatida o'rganiladigan aniq va tabiiy fanlar yo'nalishidagi akademik litseylar uchun mo'ljallangan dastur asosida yozilgan. Qo'llanma fizikaning elektromagnit to'lqinlar, optika, atom va yadro fizikasi, elementar zarralar fizikasi bo'limlari, olamning yagona fizik manzarasi bayoni bilan yoritilgan hamda fizika masalalarining izohli yechimlari namunalari bilan boyitilgan.

Ushbu o'quv qo'llanma fizika chuqur o'rganiladigan aniq va tabiiy fanlar yo'nalishidagi akademik litseylar uchun mo'ljallangan. Undan kasb-hunar kollejlari o'quvchilari, oliy o'quv yurtlariga kiruvchilar, o'rta maktab fizika o'qituvchilari foydalanishlari mumkin.

O' $\frac{4306021200 - 68}{360(04) - 2010} - 2010$

ISBN 978-9943-05-149-2

© Cho'lpon nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi, 2007- y.

© Cho'lpon nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi, 2010- y.

SO‘ZBOSHI

Qo‘lingizdagi ushbu o‘quv qo‘llanma muallifning aniq va tabiiy fanlar yo‘nalishidagi akademik litsey o‘quvchilariga mo‘ljallangan 3- kitobi bo‘lib, u «Mexanika va molekulyar fizika» 1- kitob va «Fizika. Elektrodinamika asoslari. Tebranishlar va to‘lqinlar» 2- kitobning mantiqiy davomidir. O‘quv qo‘llanmada fizika kursining «Elektromagnit to‘lqinlar», «Fotometriya», «Geometrik optika», «To‘lqin optikasining asoslari», «Nisbiylik nazariyasining elementlari», «Kvant fizikasi», «Atom fizikasi», «Yadro fizikasi» va «Elementar zarralar haqida tushuncha» bo‘limlari mujassamlashgan. Bu qo‘llanmada ham, xuddi avvalgilaridagi kabi o‘quv dasturida qayd etilgan, akademik litsey o‘quvchilari tanishib chiqishi lozim deb topilgan (oliy o‘quv yurtlarida o‘qitiladigan) bir qator yangi mavzular o‘quvchilarga tushunarli tarzda bayon etishga harakat qilingan. Maksvell tenglamalari, Ferma prinsipi, Frenel-Gyuygens prinsipi, Malyus qonuni, Buger-Lambert qonuni, geliotexnika elementlari, kombinatsion prinsip, moddaning to‘lqin xossalari, Geyzenbergning noaniqlik munosabatlari, atom sistemasini xarakterlovchi kvant sonlari, spin, Pauli prinsipi, optikada nochoziqiy effektlar, kosmik nurlar kabi mavzular shular jumlasidandir. Shuningdek, lazerlar fizikasi, radioaktiv izotoplar, kosmik nurlar kabi sohalarda O‘zbekistonda olib borilayotgan ilmiy-tadqiqot va amaliy ishlar haqida qisqacha ma‘lumot berilgan.

Muallif ushbu 3- kitobda ham uning mazmunini 1- va 2- kitoblarda qo‘llagan bayon etish uslubini o‘zgartirmagan va unga amal qilgan. Xususan, har bir mantiqan tugallangan mavzulardan so‘ng takrorlash uchun savollar, shu nazariy qismga oid tipik masalalarning izohli yechimlari va mustaqil yechish uchun masalalar berilgan.

Ushbu o‘quv qo‘llanmaning yaratilishida yaqindan yordam bergan fizika-matematika fanlari nomzodi, katta ilmiy xodim S. G‘oipovga muallif o‘zining chuqur minnatdorchiligini bildiradi.

Mazkur o‘quv qo‘llanma yuzasidan barcha fikr-mulohazalarni muallif mamnuniyat bilan qabul qiladi.

1- §. Elektromagnit maydon

XIX asrning 60- yillarida ingliz olimi Maksvell elektr va magnit hodisalarning yagona nazariyasini yaratdi. Bu nazariya o‘sha vaqtlarda ma‘lum bo‘lgan tajriba natijalaridan kelib chiqqan bo‘lib, *Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasi* deb ataladi. Maksvell nazariyasining asosida elektr va magnit maydonlarning o‘zaro uzviy bog‘lanishda ekanligini ifodalovchi quyidagi ikkita muhim g‘oya yotadi.

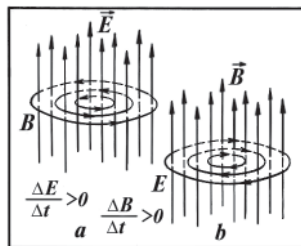
1. *Vaqt davomida o‘zgaruvchi magnit maydon o‘zgaruvchan elektr maydonni yuzaga keltiradi.*

2. *Vaqt davomida o‘zgaruvchi elektr maydon esa o‘zgaruvchan magnit maydonni yuzaga keltiradi.*

Maksvellning birinchi g‘oyasining to‘g‘riligini 1831- yilda ingliz fizigi va kimyogari M. Faradey tomonidan kashf qilingan elektromagnit induksiya hodisasi tasdiqlaydi.

Ma‘lumki, elektromagnit induksiya hodisasiga binoan induksion tok yoki vaqt o‘tishi bilan o‘zgaradigan magnit maydondagi qo‘zg‘almas konturda, yoki vaqt o‘tishi bilan o‘zgarmaydigan magnit maydonda harakatlanuvchi konturda hosil bo‘ladi. Birinchi holda induksion tokning hosil bo‘lishi shuni ko‘rsatadiki, bunda magnit maydonning o‘zgarishi konturdagi elektr zaryadlarga ta’sir qiluvchi tashqi kuchlarni yuzaga keltiradi. Bu tashqi kuchlar konturda ro‘y berishi mumkin bo‘lgan kimyoviy jarayonlarga ham, issiqlik jarayonlarga ham bog‘liq emas. Shuningdek, ular Lorens kuchlari ham bo‘lishi mumkin emas, chunki Lorens kuchlari qo‘zg‘almas elektr zaryadga ta’sir etmaydi. Shuning uchun induksion tok konturda hosil bo‘luvchi elektr maydon tufayli yuzaga keladi, degan xulosaga kelish mumkin. Shunga ko‘ra biz qo‘zg‘almas o‘tkazgichdagi elektr zaryadlarni tartibli harakatga keltiruvchi elektr maydonni bevosita o‘zgaruvchi magnit maydon yaratadi, deb ayta olamiz. Biroq bu elektr maydon biz shu vaqtgacha tilga olib kelgan elektrostatik maydondan farq qiladi. Elektrostatik maydonni qo‘zg‘almas elektr zaryadlari hosil qiladi. Elektrostatik maydon potensial xarakterda bo‘lib, uning kuchlanganlik chiziqlari zaryaddan boshlanib, zaryadda tugaydi. *Magnit maydon o‘zgarganda yuzaga keladigan elektr maydon esa elektr zaryadlariga bevosita bog‘liq emas va uning kuchlanganlik chiziqlari*

elektr zaryadlarida boshlana olmaydi ham, ularda tugay olmaydi ham. Ular, umuman hech qayerda boshlanmaydi va hech qayerda tugamaydi, balki magnit maydonning induksiya chiziqlariga o'xshash berk chiziqlardir (1- a va b rasmlar). Bu maydon **uyurmaviy elektr maydon** deb ataladi.



