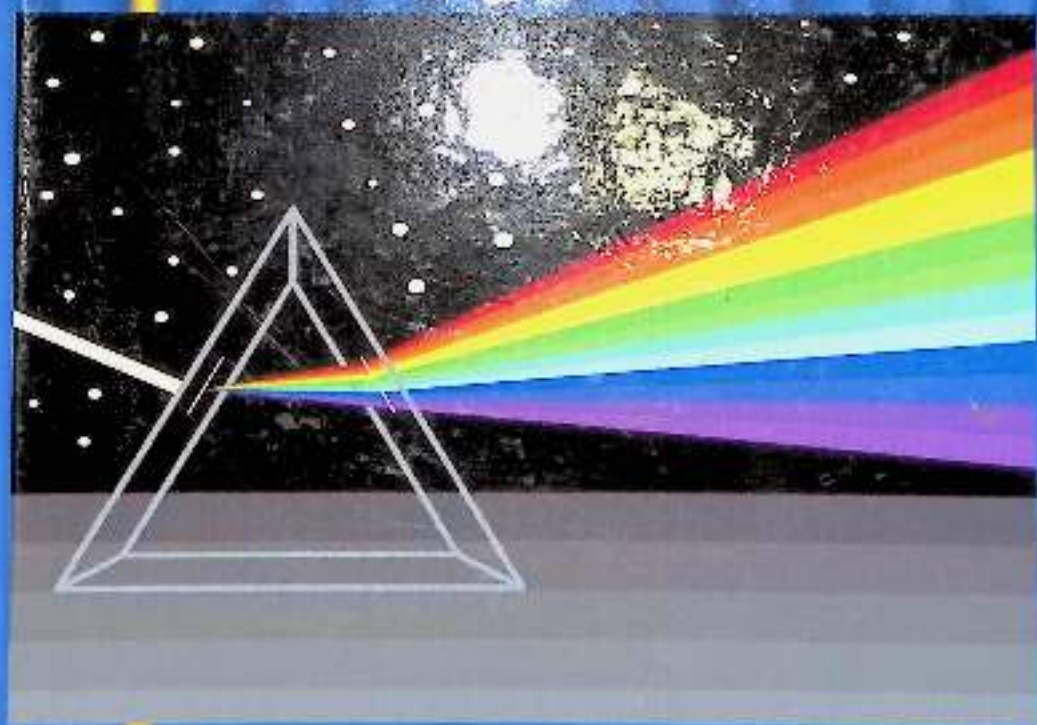


535
2-45

ZAXIDOVA M.A. RASULOVA M.E.

OPTIKA



535
2-45

MIRZO ULUGBEK NOMIDAGY O'ZBEKISTON
MILLIY UNIVERSITETI

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI MILLIY G'VARDIYASI
HARBIY-TEXNIK INSTITUTI

ZAXIBOVA MAVLUDA ABDUKARIMOVNA
RASULOVA MUXARRAM ERKINGONOVNA

OPTIKA

O'QUV QO'LLANMA

Ikkinchi nashr

Toshkent
"Innovatsiya-Ziyo"
2022

UDK: 517.1
KKB: 22.3 R-24
B 54

535.1:537(075.8)

Zaxidova M.A., Rasulova M.E.
Optika / O'quv qo'llanma/. - Toshkent: "Innovatsiya-Ziyo", 2022.
228 b.

Ushbu o'quv qo'llanma, harbiy-texnik mutaxassisligi bo'yicha ta'lim olayotgan kursantlarga va universitetning ta'lim jarayonining moduli-kredit tizimiga o'tishda talabalarni mustaqil ta'lim olish loyiqasini shakllantirish va fizika fanini chuqurroq o'rganishi uchun mo'ljallangan. O'quv qo'llanma umumiy fizika kursining elektromagnit to'lqinlar va optika bo'limiga oid nazariy o'quv dasturini to'liqlaydigan bo'ladi.

Quyda nashr qilinayotgan bu qo'llanma optika bo'limiga doir asosiy fizikaviy jarayonlar, qonun va qonuniyatlardan tashqari, elektromagnit to'lqinlar asosida ishlovchi qurilmalar va hozirgi zamon fizikasining jadal rivajlanishi asosida yaratilgan zamonaviy optik asboblari, lazerlar, golografik, nur to'plagichlar fizikasi yoritish asosida, ularning zamonaviy texnika va tashuvchida qo'llanishiga doir misollar kabi ta'kidlangan.

Ushbu fizikaviy elektromagnit to'lqinlar va optika bo'limiga oid, ma'ruha va maml. mavzuga doir pedagogik texnologiyalar hamda ulangan bilimlarni mustahkamlash uchun nazorat savollari, masalalar, testlar va glaviyalar berilgan.

O'quv qo'llanmada universitet va texnika oliygohi talabalarida shu sahifa bilan shug'ullanayotgan mutaxassislar foydalanishlari mumkin.

Taqdirlashlar:

M.Qurbonov - O'zbekiston Milliy universiteti "Umumiy fizika"

kafedrasining professori, p.f.d.

Sh.K.Ne'matov - Toshkent davlat texnika universiteti professori,

f.f.d.

O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 2019-yil 20-iyuldagi 654-sonli buyrug'i bilan qayta nashr qilishga tavsiya qilingan.

ISBN 978-9943-6764-3-5

© Zaxidova M.A., Rasulova M.E., 2022

© O'zbekiston Respublikasi Milliy Gvardiyasi Harbiy-texnik instituti

© Mirzo Ulugbek nomidagi O'zbekiston Milliy Universiteti

O'ZMU
FIZIKA
FAKULTETI
ARM

Innovatsiya-Ziyo, 2022
2024/06
13
O'ZMU
AXBOROT-HISOB
KUTUBXONASI

"Tanavvur bilimdan ko'ra ko'proq ahamiyatga ega. Bilim biz bozori biladigan va nashonadigan narsalargagina toymadi. Tanavvur esa buni o'lasini va biz qachondir nashonadigan, bilib oladigan narsalarni ham qatnaydi".

Albert Eynshteyn

SO'Z BOSHI

O'zbekiston Respublikasida Oliy O'quv yurtlarining asosiy vazifasi, kadrlar tayyorlash milliy dasturi asosida har tomondan yetuk, jamiyat xajmatiga moslashgan va o'z kasbi bo'yicha fanni yuqori saviyada o'lashtirgan kadrlar tayyorlashdan iboratdir. O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Sh.M.Mirziyoyev tomonidan "Oliy ta'lim tizimini yanada rivojlantirishning chora - tadbirlari to'g'risidagi" qarori xam bu sohadagi amalga oshirilayotgan ijobiy ishlarining mantiqiy davomi bo'ldi. Ushbu qarorning ijrosini ta'minlashga yo'naltirilgan dasturda oliy ta'lim tizimi muassasalarini zamonaviy o'quv, o'quv - ishlovchi va ilmiy adabiyotlar bilan ta'minlash orqali OTMlarining modul- kredit tizimiga o'tishda talabalarni mustaqil ta'lim olish layoqatini shakillantirishga erishish mumkin. Shuni alohida alohida xatda yuqoridagi qarorlarning ijrosi sifatida xatirgi zamon fizikasining dolzarb yo'nalishlariga bog'ishlangan ushbu darslik tayyorlandi.