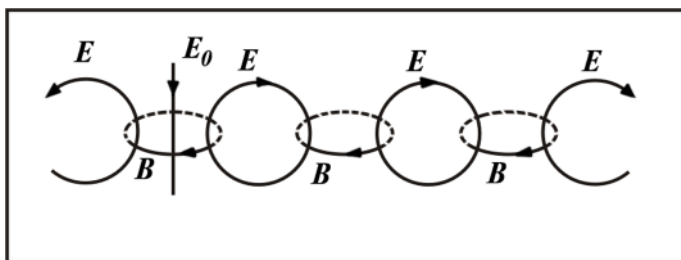
1- rasm.

Maksvellning ikkinchi g'oyasi, ya'ni elektr maydonning vaqt o'tishi bilan o'zgarishi magnit maydonni yuzaga keltirishi lozimligi haqidagi fikri ham juda samarali chiqdi. U vaqtlarda bu g'oyani tasdiqlovchi tajribaga asoslangan hech qanday ma'lumot yo'q edi. Keyinchalik o'tkazilgan ko'pgina tajribalar bu g'oyaning to'g'riligini tasdiqladi. Masalan, elektromagnit to'lqinlarning ochilishi elektr maydonning vaqt o'tishi bilan o'zgarishi magnit maydonni yuzaga keltirishini tasdiqlovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. Chunki elektromagnit to'lqinlarning mavjudligi haqidagi gipoteza (bu gipotezani ham Maksvell nazariy jihatdan oldindan aytgan edi) Maksvellning ikkinchi g'oyasidan va elektromagnit induksiya hodisasidan kelib chiqqan.

Shunday qilib Maksvell elektr va magnit maydonlar bir-biriga chambarchas bog'langanligini nazariy yo'l bilan asoslab berdi.

\vec{E} elektr maydon kuchlanganlik vektorining o'zgarish tezligi $\frac{\Delta E}{\Delta t}$ qancha katta bo'lsa, bu elektr maydonga bog'liq ravishda vujudga keladigan magnit maydon ham shuncha kuchli bo'ladi. Xuddi shuningdek, \vec{B} magnit maydon induksiya vektorining o'zgarish tezligi $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ qancha katta bo'lsa, magnit maydon vujudga keltiradigan elektr maydon ham shuncha kuchli bo'ladi. Amalda biz hamma vaqt shunday o'zgaruvchan magnit maydonlar bilan ish ko'ramizki, ularda faqat magnit induksiya vektorigina emas, balki uning o'zgarish tezligi ham o'zgaruvchan bo'ladi. Bunday sharoitda ham o'zgaruvchan elektr maydon paydo bo'ladi. Shularga asosan, umuman aytganda, o'zgaruvchan magnit maydon bilan to'lgan fazo ayni vaqtda o'zgaruvchan elektr maydon bilan ham to'lgan bo'ladi, degan xulosa kelib chiqadi.

Elektr maydon bilan magnit maydon o'rtasidagi o'zaro bog'lanish kashf qilingandan keyin bu maydonlar bir-biridan xoli, bir-biridan mustaqil mavjud bo'la olmasligi ayon bo'lib qoldi. O'zgaruvchan



2- rasm.

magnit maydon hosil qilinarkan, ayni bir paytda fazoda o'zgaruvchan elektr maydon hosil bo'lmay iloji yo'q va, aksincha, o'zgaruvchan magnit maydonsiz o'zgaruvchan elektr maydon mavjud bo'la olmaydi. Bu ikkala o'zgaruvchan maydon hamisha bir-biri bilan bog'langan bo'lib, ular birgalikda **elektromagnit maydonni** tashkil qiladi.

Elektromagnit maydon uyurmaviy xarakterga ega, ya'ni vujudga keltirayotgan maydonning kuch chiziqlari vujudga kelayotgan maydonning kuch chiziqlari bilan konsentrik o'rab olingan. Natijada o'zaro «o'ralgan» elektr va magnit maydonlar sistemasi hosil bo'ladi.

2- rasmdan elektromagnit maydonning xarakteri to'g'risida ma'lum tasavvur hosil qilish mumkin, bu rasmini go'yo bunday maydonning oniy surati deyish mumkin. E_0 to'g'ri chiziq birlamchi o'zgaruvchan elektr maydonni, B gorizontaal aylanalar ikkilamchi o'zgaruvchan magnit maydonni, vertikal E aylanalar esa ikkilamchi o'zgaruvchan elektr maydonni tasvirlaydi.

Elektromagnit maydon moddiydir. Elektromagnit maydonning moddiyligi shu bilan tasdiqlanadiki, unda kuchlarning ta'siri seziladi, uning o'zi bilan energiya eltishi va uzatishi kuzatiladi. Bu materiya hamma vaqt mavjud. Maksvell ta'biri bilan aytganda, nasos yordamida odatdagi moddiy materiyani (uni Maksvell «dag'al» yoki «quyultirilgan» materiya deb atagan) so'rib olib tashlansa ham, elektr yoki yorug'lik ta'sirlarini uzata olish qobiliyatiga ega «nozik» materiya qoladi. Bu shuni anglatadiki, elektromagnit maydon zaryadlar va toklar mavjud bo'lmagan joyda, masalan, vakuumda elektr va magnit maydonlarning vaqt bo'yicha o'zgarishi tufayli mavjud bo'la oladi.

2- §. Siljish toki

Elektromagnit maydonning magnit va elektr kuch chiziqlarining berkligi Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasidagi juda muhim qoidadir.

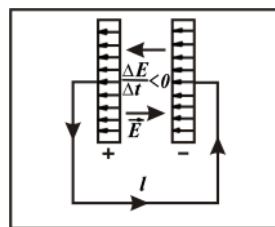
Barcha hollarda maydonning berk (uyurmali) xarakteri haqida gapirish imkoniga ega bo‘lish uchun Maksvell *siljish toki* tushunchasini kiritdi. («Siljish toki» atamasining kelib chiqish tarixi quyidagicha: XIX asr oxirlarida butun olam bo‘shlig‘ini band etgan va hamma jismlardan o‘ta oladigan alohida bir muhit — elastik muhit mavjud, deb faraz qilingan va bu muhitni «efir» deb atalgan. Maydonlar, xususan, elektr maydon «efir» zarralarini muvozanat vaziyatlaridan siljitadi, degan fikr fanda keng tarqalgan edi. Shuning uchun kondensator qoplamalari orasida «siljish toki» oqadi, deb hisoblangan. Hozirgi vaqtda bu tasavvur fanda butunlay o‘z aksini yo‘qotgan bo‘lsa ham, «siljish toki» atamasi saqlanib qolgan, lekin uning ma‘nosi o‘zgacha).

O‘zgaruvchan elektr maydonni Maksvell *siljish toki* deb atagan. Bu maydonning tok deb atalishiga sabab shuki, bu maydon xuddi odatdagi tok singari magnit maydon hosil qiladi.

Siljish toki tushunchasi kiritilgandan keyin har qanday elektr tokini berk tok deb qarash mumkin bo‘ladi. Masalan, tebranish konturida g‘altakdagi o‘tkazuvchanlik toki (elektronlarning tartibli harakati) kondensator qoplamalari orasidagi siljish toki (vaqtga bog‘liq holda o‘zgaruvchi elektr maydon) bilan almashinadi. Bunda o‘zgaruvchan elektr maydon kondensator qoplamalari orasida g‘altakdagi tokka teng o‘tkazuvchanlik toki o‘tayotganida qanday magnit maydon yuzaga kelsa, xuddi shunday magnit maydon hosil qiladi. 3- rasmda kondensator razryadlanayotgan hol ko‘rsatilgan. Kondensator razryadlangan vaqtda uning plastinkalari orasidagi elektr maydon kamaya borganligi uchun $\frac{\Delta E}{\Delta t}$ kattalik manfiy bo‘ladi va uning yo‘nalishi maydon kuchlanganligi vektori \vec{E} ning yo‘nalishiga qarama-qarshi yo‘naladi.

Shunga ko‘ra siljish tokining yo‘nalishi o‘tkazuvchanlik tokining yo‘nalishiga mos keladi, ya‘ni konturdagi o‘tkazuvchanlik tokini kondensator plastinkalari orasida siljish toki tutashtiradi, degan xulosaga kelamiz.

Siljish toki magnit maydon hosil qilish qobiliyati jihatidagina o‘tkazuvchanlik tokiga ekvivalentdir. Qolgan hamma xususiyatlari jihatidan siljish toki o‘tkazuvchanlik tokiga o‘xshamaydi. Jumladan, siljish toki o‘tkazgichdan o‘tgan vaqtda Joule — Lens issiqligi hosil bo‘lmaydi.



3- rasm.

Maksvell o'tkazuvchanlik toki va siljish toki tushunchasi bilan bir qatorda to'liq tok tushunchasini ham kiritgan. To'liq tokning zichligi \vec{i} deb o'tkazuvchanlik toki $\vec{i}_{o'tk}$ bilan siljish toki \vec{i}_s zichliklarining geometrik yig'indisi qabul qilinadi:

$$\vec{i} = \vec{i}_{o'tk} + \vec{i}_s. \quad (1)$$

To'liq tok doimo berk ekanligini quyidagi mulohazalardan kelib chiqib ko'rsatish mumkin: kondensatorning qoplamlarini birlashtiruvchi o'tkazgichda oqayotgan to'liq tokni o'tkazuvchanlik tokiga teng deb, qoplamlar orasida to'liq tokni siljish tokiga teng deb hisoblash mumkin. U holda qoplamlarning sirtida siljish toki bilan o'tkazuvchanlik tokining zichliklari bir xil bo'lganligi va bir tomonga yo'nalganligi uchun sirtlarda to'liq tok o'zgarmaydi hamda zanjir bo'ylab tok berk bo'ladi (3- rasmga qarang).

3- §. Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasi haqida tushuncha

Siljish tokining kashf qilinishi Maksvellga elektr va magnit hodisalarning yagona nazariyasini yaratish imkonini berdi. 1873- yilda Maksvellning «Elektr va magnetizm bo'yicha traktat» nomli mashhur asari nashr etildi. Ushbu asarda ***Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasi*** bayon etilgan bo'lib, unda elektromagnit maydonlarni aniq hisoblash uchun uning nomi bilan ***Maksvell tenglamalari*** deb ataladigan tenglamalar ishlab chiqilgan. Mexanikada Nyuton qonunlari, termodinamikada asosiy (bosh) qonunlar qanday rol o'ynasa, elektromagnetizmni o'rganishda Maksvell tenglamalari ham shunday rol o'ynaydi. Binobarin, Maksvell tenglamalari yuqorida qayd etilgan qonunlar kabi tabiat qonunlaridir.

Maksvell tenglamalari, asosan, to'rta bo'lib, ular integral va differensial ko'rinishlarda ifodalanadi. Shuni aytish lozimki, Maksvell tenglamalarining matematik shakli uni tushunib olish uchun katta tayyorgarlik ko'rishni talab etadi va tenglamaga jo qilingan g'oyalarning butun chuqurligi va jozibasini ko'rsatishga imkon bermaydi.

Odatda oliy ta'lim uchun darsliklarda keltiriladigan Maksvell tenglamalarining to'rttasidan akademik litsey (yoki o'rta maktab) fizikasiga bevosita aloqador bo'lgan faqat ikkitasi ustida to'xtalib o'tamiz. Maksvellning bu ikki tenglamasining fizik mohiyatini elektromagnit maydon nazariya asosida yotgan ikkita g'oyaga tayanib, quyidagicha sodda ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$\vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt}; \quad (2)$$

$$\vec{H} \cdot d\vec{l} = -\frac{dN}{dt}. \quad (3)$$

Tenglamalarning simmetrik xarakteri ko‘zga tashlanadi. (2) tenglama $d\vec{l}$ qismda \vec{E} elektr maydon kuchlanganligining Φ magnit induksiya oqimining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi bilan aloqasini o‘rnatadi. (3) tenglama esa $d\vec{l}$ qismda \vec{H} magnit maydon kuchlanganligining N elektr induksiya oqimining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi bilan aloqasini o‘rnatadi.