Fizika yerda kuzatiladigan tabiiy hodisalar va atrofimizni o'rab turgan moddiy bobdagi ob'ekt bozalarini o'rganadi. Atrofimizda (tabiatda) ra'y berayotgan har qanday o'zgarishlar va jarayonlar material ob'ektlarning o'zaro ta'xiri va harakati natijasidir. Fizikada o'rganiladigan harakat turlari davarli har qanday kimyoviy, biologik va geofizikaviy jarayonlarda uchraydi. Shu sababli fizika asoslarini bilimni har qanday kimyoviy, biologik, geologik yoki geofizikaviy jarayonlarni yetarli darajada o'rganish mumkin emas. Fizikaning

rivojlanishi hamma vaqt boshqa tabiiy fanlar bilan chambarchas bog'liq bo'lib kelgan, bu holat kimyoviy fizika, astrofizika, geofizika, biofizika va boshqa fanlarning rivojlanishiga olib keldi.

Fizika tabiiy fanlar orasida alohida fan sifatida shakllanib, hozirga zamon fizikasi darajasiga kelguncha bir qancha tarqatqiyot bosqichlarini bosib o'tgan. Bu bosqichlarni shartli ravishda quyidagi asosiy to'rt davrga bo'lish mumkin: Qadimgi antik davrdan XVI asr oxirigacha bo'lgan davr, fizikaning fan sifatida shakllanish davri (1600-1700 yillar), klassik fizikaning yuqori nazariya sifatida shakllanish davri (XVII asrning oxiri - XX asrning bosh) va ayniqsa, hozirgi zamon fizikasi davri (XX-XXI asr). Fizikaning optika bo'limining rivojlanish davri fizikaning fan sifatida shakllanishidan hozirgi zamon fizikasi davri (XX-XXI asr)gacha bo'lgan oraliqda yotadi va unda yorug'lik hodisalari va qonunlari, yorug'likning tabiati hamda uning modda bilan yuzaro ta'sir jarayonlari o'rganiladi. Hozirgi zamon optikasining rivojlanishi mobil aloqa tizimi, nur tolalar, golografiya, lazer fizikasi va yorug'likning modda bilan ta'siri natijasida kuzatiladigan jarayonlarni o'rganishning yangi fihdalarini ochib berdi. Misol uchun zamonaviy lazer spektroskopiya usuli moddalarning tuzilishini tahlil qilish, alardagi ayvob komponentlarni aniqlash, biologik tizimlarda metabolik jarayonlar dinamikasi va energetikasini o'rganish imkonini beradi. Bu usulning asosiy fihdasi to'qimalarda yuz beruvchi asosiy fizik - kimyoviy jarayonlarni buzmasdan turib, tirik jonzorlar ta'limotida o'ta tez pika-va femtosekundli vaqt davamida kuzatiladigan jarayonlarni shu davomiylikdagi lazer impulslari ta'siri orqali kuzatish imkonini beradi. Lazer nurlanishining noyob xossalari - yuqori monoxromatiklik va yo'naltirilganligi, uzidaksiz va o'ta qisqa impulslar ko'rinishida generatsiyalanishi, yorug'lik energiyasidagi modda sirtida o'lchamlari bir necha mikrometrl toholarda o'ta yuqori konsentratsiyalash va spektral kengligi o'nlab va yuzlab MHz bo'lgan atomar va molekulyar tizimlar bilan rezonans o'zaro ta'sirlashuvini amalga oshirish imkonini yaratadi. Bu esa o'z o'rnida gazlar,

uyushmalar, qattiq moddalar, geterogen jarayonlar, murakkab biologik ob'ektlarning fizik- kimyoviy xossalariini o'rganish uchun yangi usullarni ochadi. Xususan turli to'la uzunliklarda muntazam, yuqori quvvatli, uzluksiz va impuls rejimida ishlovchi, gazli va qattiq jismlar lazerlarning yuzaga kelishi, ularning faqat fizikadagina emas balki kimyo, biologiya, maddashunoslik va boshqa yo'nalishlarda qo'llanilishi, gomogen va geterogen jarayonlarni o'rganishga asoslangan tadqiqotlarda lazer texnikasi va lazer texnologiyasini muvaffaqiyatli qo'llash esa, selectiv fotosintezni o'rnatishda moddalarni va izotoplarni bo'lish, metallar sirtiga ishlov berish, gazlar adsorbsiyasi va desorbsiya jarayonlarini nazorat qilish, boshqarish, qattiq jismlar sirtida boshqariluvchi parametrlar modda qatlamlarini hosil qilish imkonini beradi.

Darslikda optika bo'limiga doir asosiy fizikaviy jarayonlar, qonun va qonuniyatlardan tashqari ularning zamonaviy texnika va texnologiyada qo'llanilishiga doir misollar, talabalar uchun tabiatdagi o'rganilayotgan hodisalariga ijodiy yondashish imkonini beruvchi, optika kursini o'qitishda ishlatish mumkin bo'lgan muammoli vaziyatlar, testlar va mas'ul savollari keltirib o'tilgan. Mazkur o'quv darsligi, universitetning tabiiy ta'lim yo'nalishi talabalarini va boshqa texnik yo'nalishda ta'lim olayotgan talabalar optikani mustaqil o'rganishlari uchun mo'ljallangan bo'lib, uni yaratishda yetakchi korijiy oliy ta'lim muassasalarining o'quv dasturlariga kiritilgan adabiyotlardan olingan ma'lumotlardan foydalanilgan [1].

Umumiy fizika kursining Optika bo'limini dastlab elektromagnit maydon, elektromagnit to'lqinlar va ularning xossalari bilan tanishtirishdan boshlashimdan maqsad yorug'likning to'lqin nazariyasini tavsiflashda bu ma'lumotlardan keng foydalaniladi.

§1. Elektromagnit maydon va to'lqinlarning xususiyatlari

Fazoda modda yoki maydonlarni turli ko'rinishdagi g'alayonlanishining tarqalishi - *to'lqin* deb ataladi. To'lqin hodisasi g'alayonlanish energiyasining ko'chishida namoyon bo'ladi. Mexanik, tovush va elektromagnit to'lqinlar tabiatini qig'oslab chiqaylik.

Mexanik to'lqin - bu g'alayonlanish yoki tebranishning elastik muhitdagi tarqalish jarayonidir. Bu to'lqinlarni yuzaga keltiruvchi jism *to'lqin manbai* deb ataladi. *Mexanik to'lqinlar tarqalishida muhit molekulalari ko'chmaydi, balki o'z muvoziyati atrofida tebranadi.* Muhitning tebralayotgan zarrachalarini hali tebranishga ulgurmaganiyalaridan ajratuvchi sirt *to'lqin fronti* deb ataladi.

Bir xil fazalarda tebralayotgan nuqtalardan o'tuvchi sirt *to'lqin siri* deb ataladi. O'z navbatida to'lqin fronti to'lqin sirtlarining birligi. To'lqin sirtlarining shakli manbalarining joylashishi va muhitning xususiyati bilan aniqlanadi. To'lqin tarqalish yo'nalishini ko'rsatuvchi chiziqli *to'lqin nuri* deb ataladi. Izotrop muhitlarda to'lqin nurlari to'lqin sirtlariga normaldir.