Ma’lumki, ixtiyoriy S yuza orqali o‘tuvchi Φ magnit induksiya oqimi \vec{B} magnit induksiya vektori bilan quyidagi formula orqali bog‘langan (2- kitob, 77- § ga qarang):

$$\Phi = \int_s B_n \cdot dS, \quad (4)$$

bunda: B_n kattalik \vec{B} ning normal tashkil etuvchisi. Xuddi shuningdek, ixtiyoriy S yuza orqali o‘tuvchi N elektr induksiya oqimi \vec{D} elektr induksiya vektori bilan quyidagi formula orqali bog‘langan (2- kitob, 5- § ga qarang):

$$N = \int_s D_n \cdot dS. \quad (5)$$

Bunda: D_n kattalik \vec{D} ning normal tashkil etuvchisi. Shuningdek, \vec{B} bilan \vec{H} vektorlari o‘zaro

$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H} \quad (6)$$

va \vec{D} bilan \vec{E} vektorlari o‘zaro

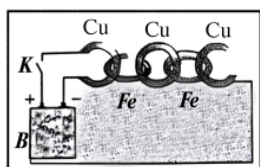
$$\vec{D} = \epsilon\epsilon_0 \vec{E} \quad (7)$$

formulalar orqali bog‘lanishda ekanligini eslatib o‘tamiz, bunda: μ — muhitning magnit singdiruvchanligi, ϵ — dielektrik kirituvchanligi, ϵ_0 va μ_0 lar* mos ravishda elektr va magnit doimiylari.

(2) – (5) formulalarda magnit maydonning o‘zgarishi o‘zgaruvchan elektr maydonni, elektr maydonning o‘zgarishi o‘zgaruvchan magnit maydonni vujudga keltirishi aks etganligi ko‘rinib turibdi.

Maksvell tenglamalarining yanada yaqqolroq manzarasini ingliz

* ϵ_0, μ_0 lar 2- kitobdan ma’lum.



4- rasm.

fizigi Bregg «Bregg zanjiri» nomi bilan mashhur bo'lgan faraziy model ko'rinishida taklif etdi. Navbatma-navbat almashinib keluvchi Cu mis va Fe temir halqalardan yasalgan zanjirni ko'z oldimizga keltiraylik (4- rasm).

K kalitni bir onga ulab, *B* batareyadan birinchi Cu mis halqaga tok yuboramiz. Keyingi Fe temirdan yasalgan halqa magnitlanadi. Unda magnit maydonning vujudga kelishi uchinchi Cu mis halqada induksion tokning paydo bo'lishiga sabab bo'ladi. Bu tok, o'z navbatida, to'rtinchi Fe temir halqada magnit maydon bo'lishiga sabab bo'ladi va hokazo.

Maksvell tenglamalarining ahamiyati shundaki, unda elektr va magnit maydonlarning barcha qonunlari, shuningdek, elektromagnit induksiya hodisasi mujassamlangan. Maksvell tenglamalari u yaratilgan vaqtgacha ma'lum bo'lgan barcha hodisalarni to'g'ri tushuntiribgina qolmay, balki yana yangi va muhim hodisalarni bashorat qiladi. Jumladan:

1) siljish toklarining magnit maydoni haqidagi Maksvell gipotezasi bu nazariyadagi mutlaqo yangilik edi;

2) shu gipoteza asosida Maksvell elektromagnit o'zaro ta'sirlarning chekli tezlik bilan tarqalishi, ya'ni yaqindan ta'sir etish g'oyasini ilgari surdi.

Uzoqdan ta'sir etish nazariyasiga muvofiq, biror elektr zaryad joyidan siljisa, qo'shni zaryadga ta'sir etuvchi Kulon kuchi darhol o'zgaradi. Ta'sir bir onda uzatiladi, chunki bu nazariyaga muvofiq bir zaryad ikkinchi zaryadning borligini bo'shliq orqali «sezadi».

Yaqindan ta'sir etish nazariyasiga muvofiq esa ahvol butunlay boshqacha va ancha murakkab. Bunda zaryadning siljishi natijasida uning yaqin atrofidagi elektr maydon o'zgaradi. Bu o'zgaruvchan elektr maydon fazoning qo'shni sohalarida o'zgaruvchan magnit maydon hosil qiladi. O'zgaruvchan magnit maydon, o'z navbatida, o'zgaruvchan elektr maydonni yuzaga keltiradi va hokazo (2- rasmga qarang). Demak, elektr zaryadning siljishi fazoda tarqaluvchan elektromagnit maydonni, ya'ni elektromagnit to'lqinlarni vujudga keltiradi. Elektromagnit to'lqinlarning tarqalish jarayoni chekli, lekin juda katta tezlik bilan ro'y beradi. Shunday qilib, Maksvell elektromagnit to'lqinlarning mavjudligini oldindan aytib berdi;

3) elektromagnit maydonning tarqalish tezligi yorug'likning bo'shliqdagi tezligiga teng ekanligini Maksvell sof matematik yo'l

bilan ko'rsatib, yorug'lik elektromagnit to'lqinlardan iborat, degan xulosaga keladi va yorug'likning elektromagnit nazariyasini yaratishga muvaffaq bo'ldi. Keyinchalik elektromagnit to'lqinlar tajribada olindi, yanada keyinroq esa ko'pgina tajriba va hodisalar asosida yorug'likning elektromagnit nazariyasi hamda u bilan birga Maksvellning butun nazariyasi o'zining to'liq va muvaffaqiyatli tasdig'ini topdi.

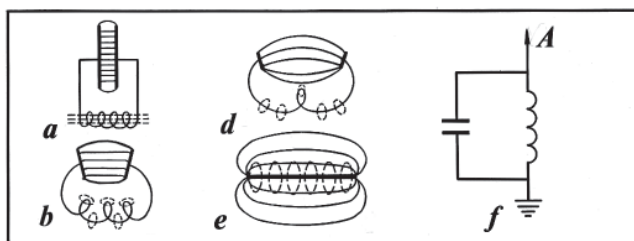
Maksvellning xulosalari fizikaviy dunyoqarashning rivojlanishi uchun katta ahamiyatga ega bo'ldi. *Birinchi marta* matematik tenglamalar yordamida fizik jismlardan farq qiluvchi fizik obyekt – elektromagnit maydon tavsiflandi. *Birinchi marta* yorug'likka elektromagnit to'lqin sifatida qaraldi. *Birinchi marta* o'z kelib chiqishlari bilan turlicha bo'lgan elektr, magnit va optik hodisalarni atigi to'rttagina tenglama yordamida tavsiflashga muvaffaq bo'lindi. *Birinchi marta* yaqindan o'zaro ta'sir g'oyasi shunday ishonchli asosga ega bo'ldi.

4- §. Elektromagnit to'lqinlar. Gers tajribalari

Biz avvalgi paragrafdagi o'zgaruvchan elektr maydon o'zgaruvchan magnit maydonni yuzaga keltirishi va bu o'zgaruvchan magnit maydon, o'z navbatida, o'zgaruvchan elektr maydonni yuzaga keltirishi haqida fikr yuritgan edik. Demak, zaryadlar yordamida o'zgaruvchan elektr yoki magnit maydon uyg'otilsa, atrof fazoda nuqtadan nuqtaga tarqaluvchi elektr va magnit maydonlarning ketma-ket o'zaro almashinuvi sodir bo'ladi. Bu jarayon fazoda ham vaqt bo'yicha davriy ravishda tarqalganligidan **to'lqin** deb ataladi. *Davriy ravishda o'zgaradigan elektromagnit maydonning fazoda tarqalish jarayoni **elektromagnit to'lqin** deyiladi.*

Maksvell o'z nazariyasida elektromagnit to'lqinlarning mavjudligini oldindan aytibgina qolmay, balki u bu to'lqinlarni tajribada oshkor qilish sharoitlari haqida ham to'xtalgan. Buning uchun yetarlicha yuqori chastotali elektr tebranishlardan va ochiq tebranish konturidan foydalanish zarurligini ko'rsatib o'tgan.

Haqiqatan ham tebranish konturi o'zini qurshagan fazoga juda kichik miqdordagi energiyaga ega bo'lgan elektromagnit to'lqinlar tarqatadi, chunki bunday konturdagi elektr maydon kondensator qoplamalari oraliqida, magnit maydon esa g'altak ichida to'planadi. Kondensator va g'altakni o'rab turgan fazoda maydon amalda nolga teng. Bunday kontur **berk tebranish konturi** deb ataladi (5- a rasm).

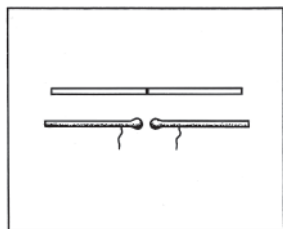


5- rasm.

To‘lqinlarning tarqalishi sezilarli bo‘lishi uchun atrof fazodan elektromagnit maydon hosil bo‘ladigan sohalarni ajratish kerak. Bunga erishish uchun kondensator qoplamalari orasidagi va g‘altak o‘ramlari orasidagi masofani uzaytirish lozim (5- *b*, *d* rasmlar). Ravshanki, bunday konturning sig‘imi va induktivligi keskin kamayadi, bu esa yana ham qulaylik yaratadi, chunki bunday hol chastotaning ortishiga olib keladi. Demak, to‘lqin uzunligi kamayadi. Chastotani yanada oshirish uchun g‘altak o‘rniga o‘ramsiz to‘g‘ri o‘tkazgich olish kerak. To‘g‘ri o‘tkazgichning induktivligi g‘altak induktivligiga qaraganda ancha kichik. Kondensator qoplamalarini bir-biridan uzoqlashtira borib, ayni bir vaqtda ularning o‘lchamlarini kichraytirsak, ochiq tebranish konturi hosil bo‘ladi. Bunday kontur to‘g‘ri o‘tkazgichdan iborat (5- *e* rasm).

Berk konturda kondensator qoplamalarini siljitmasdan, konturning bir tomonini yerga, ikkinchi tomonini bir uchi bo‘sh bo‘lgan vertikal simga ulaymiz. U vaqtda o‘zgaruvchan elektromagnit maydon bu sim bilan yer orasida katta fazoni egallaydi, bu bilan to‘lqinni nurlatish quvvati keskin ortadi (5- *f* rasm). Elektromagnit to‘lqinlar nurlatish quvvatini orttirish maqsadida tebranish konturiga ulanuvchi qurilma **antenna** deb ataladi. Antennani 1895- yilda A.S. Popov ixtiro qilgan.

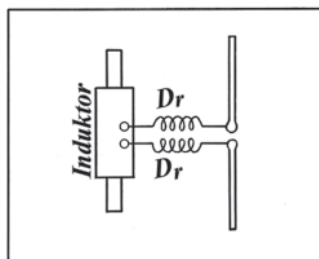
Ochiq tebranish konturida elektromagnit tebranishlar uyg‘otish uchun o‘tkazgich (metall sterjen)ning o‘rtasidan qirqib, havo oralig‘i hosil qilish kerak. Bu oraliq **uchqun oraliq** deb ataladi (6- rasm). Sig‘imni orttirish uchun tebranish konturini hosil qiluvchi sterjenlarning uch- qun oraliq tomonidagi uchlarini yo‘g‘onlashtirib sfera shaklida yasash mumkin. Shunday sodda qurilmadan foydalanib, 1888- yilda nemis fizigi Gers dunyoda birinchi bo‘lib elektromagnit



6- rasm.

to'liqlarni hosil qildi va bu qurilma uning sharafiga **Gers vibrator** deb ataldi.

Shuni aytib o'tish lozimki, Maksvell elektromagnit to'liqlarning real mavjudligiga juda qattiq ishonar edi. Lekin bu to'liqlarning borligi Maksvellning vafotidan qariyb 10 yil keyingina Gers tomonidan tajribada tasdiqlandi.

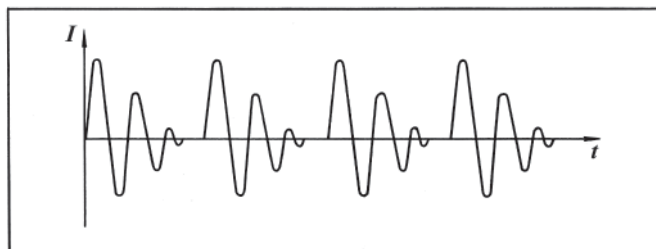


7- rasm.

Elektromagnit tebranishlarni uyg'otish uchun vibrator induktorga ulanadi (7- rasm) va ikkala o'tkazgich yuqori potentsiallar farqi hosil bo'lguncha zaryadlanadi. Potentsiallar farqi ma'lum bir qiymatga erishgach, vibratorning har ikkala yarmini tutashtiruvchi uchqun hosil bo'ladi. Natijada uchqun o'chguncha davom etadigan erkin so'nuvchi tebranishlar yuzaga keladi. Tebranishlarda hosil bo'ladigan yuqori chastotali tokni induktor chulg'amiga o'tkazmaslik uchun vibrator bilan induktor orasiga D_r drossel, ya'ni katta induktivlikka ega bo'lgan g'altak ulangan. Uchqun o'chgandan so'ng vibrator induktordan yana zaryad oladi va jarayon yangidan qaytariladi.