Muhitda hosil bo'ladigan elastik deformatsiyalarning xarakteriga qarab ularni ko'ndalang va bo'ylama to'lqinlarga ajratish mumkin.

Bo'ylama to'lqinlarda muhitning zarrachalari to'lqin tarqalish yo'nalishi bo'ylab tebranadilar. Bo'ylama to'lqinlarning tarqalishi elastik muhitning siqilish va cho'zilish deformatsiyalariga bog'liqdir va barcha muhitlarda: suyuqlik, qattiq jism va gazlarda sodir bo'ladi. Bo'ylama to'lqinlarning tarqalish tezligi

$$c_k = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (1.1)$$

dan iborat. Bu yerda E - Yung moduli, ρ - elastik muhitning zichligi.

Ko'ndalang to'lqinlarda muhit zarrachalari to'lqin tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar yo'nalishlarda tebranadilar. Ko'ndalang to'lqinning tarqalishi siljish deformatsiyasiga bog'liq bo'ladi va u faqat qattiq jismlarda kuzatiladi. Ko'ndalang to'lqin tarqalish tezligi quyidagidan iborat:

$$c_k = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad (1.2)$$

Bu yerda G - siljish moduli. Odatda yung moduli siljish modulidan katta bo'lgani uchun ($E > G$), bo'ylama to'lqin tezligi ko'ndalang to'lqin tezligidan kattidir. $v_s > v_n$.

Muhitdagi elastik to'lqinlarning istalgan boshqa tartibli muhit zarrachalarini harakatidan uzilurli farqi - to'lqin tarqalishi modda ko'chishi bilan bog'liq bo'lmaganligidandir. Zarrachalar faqat o'zlarining muvozanat holatlari atrofida tebranadilar.

To'lqin jarayonining xarakteristikasi deb muhit zarrachalarining muvozanat holatlaridan siljishiga aytiladi. Siljishning vaqtga va koordinataga bog'liqligi *to'lqin tenglamasi* deb ataladi.

Misol uchun, to'lqin manbai koordinatasi boshi 0 nuqta bo'lsa va

$$\xi = A \sin(\omega t + \varphi), \quad (1.3)$$

qonun bo'yicha garmonik tebranish hosil qilsin. Bu yerda A, ω, φ - tebranishning amplitudasi, siklik chastotasi va boshlang'ich fazasidir. U holda OM o'qidagi M nuqtada ξ kattalikning tebranishi ξ , tebranishdan faza bo'yicha orqada qoladi:

$$\xi = A \sin(\omega t - r) + \varphi = A \sin\left(\omega t - \frac{\omega}{v} r + \varphi\right) = A \sin(\omega t - kx + \varphi)$$

(1.4)

Bu yerda $r = \frac{X}{v}$ - to'lqinning $OM = X$ masofaga yetib kelishi uchun zarur bo'lgan vaqt, $k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{T v} = \frac{2\pi}{\lambda}$ - to'lqin soni, $\lambda = vT$ - to'lqin uzunligidir.

To'lqin uzunligi deb to'lqin frontining T bir davrga teng vaqtda ko'chgan masofasiga aytiladi. Nuqta ko'chishining masofaga bog'liq grafigida bir-biriga yaqin ikkita maksimum orasidagi masofa to'lqin uzunligiga tengdir.

To'lqin soni deb, 2π masofadagi uzunlik birligida joylashadigan to'lqin uzunliklari soniga aytiladi. Sferik to'lqin tarqalganda, masofadan to'lqin fronti uzoqlashganda, bir xil vaqtda, tebranma harakatga eshib boruvchi miqdorda muhit hajmi jalb qilinadi. Shu sababli vaqt o'tishi bilan amplituda kamayib boradi:

$$\xi = \frac{A}{r} \sin(\omega t - kr + \varphi), \quad (1.5)$$

bu yerda A - mahtning $r =$ masofadagi nuqtalarida to'lqin amplitudasi.

Istalgan to'liqning funksiyasi to'liq deb ataluvchi differensial tenglamaning yechimidir.

O'Y yo'nalishda tarqalayotgan yassi to'liq uchun to'liq tenglamasini topib ko'ramiz.

ξ dan t va x bo'yicha ikkinchi tartibli xususiy hosilalarni alamiz,

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = -\omega^2 A \sin(\omega t - kx + \varphi) = -\omega^2 \xi, \quad (1.6)$$

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = -k^2 A \sin(\omega t - kx + \varphi) = -k^2 \xi$$

Ikki tenglamaning o'ng taraflarini taqqoslasak

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}, \quad (1.7)$$

O'X o'qi bo'yicha tarqalayotgan yassi to'liqning to'liq tenglamasiga ega bo'lamiz

$$\text{Bu yerda } \frac{k^2}{\omega^2} = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{T}{2\pi} \right)^2, \quad \frac{\lambda}{T} = v.$$

Umumiy holda, istalgan yo'nalishlarda tarqaladigan to'liq uchun, ξ, x, y, z kordinatalar va t vaqtga bog'liq bo'ladi

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}, \quad (1.8)$$

Sinusoidal to'liqlarning tarqalish tezligi fazaviy tezlik deb ataladi. U fazaning belgilangan qiymatiga mos keladigan to'liq sirlarining ko'chish tezligini bildiradi.

Tovush deb, insonning eshitish organida tovush sezgisini uyg'otuvchi bo'ylama mexanik to'liqlarga aytiladi. Haveda tovush to'liqlari havo qatlamining g'oh zichlashib, g'oh siyraklashishi, ya'ni havo bosimining davriy ravishda tebranishi elastic bo'ylama to'liq ko'rinishida tarqaladi.

Havo zarrachalarining tebranish yo'nalishi tovushning tarqalish yo'nalishi bo'yicha bo'lgani uchun ham tovush to'liqlari bo'ylama to'liqlardir. Tovush manbai bilan eshitish organi orasidagi tovush to'liqlarini tarqata oladigan elastic muhit mavjud bo'lgandagina, tovush eshiriladi. Tebranish chastotalari 20 Gs dan 20000 Gs gacha bo'lgan bo'ylama mexanik to'liqlargina insonning eshitish organida tovush sezgisini uyg'otar ekan. Bu chastota intervaliga eshitish diapazoni deyiladi. Tebranish chastotalari 20000 Gs dan katta bo'lgan mexanik tebranishlarga ultratovushlar deyiladi. Ultratovush

to'liqlarning tarqalish tezligi va yubilishining muhit holatiga bog'lanishidan moddalar molekulyar hosnalarini o'rganishda foydalaniladi. Tebranish chastotasi 20 Gs dan kichik bo'lgan mexanik to'liqlarga infratovush to'liqlari deyiladi.

Odatda, ultratovush to'liqlarni generatsiya qilish uchun, asosan p'yezoelektrik va magnitostriksiyaviy nurlatgichlar ishlatiladi.

Ultratovushli to'liqlar bir qator o'ziga xos xususiyatlarga ega. Ulardan eng muhimi, yorug'likka o'xshash tor yo'nalgan dastalar - ultratovushli nurlar kabi nurlanishi mumkin. Ultratovushli nurlarning ikki muhit chegarasida qaytishi va sinishi geometriyaviy optika qonunlariga asosan sodir bo'ladi. Shuning uchun ultratovush nurlari tarqalish yo'nalishini o'zgartirish va fokuslashda har xil shakldagi oynalar, tovushli linzalar, prizmalar va boshqa qurilmalar qo'llaniladi.