Gers vibratorining kamchiligi shundaki, induktordan vibratorga energiya uzatish chastotasi vibratorning xususiy tebranishlar chastotasidan ancha kam. Shuning uchun Gers vibratorining elektromagnit tebranishlari bir-biridan bir oz kechikib keluvchi so'nuvchi tebranishlar seriyasidan iborat bo'ladi (8- rasm).

So'nmaydigan tebranishlar hosil qilish uchun energiyani konturning xususiy tebranishlar chastotasiga teng chastota bilan avtomatik berib turish, ya'ni avtotebranishlar sistemasini hosil qilish zarur. Elektron lampa – (triod)dan foydalanib, bunday avtotebranish konturi hosil qilish mumkin bo'ladi.



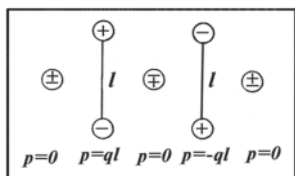
8- rasm.

Gers o'z tajribalarida elektromagnit tebranishlar chastotasini 10^8 Hz tartibgacha yetkazdi va uzunligi 10 m dan 0,6 m gacha bo'lgan to'lqinlar oldi. 1895- yilda P.N. Lebedev juda kichik vibrator ishlatib to'lqin uzunligi 6 mm ga teng bo'lgan elektromagnit to'lqinlar hosil qildi. Yana ham qisqaroq (uzunligi 0,1 mm ga yaqin) to'lqinlarni 1923- yilda A.A. Glagoleva-Arkadeva yalpi tarqatkich deb ataladigan tarqatkich yordamida hosil qildi.

5- §. Yassi elektromagnit to'lqin. To'lqin tenglamasi

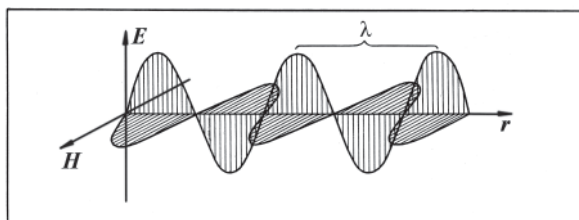
Elektromagnit to'lqinlarning manbalari turli-tuman o'zgaruvchan toklar, jumladan, o'tkazgichlardagi o'zgaruvchan tok, ionlar, elektronlar va boshqa zaryadli zarralarning tebranma harakatlari bo'lishi mumkin. O'zgaruvchan tokka ekvivalent eng sodda sistema p momenti garmonik o'zgaruvchan bo'lgan elektr dipoldir. Dastlabki payt ($T=0$) da bunday dipolning $+q$ va $-q$ zaryadlarining markazlari bir-birining ustiga tushadi va shuning uchun dipol momenti $p=0$ bo'ladi (9- rasm). Chorak davr ($\frac{1}{4}T$) dan so'ng zaryadlar bir-biridan maksimal l masofaga siljiydi va dipolning momenti $p=ql$ maksimal qiymatiga erishadi. Yarim davr ($\frac{1}{2}T$) dan so'ng zaryadlar bir-biriga yaqinlashadi va bunda $p=0$ bo'ladi. So'ngra davrning to'rtinchi qismi ($\frac{3}{4}T$) o'tgach, zaryadlar bir-biridan qarama-qarshi tomonga l masofaga siljiydi, natijada dipol momenti yana maksimal qiymati ($p=-ql$) ga erishadi, lekin endi uning yo'nalishi qarama-qarshi bo'ladi. Va, nihoyat, bir davr (T) vaqt o'tganda zaryadlar yana bir-biriga yaqinlashadi, dipol momenti $p=0$ bo'ladi. Shu tarzda bu jarayon davriy takrorlanaveradi. Shunday qilib, dipol momentining tebranishi tufayli o'zgaruvchan elektromagnit maydon hosil bo'ladi va atrof fazoga elektromagnit to'lqin tarqaladi.

Nurlatkichdan tarqalayotgan elektromagnit maydon Maksvell nazariyasidan kelib chiqadigan va juda ko'p tajribalardan olingan natijalar asosida aniqlangan quyidagi xususiyatlarga ega:



9- rasm.

1. \vec{E} elektr maydon kuchlanganlik vektori elektromagnit to'lqinlar tarqalishi yo'nalishiga perpendikulyar tekislikda tebranadi.



10- rasm.

2. \vec{H} magnit maydon kuchlanganlik vektori elektromagnit to'liqlar tarqalishi yo'nalishiga perpendikulyar tekislikda tebranadi.

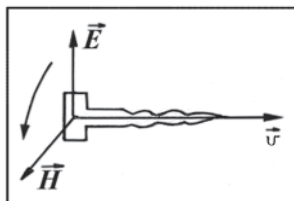
3. \vec{E} va \vec{H} vektorlar o'zaro perpendikulyar bo'lib, ularning tebranishlari hamma vaqt bir xil fazada sodir bo'ladi. Demak, elektromagnit to'liqni shunday ikki o'zaro perpendikulyar tekisliklarda yotuvchi sinusoidal shaklida (10- rasm) tasvirlash mumkinki, bunda to'liq shu ikki tekislik kesishishi natijasida hosil bo'lgan chiziq bo'ylab tarqaladi.

Sinusoidalardan biri \vec{E} vektorining, ikkinchisi esa \vec{H} vektorining tebranishlarini ifodalaydi.

Shunday qilib, elektromagnit to'liq ko'ndalang bo'lib, unda \vec{E} , \vec{H} va to'liqning tarqalish tezligi \vec{v} vektorlar o'zaro perpendikulyar ekan. Ularning bir-biriga nisbatan joylashuvi o'ng vint sistemasini hosil qiladi: agar vint dastasini \vec{E} vektorining uchidan \vec{H} vektori uchi tomon eng qisqa yo'l bo'yicha (90° li kichik burchak ostida) buralganda vintning ilgarilanma harakati yo'nalishi \vec{v} vektor yo'nalishi bilan mos tushishi kerak (11- rasm).

Agar elektromagnit to'liqning \vec{E} va \vec{H} vektorlarining to'g'ri burchakli koordinatalar sistemasi o'qlaridagi proyeksiyalari to'liq chastotasi deb ataladigan chastota bilan bir xil chastotada garmonik tebransa, bunday to'liq **monoxromatik elektromagnit to'liq** deb ataladi.