Tovushli linzalar, tovush tarqaladigan muhitdagi tezligidan farq qiluvchi tezlikka ega bo'lgan materiallardan foydalaniladi. Masalan, suyuqlikdan iborat bo'lgan muhitga mo'ljallangan tovushli linzalar plastmassalardan tayyorlanadi.

Optikadagiga o'xshash, tovushli oyna va linzalarga bir-biriga qarama-qarshi bo'lgan talablar qo'yiladi. *Tovushli oynalar* ultratovushli to'liqlarni iloji boricha to'la qaytarish xususiyatiga ega bo'lishlari kerak.

Tovushning tarqalish tezligi muhitning zichligiga bog'liq, shuning uchun *tovush tezligi* har xil moddalarda har xil qiymatlarga ega bo'ladi. O'S haroratda, *havo* bo'lmada havoda tovush 331.3m/s tezlik bilan tarqaladi. Tezlik elastiklik moduli va modda zichligiga bog'liq bo'ladi. Havo va boshqa gaz va suyuq muhitlarda tovush tezligi quyidagicha ifodalanadi.

$$v = \sqrt{B/\rho}$$

bu yerda *B* - elastic kuch yoki har tomonlama siqilish moduli, *ρ* - muhit zichligi. Zichligi havoga nisbatan sezilarli kichik bo'lgan holda, har tomonlama siqilish moduli bir xil bo'lishiga qaramay tovush tezligi deyarli uch marta kattadir.

Tovush o'zining kuchi, balandligi va tembi bilan tavsiflanadi. Tovushning kuchi yoki jadalligi to'liq tarqalishi yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan birlik yuz kesimidan uzatilayotgan to'liq energiyasi miqdori bilan aniqlanadi. To'liqni uzatayotgan energiya

to'liq amplitudasining va chastotasining kvadratlarga proporsional bo'lgani uchun, tovush kuchi ham shu kattaliklarga proporsionaldir.

$$I = \frac{1}{2} A^2 \omega^2 \rho v$$

bu yerda A to'liq amplitudasi, ω - to'liqning siklik chastotasi, ρ - muhit zichligi, v - to'liq tarqalishining fazaviy tezligidir.

Misol uchun, chastota o'zgarmas bo'lganda, amplituda ikki marotaba kuchayadi, tovush jadalligi esa bir marotaba oshadi. XBT da tovush jadalligi birligi V/m^2 da o'lchanadi, SGS tizimida esa $\frac{\text{erg}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}}$ da o'lchanadi.

Elastik muhitda bo'yлама tovush to'liqlarining tarqalishi muhitning hajmiy deformatsiyalanishi bilan bog'liqdir. Shuning uchun muhitning har bir nuqtasidagi bosim uzloksiz tebranib turadi va u muhit bosimining muvozanatdagi ajoyati va ΔP qo'shimcha bosim yig'indisiga tengdir. ΔP qo'shimcha bosim muhitning tovush bosimi deb ataladigan deformatsiyasi ta'sirida vujudga keladi. Tovush bosimi balandligining birligi qilib «Belle» olingan. «Belle» katta o'lchov birligi bo'lgani uchun uning o'ndan bir qismi detsibell (dB) olinadi.

Fiziologik akustikada tovush sezishining ravviti sifatida tovushning balandligi, tembri va qattiqligi qabul qilinadi. *Tovush balandligi* deb, tebranish chastotasi va eshitish qobiliyatiga bog'liq bo'lgan, deyarli, davriy tovushning sifatiga aytiladi. Chastota pasayishi bilan tovushning balandligi pasayadi.

Tovushning kuchi va jadalligidan farqli, *tovush qattiqligi* eshitish sezgirligi kuchining sub'yektiv bahosidir, u muhitning zichligi va quloqning sezgirligiga bog'liqdir. Tovush qattiqligi birligi sifatida «fon» qabul qilinadi va uni chastotasi 10^3 Hz bo'lgan tovushning hasil qilgan bosimi 1 dB ga tengligini bildiradi. Inson qulog'i tovushning ayrim jadalligini qabul qiladi. Past yoki sust tovushlarni inson qabul qila olmaydi. Tovushning har bir chastotasi uchun *eshitish chegarasi* deb ataladigan ayrim tovush jadalligi mavjud, ya'ni bundan past holatlarda shu chastotali tovush eshitilmaydi. Kuchli tovushlarni ham, inson qulog'i eshitmasligi mumkin, chunki u faqat quloqda og'riq qo'zg'atishi mumkin. Inson qulog'i 10^{-12} V/m^2 (eshitishning eng quyi

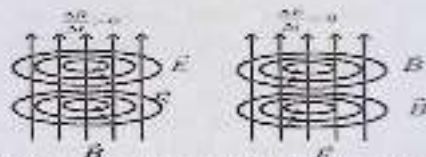
chegarasidan 1 f/m^2 tog'riq seziladigan chegaragacha jadallikdagi tovushlarni qabul qilishi mumkin.

Yorug'lik o'zi nima, degan masala to'g'risidagi qadimgi olimlarning dastlabki tasavvurlari nihoyatda sodda edi. Ular ko'zdan juda ingichka maxsus paypaslagichlar chiqib, ular narsalarni paypaslaganda ko'rish tuyg'usi hosil bo'ladi, deb hisoblaganlar. Hozirda esa yorug'lik xo'zinmizga tushganda miyada ko'rish tuyg'usi hosil bo'lish natijasida narsalarni ko'rishimiz hech kimga sir emas. Yorug'lik nurlanishi elektromagnit nurlanishning ko'rish tuyg'usi bilan baholalanadigan qismini tashkil qiladi. Yorug'lik elektromagnit to'lqinlar oqimidan iboratdir. Shu sababli optika qomuslarini o'rganishni elektromagnit maydon va elektromagnit to'lqinlarning xususiyatlarini o'rganishdan boshlaymiz.

XIX asrning 60 – yillarida ingliz olimi Jeyms Klerk Maksvell elektr va magnit maydonlarining yagona elektromagnit maydon nazariyasini yaratdi. Maksvell bu nazariyani yaratishda o'sha vaqtgacha o'tkazilgan fundamental tajribalarga tayandy. O'sha vaqtgacha elektr va magnit maydonlari ayri-ayri holda mavjud bo'lishi ta'kidlangan edi. Elektromagnit nazariya asosida elektr va magnit maydonlarining uzviy bog'lanishda ekanligini tasdiqlovchi ikki g'aya yaratdi (1.1-rasm):

1. Vaqt davomida o'zgaruvchan magnit maydoni o'zgaruvchan elektr maydonini vujudga keltiradi (elektromagnit induksiya hodisasi).

2. Vaqt davomida o'zgaruvchan elektr maydoni o'zgaruvchan magnit maydonini vujudga keltiradi (magnito-elektrik induksiya hodisasi).



1.1-rasm Elektr va magnit maydonlarining uzviy bog'lanishi

Elektr maydoni siljiganda yoki o'zgariganda bu elektr maydoni bilan o'ng vint bosil qilevchi magnit maydoni paydo bo'ladi. Demak, paydo bulgan magnit maydoni uni yuzaga keltirgan elektr maydoniga perpendikulyar tekislikda yotar ekan. To'g'ri tokning atrofida magnit

maydoni ham aynan tokli o'tkazgich ichidagi erkin elektronlarning silgishi tufayli paydo bo'ladi. Magnit maydoni silgiganda yoki o'zgaraganda bu elektr maydoni bilan chap vint hosil qilaychi elektr maydoni paydo bo'ladi. Demak, paydo bo'lgan elektr maydoni uni yuzaga keltirgan magnit maydoniga perpendikulyar tekislikda yotar ekan. O'zgaruvchan magnit maydoni hosil qilgan elektr maydoni uyurmaviy elektr maydoni deb ataladi. Uyurmaviy elektr maydoni elektrostatik maydondan tubdan farq qiladi. Elektrostatik maydon potensial xarakterga ega bo'lib, u zaryaddan boshlanib zaryadda tugar edi, ya'ni elektrostatik maydonning boshi va oxiri bor. Uyurmaviy elektr maydonining esa boshi va oxiri yo'q. U xuddi magnit maydoni kabi uyurmaviydir. Uyurmaviy elektr maydoni ochiq o'tkazgichga ta'sir etganda o'tkazgich uchlariida potensial farqi hosil qiladi, berik o'tkazgichga ta'sir etganda esa erkin elektronlarini harakatga keltirib elektr tokini induksiyalaydi. Elektromagnit induksiya hodiasida konturda hosil bo'ladigan induksion tokni aynan shu uyurmaviy elektr maydoni yuzaga keltiradi. Demak, elektr maydon magnit maydonni, magnit maydon esa elektr maydonni vujudga keltiradi va hakaza. Shu tariqa fazoda bir-birini vujudga keltiraychi elektr va magnit maydonlar ketma-ket sodir bo'laveradi. Bu maydonlar o'zaro bir-biri bilan uzviy bog'langanligi uchun umumiy maydonni elektromagnit maydon deb ataladi. Tabiatda «sofi» elektr maydon yoki «sofi» magnit maydon mavjud bo'lmaydi. Chunki agar bir sanoq tizimidagi kuzatuvchi qo'zalmas elektr zaryad tufayli vujudga kelayotgan elektr maydonni qayd qilsa, bu tizimga nisbatan harakatda bo'lgan ikkinchi sanoq tizimidagi kuzatuvchi zaryad harakatlanayotgan bo'ladi. Demak «sofi» maydon tushunchasi nisbiy xarakterga ega. Biror sanoq tizimidagi «sofi» elektr maydon yoki sof magnit maydon boshqa sanoq tizimida elektr va magnit maydonlar yig'indisi, ya'ni elektromagnit maydon tarzida namoyon bo'ladi. Davriy ravishda o'zgaruvchan elektromagnit maydonning fazoda tarqalish jarayoniga *elektromagnit to'lqin* deyiladi. Elektromagnit to'lqinlar ko'ndalang to'lqinlardir.

§2. Elektromagnit maydon uchun- Maksvell tenglamalari.

1864 yili Shotlandiyalik olim Djeymz Klerk Maksvell o'zidan oldingi olimlarning elektr va magnit maydonlari asosida o'lqazilgan tajribalariga asoslangan holda, o'zini elektromagnit maydon

nazariyasini yaratdi. Maksvell tenglamalari huddi Nyuton qonunlari kabi fundamental ahamiyatga ega, chunki ular orqali barcha elektromagnit jarayonlarni tavsiflash mumkin. Bu nazariya asosini elektr va magnit maydonlarini o'zgarishini o'zaro bog'lovchi va uning nomi bilan ataladigan, to'rtta tenglamalar sistemasidan iboratdir. Ularni ko'rib chiqaylik.

1. Qo'zg'almas zaryad o'z atrofidagi fazoda elektr maydonni vujudga keltiradi. Bu maydon potentsial maydondir. Ma'lumki potentsial kuchlarning yopiq yo'lda bajarigan ishi nolga teng. Shuning uchun bu maydonda kuchlanganlik vektori E ning ixtiyoriy berk kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi nolga teng

$$\oint E_{\text{el}} d\vec{l} = 0, \quad (2.1)$$

Elektr maydon fazoning vaqt davomida o'zgarib turuvchi magnit maydon mavjud bo'lgan barcha nuqtalarida ham vujudga keladi. Bu maydon uyumaviy elektr maydondir. Uyumaviy elektr maydon kuchlanganligi E ning chiziqlari doimo berk.

E vektorining ixtiyoriy berk kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi aldan farqi bo'lib quyidagiga teng

$$\oint E_{\text{uz}} d\vec{l} = - \left[\left(\frac{\partial B}{\partial t} \right)_{\text{uz}} \right] S, \quad (2.2)$$

Shuning uchun natijaviy elektr maydon kuchlanganligini $E = E_{\text{el}} + E_{\text{uz}}$ deb belgilab, quyidagini hosil qilamiz:

$$\oint E_{\text{uz}} d\vec{l} = \oint E_{\text{el}} d\vec{l} + \oint E_{\text{uz}} d\vec{l} = - \left[\left(\frac{\partial B}{\partial t} \right)_{\text{uz}} \right] S, \quad (2.3)$$

Bu ifoda Maksvellning birinchi tenglamasi bo'lib elektr maydonning faqat elektr zaryadlarigina emas, balki vaqt bo'yicha o'zgaruvchi magnit maydoni ham hisob qilishini ko'rsatadi.

2). Ma'lumki magnit maydon kuchlanganlik vektorining ixtiyoriy berk kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi shu kontur o'rab olgan barcha makroskopik toklarning algebratik yig'indisiga teng, ya'ni

$$\oint H_{\text{uz}} d\vec{l} = \sum I = \int j dS, \quad (2.4)$$

Umumiy holda magnit maydon o'tkazuvchanlik toki va siljish toki tufayli vujudga kelgan magnit maydonlarning yig'indisidan iborat, ya'ni buni o'lib olib, magnit maydon kuchlanganlik

vektorining ixtiyoriy berk kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi uchun quyidagini hosil qilamiz:

$$\oint H, d\vec{l} = \iint \left(j - \frac{\partial D}{\partial t} \right) d\vec{S}, \quad (2.5)$$

Bu ifoda magnit maydonini faqat o'tkazuvchanlik tiki emas, balki o'tkazuvchan elektr maydoni ham hosil qilishini ko'rsatadi.

3. Elektr induksiya vektori D ning ixtiyoriy berk sirt orqali oqimi shu sirt ichidagi barcha erkin zaryadlarning algebrak yig'indisiga teng

$$\oint D, d\vec{S} = \sum q, \quad (2.6)$$

Berk sirt ichida uzluksiz ravishda joylashgan zaryadlarning hajmiy zichligini ρ bo'lsa, u holda yuqoridagi ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$\oint D, d\vec{S} = \int \rho dV, \quad (2.7)$$

Bu Maksvellning uchinchi tenglamasidir.

4. Magnit maydon qanday usul bilan vujudga keltirilganligidan qat'iy nazar magnit induksiya chiziqlari doimo berk bo'ladi.

$$\oint B, d\vec{S} = 0, \quad (2.8)$$

Bu ifoda magnit maydon induksiya vektori uchun Gauss teoremi bo'lib, Maksvellning to'rtinchi tenglamasi deb yoritiladi.

Maksvell tenglamalari Nyuton va termodinamikaning bosh qonunlari kabi katta ahamiyatga egadir.

Maksvell tenglamalaridan quyidagi differensial tenglamalarni keltirib chiqarish mumkin:

Elektr maydonining kuchlanganligi va induksiya vektorlarining o'zaro bog'lanishi

$$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E}$$

Maksvellning beshinchi tenglamasidir.

Magnit maydonining kuchlanganligi va induksiya vektorlarining o'zaro bog'liqlik tenglamasi

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}$$

Maksvellning oltinchi tenglamasidir.

Elektr maydoni kuchlanganligini o'tkazuvchanlik toki zichligi bilan bog'liqlik ifodasi

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

Maksvellning yettinchi tenglamasi deb ataladi.

Bu yuqorida sanab o'tilgan yettita tenglamalar Maksvellning tenglamalar tizimi deb ataladi.

Bu tenglamalardan elektr va magnetizmida mavjud bo'lgan barcha qonunlarni keltirib chiqarish mumkin.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial z^2} &= \omega_0 \mu \mu_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \\ \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} &= \omega_0 \mu \mu_0 \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} \end{aligned} \right\}, (2.9)$$

Bu elektr va magnet to'lqinlarining mos ravishda to'lqin tenglamalaridir. Bu tenglamalarni to'lqinning differensial tenglamasi

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = \frac{1}{U^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$$

bilan solishtirsak, elektr va magnet to'lqinlarning fazali tezliklari bir xil ekanligi ko'rinib turibdi:

$$U = \frac{1}{\sqrt{\omega_0 \mu \mu_0}},$$

yani faqat to'lqin tarqaladigan muhitning dielektrik va magnet singdiruvchanliklariga bog'liq ekan.

Vakuumda $\epsilon = \mu = 1$ ga teng bo'lgani uchun to'lqinlarning fazali tezliklari yorug'likning vakuumdagi tezligiga tengdir.

$$U = c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 299729 km/s,$$

Agar $\epsilon = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$ ekanligini hisobga olsak, elektromagnet to'lqinning istalgan muhitdagi tarqalish tezligi uchun Maksvell formulasini keltirib chiqaramiz:

$$U = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}}, (2.10)$$

X o'qi bo'ylab tarqalayotgan yassi elektromagnet to'lqin uchun, elektromagnet to'lqinning ko'ndalang ekanligini hisobga olgan holda, quyidagiga ega bo'lamiz: $E_x = H_x = 0$ va $E_z = H_z = 0$, ekanligini

hisabga olsak, Maksvell tenglamasidan X o'qi bo'ylab tarqalayotgan yassi elektromagnet to'lqinning differensial tenglamalari kelib chiqadi:

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial x^2} = \frac{\mu\epsilon}{c^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial t^2}; \quad \frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} = \frac{\mu\epsilon}{c^2} \frac{\partial^2 H_x}{\partial t^2}, \quad (2.11)$$

Bu tenglamalarning eng oddiy yechimlari quyidagi funksiyalardan iboratdir:

$$E_x = E_0 \sin(\omega t - kx + \alpha_1); \quad H_z = H_0 \sin(\omega t - kx + \alpha_2), \quad (2.12)$$

Bu yerda ω - to'liqning siklik chastotasi, $k = 2\pi/\lambda = \omega/c$ to'liq sonidir, α_1 va α_2 $x = 0$ nuqtadagi tebranishlarning boshlang'ich fazalaridir.

Elektromagnit to'liq uchun, quyidagi tenglik

$$\epsilon_0 E_0^2 = \mu\mu_0 H_0^2, \quad (2.13)$$

o'rinnidir. Bu tenglikdan elektr va magnit maydon vektorlarining tebranishlari bir xil fazada ($\alpha_1 = \alpha_2$) sodir bo'lishi ko'rinib turibdi va bu vektorlarning amplitudalari bir-biri bilan quyidagicha bog'langandir

$$E_0 \sqrt{\epsilon_0} = H_0 \sqrt{\mu\mu_0}, \quad (2.14)$$

Yassi elektromagnit to'liq tenglamasining vektor ko'rinishi quyidagichadir:

$$\vec{E} = E_0 \sin(\omega t - kx); \quad \vec{H} = H_0 \sin(\omega t - kx). \quad (2.15)$$

bu yerda fazalar farqi nolga tengdir $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$.

Elektromagnit to'liqlar, har qanday to'liqlarga o'xshash, energiyani ko'chirish xususiyatiga egadirlar.

Elektromagnit maydon energiyasi zichligi w elektr va magnit maydonlar energiyalari zichliklari yig'indisidan iborat.

$$w = w_e + w_H = \frac{\epsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu\mu_0 H^2}{2}, \quad (2.16)$$

Fizaning berilgan nuqtasida $\vec{E}$ va $\vec{H}$ vektorlar bir xil fazada o'zgaradilar. Shu sababli, E va H tanning amplituda qiymatlari orasidagi (2.14) - nisbat ularning boshqa omiy qiymatlari uchun ham o'rinnidir. Bundan, to'liqning elektr va magnit maydonlari energiyalari zichligi vaqtning har bir momenti uchun bir xil bo'ladi, ya'ni

$$w_e = w_H$$

Shuning uchun

$$w = 2w_e = \epsilon_0 E^2, \quad (2.17)$$

$E \cdot \sqrt{\epsilon_0} = H \cdot \sqrt{\mu_0}$ tenglikdan foydalanib, (2.17) - ifodani quyidagicha qayta yozish mumkin:

$$w = \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} E H = \frac{1}{v} E H$$

Bu yerda v - elektromagnit to'liq tarqalish tezligi. Elektromagnit to'liq energiyasi oqimi zichligi vektori quyidagiga tengdir:

$$\vec{S} = w \cdot \vec{v} = E H, \quad (2.18)$$

$\vec{E}$ va $\vec{H}$ vektorlar o'zaro bir - biriga perpendikulyar va to'liq tarqalishi yo'nalishi bilan o'ng parma tizimini tashkil etadi. Shu sababli, $(\vec{E} H)$ vektor yo'nalishi energiyaing ko'chishi yo'nalishiga mos keladi (1.2 - rasm).



1.2 - rasm. Elektromagnit to'liq tarqalish yo'nalishi

Elektromagnit to'liq energiyasi oqimi zichligi vektorini $\vec{E}$ va $\vec{H}$ vektorlarning vektor ko'paytmasi sifatida ifodalash mumkin

$$\vec{S} = [\vec{E} \cdot \vec{H}], \quad (2.19)$$

va bu $\vec{S}$ - vektor *Umov - Poynting vektori* deb ataladi.

§3. Elektromagnit to'liqlar shkalasi

Amalda elektromagnit to'liqlar manbai bo'lib ishlatilgan elektr tebranish kontur yoki o'zgaruvchan elektr toki o'tayotgan o'tkazgich bo'lishi mumkin. Elektromagnit to'liqlarni qo'zg'atish uchun fazoda o'zgaruvchan elektr maydonini (siljish tokini) yoki mos ravishda o'zgaruvchan magnit maydonini hosil qilish zarurdir. Manbaning nurlanish qobiliyati uning shakli, o'lchamlari va tebranish chastotasi bilan aniqlanadi.

Nurlanish sezilarli bo'lishi uchun, o'zgaruvchan elektr maydoni hosil bo'ladigan fazoning hajmi katta bo'lishi kerak. Shu sababli, elektromagnit to'liqlar hosil qilish uchun yopiq tebranish konturlarini ishlatib bo'lmaydi, chunki kondensator qoplamalari orasida elektr maydoni, induktivlik g'altagi ichida magnit maydoni joylashgan.



bo'ladi. Yopiq tebranish konturida (1.3 - rasmi) sig'im va induktivlik katta qiymatga ega bo'lgani uchun tebranish davri va elektromagnit to'lqin uzunligi katta bo'ladi:

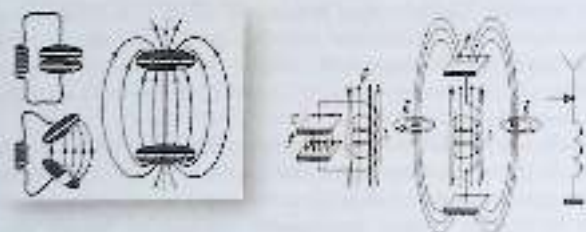
$$\lambda = cT = 2\pi\sqrt{LC} \quad (3.1)$$

Vibratarning o'rtasida qarama-qarshi zaryadlar duch kelsa, ular bir-birini neytrallaydi va elektr kuch chiziqlarining uchlari zaryadlardan uziladi. To'lqin uzunligini qisqartirish uchun induktivlik va sigim qiymatini qisqartirish kerak. Shu sababli, Gere o'z tajribalarida gultak o'rni va kondensator qoplamalari yuzasini kamaytirib, qoplamalar orasini kengaytirish hisobiga yopiq tebranish konturidan ochiq tebranish konturiga o'tish usulini topdi.

Narijada chaqnash oraliqi bilan ajralgan ikkita sterjenli (simli) tebranish konturini hosil qildi. Agarda, yopiq tebranish konturida o'tgaruvchan elektr maydoni kondensator qoplamalari orasiga joylashgan bo'lsa, ochiq tebranish konturida esa o'tgaruvchan elektr maydoni (1.3- rasmi) kontur atrofidagi fazani qamraydi va elektromagnit nurlanish jadalini kuchaytiradi.

Ikkita sterjenli (1.4-a rasmi) tebranish konturining uchlari qarama-qarshi zaryadlar kiritilsa, sterjen atrofida elektr maydoni kuch chiziqlari hosil bo'ladi. Qarama-qarshi zaryadlar bir-biri bilan tortishib o'ltargichda tok hosil qiladilar (1.4-b rasmi). Bu tok o'z navbatida o'ltargich atrofida elektr maydoni hosil qiladi.

Ajralgan elektr maydon kuch chiziqlari vibratarning barcha taraflariga tarqala boshlaydi. Gere shunday vibrator orqali 100m/s chastotali elektromagnit to'lqinlarni hosil qila oldi.



1.3- rasmi. Gere tajribasi- ochiq tebranish konturi



1.4-a, b- rasim. Gers tajribasi

Bu to'liqlarning to'liq uzunligi taxminan 3m ga tengdir.

Stejcnlarning qalinligi va uzunligini yanada kamaytirish hisobiga P.N. Lebedev $\lambda = 6 \pm 4\text{mm}$ li elektromagnit to'liqlarini hosil qildi. Elektromagnit to'liqlar keng chastota spektri yoki to'liq uzunligiga ($\lambda = c/\nu$) ega bo'lib, bir-biridan generatsiya va qayd qilish usullari hamda o'zining xususiyatlari bilan farq qiladi. Elektromagnit to'liqlar uzoq masofaga axborotlarni yetkazib berish imkoniyatini beradi.

1890 yilda Guleymo Markoni simsiz aloqa vositasini ixtiro qilgan. Birinchi signallar faqat uzun va qisqa pulsi bo'lgan va bu signallarni kodlar orqali so'zlarga aylantirish mumkin bo'lgan. Signallar "nuqta" va "tire" Morze kodlari bo'lib, simsiz noma bo'lgan. 1895 yilda Markoni simsiz signallarni Italiyada 1-2 kilometracha uzoqlikka yuborgan. 1901 yilda u okean bo'ylab Nyufayndland, Kanada, Kornvel, Angliyaga 3000km uzoqlikka sinov signallarini yuborgan. 1903 yilda u Massachusetsdan Angliyaga birinchi amaliy tijorat xabarlarini yubordi va London TIMES gazetasi Nya Yorklik hamkori xabarlarini chop etdi. Elektromagnit to'liqlarni, Gers tajribasidan 8 yil keyin, 1895 yil 7 mayda A.S. Popov rts-fizika-ximya jamiyati majlisida dunyoda birinchi radiopriyomnikni demonstratsiya qildi va elektromagnit to'liqlarni simsiz aloqa vositasi sifatida keng ishlatish mumkinligini ko'rsatdi.

Hozirgi paytda fan va texnikaning xech bir sohasi yo'g'ki unda elektromagnit to'liqlar ishlatilmasin. Diapazoni santimetr va millimetr bo'lgan elektromagnit to'liqlar radiolokatsiyada keng qo'llaniladi. Radioseshitirish uchun radioto'liqlarning hamma diapazonlari ishlatiladi. Tolqin uzunligi $0,1 \pm 10^3\text{m}$ kenglikdagi elektromagnit to'liqlar radioaloqa va tasevini uzatishda (uzun, o'rta, qisqa, ultraoqisqa va o'tsimerli radio to'liqlar) ishlatiladi. Bizning

zamonaviy hayotimizdagi simsiz aloqa vositalari, radio, televideniye, simsiz telefonlar, uyali aloqalar, bluetooth, wi-fi, sun'iy yo'ldoshlar orqali aloqalar Markosining pionerlik ishiga asoslangandir. Keyinchalik vakuumli diod va triodlarning yaratilishi radio va televideniyaning rivojlanishiga olib keldi. Televideniye sxemasi radioeshitirish sxemasi bilan deyarli bir xil bo'lib ularning farqi shundaki, uzatkichda tebranishlarning otaqat tovush signallari, balki tasvir signallari ham modulyatsiya qilinadi. Uzatish telekamerasida tasvir elektron nur trubkasi yordamida qayta tiklanadi. Uzatilayotgan va qabul qilinayotgan signallar shunday sinxronlashtirilganki, televizor trubkasidagi elektron nurining harakati uzatuvchi telekamera nurining harakatini takrorlaydi. Bugungi kundagi raqamli tele eshittirishlar, 2009 yilda ishlatilgan, analog eshittirishdagi tashuvchi chastotalar bilan bir xildir [2].

Hozirgi paytda elektromagnit to'lqinlar yordamida qu'zg'almas va harakatlanuvchi ob'ektlar tasvirini uzatish (fototelegrafiya, televideniye), samolyot va kemalarni hashqarish (radionavigatsiya), Yer chuqurligini aniq o'lchash (radiogendaziya), radioantenna va radioteleskoplar yordamida koinotning juda uzoq nuqtalarida joylashgan ob'ektlarni radiozond orqali tekshirish va ulardan kelayotgan to'lqinlarni qabul qilish mumkin. Shunday qilib, XIX asrda elektromagnit to'lqinlarning fazoda tarqalishining eksperimental tadqiqotlari telegraf, uyali aloqa, radio va televideniyaning rivojiga olib keldi.

1-jadval



1.5- rasm. Elektromagnit to'lqinlar shkalasi

§4. Maznga doir pedagogik texnologiyalar Maksvell tenglamalari mavzusini y'aritishda kuzatiladigan muammoli vaziyat

Bugungi kunda ta'limning kredit tizimiga o'tishi ta'lim oluvchilarning mustaqil tanqidiy fikrlash, aqiborotni izlash va topish, aqliy mehnat madaniyatini, mustaqil bilim olish malakalarini rivojlantirish zamonaviy ta'limning asosiy vazifalaridan hisoblanadi. Talabalarining mustaqil va ijodiy fikrlash mahoratlarini oshirish va talabalarining o'z kasbiy faoliyatida vujudga kelishi mumkin bo'lgan muammoli vaziyatlarini echishga yordam beradigan pedagogik texnologiyalardan biri bu muammoli ta'limdir. Muammoli o'qitish asosida qarama-qarshi holatlarni yechish yotadi. "Elektromagnit to'lanishlar va to'liqlar" mavzusini o'rganishda vujudga keladigan aniq misolni ko'rib chiqamiz.

Bir jinsli muhitdagi toklarning stasionar magnit maydoni uchun

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \int \vec{j} d\vec{s}, \quad (4.1)$$

ko'rinibda yozish mumkin bo'lgan to'liq qonuni o'rinlidir. Bu yerdagi j - faqatning biror nuqtasidagi tok zichligi vektoridir. Bu ifodaning chap qismi Stoks teoremasiga binoan

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \int \text{rot} \vec{H} \cdot d\vec{s}, \quad (4.2)$$

Ko'rinibda yoziladi. (4.1) va (4.2) formulalarni taqqoslab

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{j}, \quad (4.3)$$

ga teng ekanligini ko'ramiz. Tok zichligi $\vec{j}$ zaryadlarning hajmiy zichligi va ularning yo'naltirilgan harakatlari tezligi $\vec{V}$ orqali ifodalanishi mumkin:

$$\vec{j} = \rho \vec{V}, \quad (4.4)$$

(4.3) formula va (4) ni hisobga olgan holda

$$\text{rot} \vec{H} = \rho \vec{V}, \quad (4.5)$$

ko'rinibga ega bo'ladi. (4.5) tenglamaning ikkala qismidan divergensiya olib

$$\text{div}(\rho \vec{V}) = 0, \quad (4.6)$$

ga ega bo'larniz. Boshqa tomondan zaryadlarning saqlanish qonunidan

$$\text{div}(\rho \vec{V}) = -\frac{\partial \rho}{\partial t}, \quad (4.7)$$

(4.6) va (4.7) formulalarni taqqoslab, aniq qarama-qarshi holatga kelamiz. Olingan qarama-qarshilikni yo'qotish uchun Maksvell to'liq tok qonuni ko'rinishini o'zgartirdi. Bunday o'zgarishni quyidagi tarzda tushuntirish mumkin. Elektrostatika tenglamasini vaqt bo'yicha differensiallab, $\text{div} \vec{D} = \rho$ ga tengligiga ega bo'lamiz

$$\text{div} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \frac{\partial \rho}{\partial t}, \quad (4.8)$$

(4.7) va (4.8) formulalarni taqqoslab

$$\text{div}(\rho \vec{V}) = -\text{div} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad (4.9)$$

ga teng deb yozish mumkin bo'ladi. Shunday qilib, biz ko'rsatgan to'liq tok faqatgina o'tkazuvchanlik tasi $\rho \vec{V}$ dan iborat bo'lmay, balki u siljish toki $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ dan ham tashkil topganidir. Shuning uchun ham tok zichligi

vektori $\vec{j}$ ni

$$\vec{j} = \rho \vec{V} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad (4.10)$$

ko'rinishida yozish kerak bo'ladi. U holda (4.5)- Maksvellning

$$\text{birinchi tenglamasi } \text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (4.11)$$

ko'rinishiga ega bo'ladi va shu holda ushbu holda kuzatilgan muammoli vaziyat echiladi.

Xulosa: Shunday qilib Maksvell elektromagnit to'lqinlarning umumiy qonuniyatlarini yaratdi. Bu kashfiyotlar – yorug'likning elektromagnit to'lqindan iborat ekanligini va uning vakuumdagi tezligi elektrodinamik doimiylik bilan bogliq ekanligi isbotlandi.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

Hozirgi zamon lazer texnikasi orqali yorug'lik tezligini o'lchashlar quyidagi aniq qiymatlarni berdi:

$$c = 299792458 \pm 2 \text{ m/s.}$$

Bizning hayotimizda yorug'lik juda katta ahamiyatga ega. Inson tabiat to'g'risidagi ko'pchilik ma'lumotlarni yorug'lik orqali oladi. Fizikauning optika qismida o'rganiladigan yorug'lik nuri elektromagnit nurlanish spektrining ko'zga ko'rinsidigan qismidan tashqari unga tutashgan infraqizil va ultrabinafsha qismlarini ham o'z ichiga oladi.

Nazorat savollari

1. Elektr va magnit maydonlarining o'zaro bog'liqligini tushuntiring. Elektromagnit to'lqin nima?
2. To'lqin nima? Qanday to'lqinlarni bilasiz? Elektr va magnit to'lqinlarining fazali tezliklari ifodasini keltiring.
3. Yassi elektromagnit to'lqining differensial tenglamasini keltiring.
4. Elektromagnit to'lqinlarning tarqalish tezligini qanday fizik kattaliklarga bog'liq? Umov-Poynting vektorini tushuntiring.
5. Elektromagnit to'lqinlar shkalasi nima?
6. Elektromagnit maydon uchun Maksvell tenglamalarini taritlang.
7. Elektromagnit to'lqinlarning asosiy hossalari nima?
8. Tebranish konturi, Tomson formulasi.
9. Rezonans hodisasini tushuntiring.
10. So'naychi va majburiy tebranishlar qanday hosil bo'ladi.
11. To'lqin siljish tenglamasining differensial ko'rinishini yozing? To'lqinlarning fazaviy va guruhli tezligini tushuntirib bering.
12. To'lqinlarni qo'shish- superpozitsiya prinsipini tushuntiring?
13. Turli an to'lqinlar va ularning tenglamasi qanday ko'rinishga ega?

§5. Mayzuga doir masala yechishga yo'riqnoma:

Quyida garmonik tebranishlarni qo'shishning ayrim hollarini ko'rib chiqamiz [10].

1) Bir yo'nalishdagi tebranishlarni qo'shish

Jisn xarakteristikalari bir xil, amplituda va boshlangich fazalari farq qiladigan ikkita tebranishlarda ishtirok etsin, ularni qo'shish uchun vektorlar diagrammasi usulidan foydalanamiz (1.6 - rasim)

$$y_1 = A_1 \sin(\omega t + \varphi_1), \quad y_2 = A_2 \sin(\omega t + \varphi_2), \quad (5.1)$$

$\vec{A}_1$ va $\vec{A}_2$ vektorlar bir xil ω burchak tezlik bilan aylanishlari sababli, fazalar siljishi doimo n'zgar emasdir. Natijaviy tebranish tenglamasi quyidagicha:

$$y = y_1 + y_2 = A \sin(\omega t + \varphi), \quad (5.2)$$