Sinusoidal to'liq monoxromatik to'liq bo'ladi. ω siklik chastota bilan sinusoidal tebranayotgan to'liqni manbadan yetarlicha uzoq masofada *yassi to'liq* deb hisoblash mumkin. X o'qi bo'yicha tarqalayotgan yassi elektromagnit to'liq tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:



11- rasm.

$$E = E_0 \sin(\omega t \pm kx + \alpha_0); \quad (8)$$

$$H = H_0 \sin(\omega t \pm kx + \alpha_0), \quad (9)$$

bunda: E , H va E_0 , H_0 — mos ravishda \vec{E} va \vec{H} vektorlarining oniy va amplituda qiymatlari, k — to‘lqin son deb ataladigan kattalik, α_0 — koordinatasi $x=0$ bo‘lgan nuqtadagi tebranishlarning boshlang‘ich fazasi. (8) va (9) formulalarda boshlang‘ich fazalar bir xil, chunki elektromagnit to‘lqinda \vec{E} va \vec{H} vektorlar bir xil fazada tebranadi. Xususiyl holda boshlang‘ich faza $\alpha_0 = 0$ bo‘lishi mumkin. U holda yassi elektromagnit to‘lqin tenglamasi quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi:

$$E = E_0 \sin(\omega t \pm kx), \quad H = H_0 \sin(\omega t \pm kx). \quad (10)$$

Bu formulalar, agar qavsda kx oldida «minus» ishora turgan bo‘lsa, x o‘qi bo‘ylab uning musbat qiymatlari yo‘nalishida tarqalayotgan yassi elektromagnit to‘lqin, agar qavsda kx oldida «plyus» ishora turgan bo‘lsa, x o‘qi bo‘ylab uning manfiy qiymatlari yo‘nalishida tarqalayotgan yassi elektromagnit to‘lqin tenglamasini beradi.

Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasidan kelib chiqadiki, \vec{E} va \vec{H} vektorlarining modullari o‘zaro quyidagi munosabat orqali bog‘langan:

$$\sqrt{\epsilon \epsilon_0} E = \sqrt{\mu \mu_0} H, \quad (11)$$

bunda: ϵ_0 va μ_0 — mos ravishda elektr va magnit doimiylari; ϵ — elektromagnit to‘lqin tarqalayotgan muhitning dielektrik kirituvchanligi; μ — shu muhitning magnit singdiruvchanligi.

6- §. Elektromagnit to‘lqin tezligi. Elektromagnit to‘lqin uzunligi

Maksvell nazariyasiga asosan, elektromagnit to‘lqinlarning tarqalish tezligi chekli qiymatga ega bo‘lib, u to‘lqin tarqalayotgan muhitning elektr va magnit xususiyatlariga bog‘liq. Maksvell tenglamalari yechimidan elektromagnit to‘lqinlarning tarqalish tezligi uchun quyidagi munosabat kelib chiqadi:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0 \cdot \epsilon \mu}}. \quad (12)$$

Agar elektromagnit to‘lqinlar vakuumda tarqalayotgan bo‘lsa, u holda $\epsilon=1$ va $\mu=1$ bo‘ladi. Binobarin, elektromagnit to‘lqinlarning vakuumda tarqalish tezligi quyidagi munosabat bilan ifodalanadi:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}. \quad (13)$$

(12) formulani e‘tiborga olinsa, u holda:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}} \quad (14)$$

bo‘ladi. Demak, elektromagnit to‘lqinlarning muhitda tarqalish tezligi vakuumdagi tezligidan $\sqrt{\epsilon \mu}$ marta kichik ekan.

(13) formulaga ϵ_0 elektr va μ_0 magnit doimiylarning son qiymatlarini qo‘yib, c tezlikni hisoblaylik:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Elektromagnit to‘lqinlarning vakuumda tarqalish tezligining bu qiymati yorug‘likning vakuumda tarqalish tezligiga teng bo‘lib chiqdi va u yorug‘lik tezligining eksperimental o‘lchangan qiymati ($c \approx 300000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$) bilan mos tushadi. Bu holat Maksvellni *yorug‘lik elektromagnit to‘lqinlardan iborat*, degan xulosaga olib keldi.

Elektromagnit to‘lqinlar ham barcha to‘lqin jarayonlar kabi T — tebranishlar davri; ω — tebranishlarning siklik chastotasi; ν — tebranishlar chastotasi; λ — to‘lqin uzunligi kabi parametrlar bilan xarakterlanadi.

Elektromagnit to‘lqinning bir tebranish davriga teng vaqt davomida ko‘chish masofasiga to‘lqin uzunligi deyiladi, yoki elektromagnit to‘lqinda bir xil fazada tebranayotgan bir-biriga eng yaqin nuqtalar orasidagi masofa to‘lqin uzunligi deyiladi (10- rasmga qarang). (Bu nuqtalarning tebranish fazalari 2π ga farq qilishi ravshan).

Shunday qilib, agar bir jinsli muhitda to‘lqinning tarqalish tezligi v bo‘lsa, tebranish davri, chastotasi, to‘lqin uzunligi bilan tezlik orasida quyidagicha munosabat bor:

$$\lambda = vT, \quad \lambda = \frac{v}{\nu}. \quad (15)$$

Vakuumda:

$$\lambda_o = cT = \frac{c}{\nu} \quad (16)$$

bo'ladi, bunda: λ_o — vakuumdagi to'liqin uzunligi. To'liqinning tarqalish tezligi muhitni xarakterlovchi elektr va magnit kattaliklar ϵ va μ ga bog'liq (14 formulaga qarang) bo'lgani uchun to'liqin bir muhitdan ikkinchi muhitga o'tganda tezlik va to'liqin uzunligi o'zgaradi, chastota o'zgarmaydi, chunki to'liqin chastotasi nurlatkich chastotasi bilan birday bo'ladi. Binobarin, agar to'liqin vakuumdan muhitga (yoki, aksincha) o'tsa, u holda (14), (15) va (16) ifodalarga asosan quyidagi formula hosil bo'ladi:

$$\lambda = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon\mu}}. \quad (17)$$

Demak, muhitda elektromagnit to'liqin uzunligi vakuumdagidan $\sqrt{\epsilon\mu}$ marta kam bo'ladi.

Tebranshlarining siklik chastotasi $\omega=2\pi\nu$ va (9) formulani e'tiborga olib, to'liqin son $k = \frac{\omega}{v}$ ni ko'rib chiqaylik [(8) va (9) formulalarga qarang]:

$$k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi\nu}{v} = \frac{2\pi}{vT} = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (18)$$

Demak, (18) formuladan ko'rinadiki, *to'liqin son deb ataladigan kattalik son jihatdan 2π ga teng masofaga nechta to'liqin uzunligi joylashishi mumkinligini ko'rsatar ekan.*

(18) formuladan foydalanib, yassi elektromagnit to'liqin tenglamasi (10) ni yana quyidagi ko'rinishlarda ifodalash mumkin:

$$E = E_o \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda}\right) \quad \text{va} \quad H = H_o \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda}\right) \quad (19)$$

yoki:

$$E = E_o \sin \omega\left(t \pm \frac{x}{v}\right) \quad \text{va} \quad H = H_o \sin \omega\left(t \pm \frac{x}{v}\right). \quad (20)$$

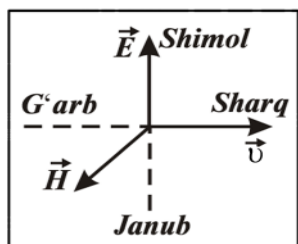
Takrorlash uchun savollar

1. *Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasi asosida qanday g'oyalar yotadi?*
2. *Elektromagnit maydon deganda nimani tushunasiz? Uning uyurmaviy xarakterini grafikda tasvirlang.*
3. *Siljish toki nima? Uning odatdagi tokdan farqi nimada?*

4. To'liq tok zichligi ifodasini yozing va tushuntiring.
5. Maksvell tenglamalari integral ko'rishda qanday yoziladi? Fizik mazmunini tushuntiring.
6. Makvell tenglamalari dijjensial ko'rinishda qanday ifodalanad? Bu ifodalar qanday fizik kattaliklarni bir-biri bilan bog'laydi?
7. «Bregg zanjiri» yordamida Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasi qanday tushuntiriladi?
8. Maksvell elektromagnit nazariyasining ahamiyati nimalardan iborat?
9. Elektromagnit to'lqin deb nimaga aytiladi?
10. Qanday konturni ochiq tebranish konturi deb ataladi?
11. Antenna nima? Uni kim ixtiro qilgan?
12. Gers vibrator nima? Undan qanday maqsadlarda foydalaniladi?
13. Gers tajribalarini tushuntiring.
14. Nima uchun Gers vibratorining elektromagnit tebranishlari so'nuvchi tebranishlar bo'ladi? So'nmas tebranishlarni hosil qilish uchun nima qilish kerak?
15. Dipol momenti garmonik o'zgaruvchan bo'lgan elektr dipoli elektromagnit to'lqinlarning manbasi bo'la olishini tushuntiring.
16. Nurlatkichdan tarqalayotgan elektromagnit maydonning Maksvell nazariyasidan kelib chiqadigan va ko'p tajribalarda isbotlangan qanday xususiyatlarini bilasiz?
17. Elektromagnit to'lqinda \vec{E} , \vec{H} va \vec{v} vektorlar bir-biriga nisbatan qanday joylashgan? Ularning o'zaro joylashuvi qanday aniqlanadi?
18. Monoxromatik to'lqin deganda qanday to'lqinni tushunasiz?
19. Yassi elektromagnit to'lqin tenglamasini yozing va tushuntiring.
20. To'lqin soni nimani anglatadi?
21. Elektromagnit to'lqinda \vec{E} va \vec{H} vektorlar bir xil fazada tebranadi, deganda siz nimani tushunasiz?
22. \vec{E} va \vec{H} vektorlarining modullari o'zaro qanday bog'langan?
23. Elektromagnit to'lqin tezligi ifodasini yozing va qanday kattaliklarga bog'liq ekanligini tushuntiring.
24. Elektromagnit to'lqin uzunligi, tebranishlar chastotasi va davri orasidagi bog'lanishlarni ifodalovchi formulalarni yozing.
25. Nima uchun elektromagnit to'lqin bir muhitdan ikkinchi muhitga o'tganda uning tezligi va to'lqin uzunligi o'zgaradi, chastotasi esa o'zgarmaydi?
26. Elektromagnit to'lqinning vakuumdagi to'lqin uzunligidan muhitdagi to'lqin uzunligi qanday kattalikka farq qiladi?

Masala yechish namunalari

1- masala. Televizorning qabul qiluvchi antennasi shimol-janub yo'nalishda gorizontallari oriyentatsiyalangan. Televizion markazdan



12- rasm.

kelayotgan magnit induksiya vektorining tebranishlari qanday orientatsiyalangan va televizion markaz antennaga nisbatan qanday yo'nalishda joylashgan?

Yechilishi. Televizioning qabul qiluvchi antenasi shunday orientatsiyalanganiki, bunda qabul qilinayotgan elektromagnit to'liqning elektr maydon kuchlanganlik vektorining tebranishlari yo'nalishi anten-

na uzunasi bilan mos tushadi. Binobarin, bu holda \vec{E} vektori tebranishlari shimol-janub yo'nalishida sodir bo'ladi. Elektromagnit to'liqida $\vec{E} \perp \vec{H} \perp \vec{v}$. Demak, magnit induksiya vektorining tebranishlari vertikal tekislikda sodir bo'ladi. Televizion markaz esa antennaga nisbatan sharq yoki g'arb tomonda joylashgan bo'ladi (12- rasm).

2- masala. Dielektrik kirituvchanligi 2 ga, magnit singdiruvchanligi taxminan 1 ga teng bir jinsli va izotrop muhitda elektromagnit to'liqin X yo'nalishda tarqalmoqda. To'liqinda magnit maydon kuchlanganlik vektorining tebranishlari:

$$H = 0,12 \sin(\omega t - kx) \frac{\text{mA}}{\text{m}}$$

sinusoidal qonun bo'yicha sodir bo'lsa, elektr maydon kuchlanganlik vektorining tebranishlari qanday qonun bo'yicha sodir bo'ladi? To'liqinning shu muhitda tarqalish tezligini toping.

Berilgan: $H = 0,12 \sin(\omega t - kx) \frac{\text{mA}}{\text{m}}$; bundan:

$$H_o = 0,12 \frac{\text{mA}}{\text{m}} = 0,12 \cdot 10^{-3} \frac{\text{A}}{\text{m}};$$

$$\epsilon = 2; \mu = 1; \epsilon_o = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}; \mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}; c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Topish kerak: $E - ?$ $v - ?$

Yechilishi. Elektromagnit to'liqinda elektr va magnit maydon kuchlanganliklari bir xil qonuniyat bo'yicha va bir xil fazada tebranadi. Shuning uchun quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$E = E_o \sin(\omega t - kx). \quad (21)$$

Bunda: E_o — elektr maydon kuchlanganligining amplitudasi, uning kattaligini E_o va H_o larni o'zaro bog'lovchi $\sqrt{\epsilon\epsilon_o} E_o = \sqrt{\mu\mu_o} H_o$ ifodadan topamiz: