

10- дәріс. Жарықтың затпен әсерлесуі.

Жоспар: *Ортаның электрлік ж/е оптикалық қасиеттері. Екі диэлектриктің шекарасында электромагниттік толқынның шағылуы мен сынуы. Френель формулалары ж/е одан шығатын салдар. Ортаның шағылу коэффициенті. Поляризациялану дәрежесі.*

Сәулелік немесе геометриялық оптика жалпы жарық жайын-дағы ілімнің (оптиканың) техникалық маңызы зор саласы бо-лады. Оптиканың бұл саласында жарық сәулесі деген ұғым пайдаланылып жарықтың әр түрлі мөлдір ортада таралу құбылыстары қарастырылады, сонда жарық сәулесі деп бо-йымен жарық энергиясы таралатын геометриялық сызық ұғы-лады; жарықтың табиғаты сөз болмайды. Мәселе тәжірибе жүзінде тағайындалған сәулелік оптика заңдары делінетін қағи-даларға негізделіп қарастырылады. Ол заңдардың мазмұны мынадай:

Жарықтың түзу сызықтық таралу заңы.
Жарық сәулелері біргекті ортада түзу сызық бойымен таралады.
Бұл заңды тек дифракция құбылыстары есепке алынбайтын жағ-дайларда ғана қолдануға болады.

Жарық шоқтарының тәуелсіздік заңы.
Жарықтың бір шоғының әсері басқа шоқтарының әсерлеріне тә-уелді емес, яғни жарық шоқтары бір-біріне ықпалын тигізбейді.

Бұл заң когерент емес сәулелер шоқтары үшін ғана дұрыс орындалады.

3. **Жарықтың шағылу заңдары:**

а) *Бетке түскен сауле, одан шағылған сәуле және сол бетке түсу нүктесі арқылы жүргізілген нормаль бір жазықтықта жатады.*

б) *Шағылу бұрышы (i') мен түсу бұрышы (i) өз ара тең*
$$i=i' \quad (1)$$

Осы айтылған заңдар тек жарық жалтыр тегіс беттен шағыл-ғанда ғана орындалады. Егер жарық түскен бет күңгірт немесе кедір-бұдыр болса, онда жарық барлық жаққа бытырай шағы-лады, яғни жарық шашырайды.

Жарық толқындары электромагниттік толқындардың бір түрі. Жарық толқындарының өрісін электр векторы (E) мен магнит векторы (H) арқылы сипаттауға болады. Бұл векторлар өзара және толқын таралатын бағытқа перпендикуляр болатындығы белгілі. Жарық толқыны өрісінің векторлары үздіксіз өзгеріп, яғни ұдайы тербеліп тұрады, Арнап жүргізілген тәжірибелер (Виннер, 1889ж.) нәтижелеріне қарағанда жарықтың фотохимиялық әсері оның өрісінің электр векторы әсеріне байланысты. Сондықтан бұл вектор кейде жарық векторы деп те аталады. Жарық тербелістері делінгенде осы E векторы тербелісі айтылады. Жарық толқынының интенсивтігі, яғни 1 секундта толқын таралатын бағытқа перпендикуляр 1 см^2 ауданнан өтетін жарық энергиясының мөлшері, оның электр векторының амплитудасының квадратына тура пропорционал болады. Жарық толқындары заттың атомдары мен молекулаларында жүріп жатқан кейбір процестен нәтижесінде пайда

болады. Өте кішкене жарық көзі құрамында сансыз көп атомдар болады. Олардың әрқайсысы шығаратын жарық толқындарының электр векторларының бағыттары әр түрлі, сонымен қабат бір атомның шығарған жарық толқындарының электр векторының бағыты да өзгеріп тұрады. Сөйтіп, жарық толқынының электр векторы түрлі жаққа бағытталған, яғни ол сан алуан жазықтықта тербелуі мүмкін. Мұнда бір бағыттың басқа бағыттардан артықшылығы болмайды. *Өрісінің электр векторы кеңістікте осылай түрлі бағытта орналасқан жарық – табиғи жарық* деп аталады. Табиғи жарық толқындарының барлық бағытта интенсивтігі бірдей болады.

Жарықтың шағылуы және сынуы.

Мөлдір екі ортаның шектесу шекарасындағы оптикалық құбылыстар. Біртекті ортада жарық түзу сызықты таралады. Бұл бізге жарықтың осындай орталарда таралуы кезінде жарық сәулерін пайдалануға мүмкіндік береді.

Жарықтың таралу бағытының өзгерісі түрліше екі ортаның шектесу шекарасында өтеді. Сондықтан, егер осындай өзгерулерді дәл анықтауға мүмкіндік беретін заңдарды тәжірибеде тағайындай алсақ, онда оптикалық сәуле шығарудың табиғатын ескермей-ақ, жарық сәулелерінің көмегімен көтеген оптикалық құбылыстарды сипаттай алар едік. Құбылыстарды зерттеуде осындай әдіс қолданатын оптиканың бөлімі *геометриялық оптика* деп аталады. Осы тарауда біз екі мөлдір ортаның шектескен шекарасында өтіп жатқан оптикалық құбылыстар бағынатын заңдарды қарастырамыз.

Ауадан судың бетіне жіңішке жарық шоғы түскен кезде, онда O түсу нүктесінде жарықтың бір бөлігінің шағылатындығын, ал бір бөлігінің суға өтіп, оның осы кезде сынатындығын бақылауға болады. i және α бұрыштарын сәйкес түрде *түсу бұрышы* және *шағылу бұрышы* деп атайтынын білеміз. Сынған сәуле және орталардың шектесу бетіне сәуленің түсу нүктесінде тұрғызылған перпендикуляр құрайтын β бұрышы *сыну бұрышы* деп аталады.

Абсолют сыну көрсеткіші.

Ортаның вакуумге қатысы сыну көрсеткіші, яғни жарық сәулелерінің вакуумге ортаға өтуінің сыну көрсеткіші *абсолюттік сыну көрсеткіші* деп аталады және мына формуламен анықталады:

$$n = c / v \quad (3)$$

Есептеулер кезінде абсолюттік сыну көрсеткіштерін таблицадан алады. c әрқашанда v мәніне артық болатындықтан *абсолюттік сыну көрсеткіші әрқашанда бірден артық болады.*

Егер жарық сәулесі вакуумнан ортаға өтетін болса, онда сынудың екінші заңының формуласы:

$$\sin i / \sin \beta = n \quad (4) \quad \text{болып жазылады.}$$

Формуланы практикада сәуленің ауадан ортаға өтуі жағдайы жиі қолданылады, себебі жарықтың ауада таралу жылдамдылығы c шамасынан онша алыс кетпейді. Оны ауаның абсолют сыну көрсеткішінің 1,0029 болатындығынана-ақ байқауға болады. Сәуле ортадан вакуумге (ауаға) өткен кезде сынудың екінші заңының формуласы:

$$\sin i / \sin \beta = \frac{1}{n} \quad (5)$$

түрін қабылдайды. Бұл жағдайда сәулелер ортадан шығар кезде орта мен вакуумнің шектесу бетіне түсірілген перпендикулярдан алшақтайды.

Енді абсолюттік сыну көрсеткіштері бойынша n_{21} салыстырмалық сыну көрсеткішін қалай табуға болатындығын қарастырайық. Жарық абсолют сыну көрсеткіші n_1 болатын ортадан абсолют сыну көрсеткіші n_2 болатын ортаға өтетін. Сонда $n_1 = c/v_1$ және $n_2 = c/v_2$, осындан:

$$n_2 / n_1 = v_1 / v_2 = n_{21} \quad (6)$$

Осы жағдай үшін сыеудың екінші заңының формуласын былайша жазуға болады:

$$\sin i / \sin \beta = n_2 / n_1 \quad (7)$$

Жарықтың толық шағылуы. Шектік бұрыш.

Жарық көзін қайсыбір мөлдір ортаға орналастырып, жарық сәулелерінің оптикалық жағыныны алғанда тығыздығы аздау болатын ортаға өтуін бақылайық, бұл орта мысалға, ауа болсын делік. Шектесу бетінде жарық шағылады, сынады; i түсу бұрышы артқан сайын шағылған сәуленің энергиясы артып отырады да, ал сынған сәуленің энергиясы кеміп отырады. Сонымен қатар қайсыбір $i_{\text{шек}}$ түсу бұрышы кезінде сынған сәуле орталардың шектескен бетін бойлай кетеді де, ал түсу бұрышы $i_{\text{шек}}$ шамасынан артық болатын кезде сығған сәулелер жалпы болмайды. Мұндай құбылысты тек жарық шектесу бетіне оптикалық тығызырақ жақтан түсетін кезде, яғни жарық сынған кезде перпендикулярдан, орталардың шектесу бетіне қарай ауытқитын кезде бақылауға болады. *Жарықтың мөлдір орталардың шектескен бетіне толық шағылатын құбылысты жарықтың толық шағылуы* деп аталады.

Жартылай шағылатын сәулелерді толық шағылатын сәулелерден айырып тұратын шекара $i_{\text{шек}}$ бұрышының мәнімен анықталады. β сыну бұрышы $\pi/2$ болатын кездегі сәулелердің $i_{\text{шек}}$ түсу бұрышын *түсудің шектік бұрышы* деп атайды. Толық шағылудың тек шектесу бетіне $i_{\text{шек}}$ шектік бұрыштан үлкен i бұрышпен келіп түсетін сәулелерде ғана болатындығын айта кетелік. Әрбір кезде шектік бұрыштың мәнін екі ортаның салыстырмалы сыну көрсеткіші бойынша анықтауға болады. Шындығында да, $i_{\text{шек}}$ бұрышы үшін $\beta = \pi/2$ болатындықтан, формуладан: $\sin i_{\text{шек}} / \sin(\pi/2) = n_2 / n_1$ болды.

$\sin(\pi/2) = 1$ екендігі ескере отырып, ақыры мыныған келеміз:

$$\sin i_{\text{шек}} = n_2 n_1 \quad (8)$$

Жарық қайсыбір ортадан вакуумге (ауаға) өткен кезде (8) қатынас:

$$\sin i_{\text{шек}} = 1 / n$$

түріне келеді.

Жарықтан толық шалығу құбылысы жарық өткізгіш талшықтар қондырғыларында пайдаланады. Мөлдір талшықтан бір шеті арқылы

бағытталған жарық талшықтан қабырғасынан көптеген рет шағылып және оның барлық иілімдерін қайталай отырып, оның екіншік шетінен шығады.

Максвелл теңдеулері физикалық қасиеттері біртекті болатын кеңістіктің облыстар үшін қорытып шығарылған. Бірақ оптикада \mathcal{E} ж/е μ шамалары бір немесе бірнеше беттерде өзгеріске ұшырайтын жағдайлар жиі кездеседі. Сол себепті шекаралық шарттар енгізу қажет. Беттік токтар мен еркін беттік зарядтар болмаған жағдайда Максвелл теңдеулері шекаралық шартты қанағаттандыру керек. Яғни, E ж/е H векторларының тангенциаль құраушылары тең болуы тиіс. Нормаль құраушыларының қатынасы \mathcal{E} ж/е μ шамаларына кері пропорционал болады, яғни $\varepsilon_1 E_{1n} = \varepsilon_2 E_{2n}$, $\mu_1 H_{1n} = \mu_2 H_{2n}$. Оптикада $\mu_1 = \mu_2 = 1$ болғандықтан, H векторының нормаль құраушылары өзара тең болады.

Егер бағыттаушы нормальдың косинустарын енгізсек онда (2) теңдеуді былай жазуға болады.

$$E = E_{00} \exp[i\omega(t - \frac{x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma}{v})] \quad (1)$$

Жазық электромагниттік толқынның екі біртекті изотропты ортаның жазық шекарасына түсуін қарастыралық. Екі ортаны да шексіз деп жорамалдайық. Олай болмаған жағдайда ортаның сыртқы шекарасындағы шағылуды қарастыруға тура келеді.

Оптикалық қасиеттері түрліше екі ортаның шекарасына түскен жазық толқын, екі толқынға, шағылған және екінші ортаға өткен толқынға жіктеледі. Сонымен бірінші ортадағы электромагниттік өріс түскен ж/е шағылған толқын өрісінен, ал екінші ортада сынған толқын өрісінен түзіледі.

xu жазықтығын екі ортаның шекарасы деп ($z=0$), ал түскен толқынның нормалы N zx жазықтығында ($\cos \beta = 0$) жатыр деп есептейміз. Шағылған ж/е сынған толқын да жазық деп жорамалдаймыз. Түскен (E) шағылған (E_1) және (E_2) толқындардың өрнектері мынадай түрде жазылады.

$$E = E_{00} \exp[i\omega(t - \frac{x \cos \alpha + z \cos \gamma}{v})];$$

$$E_1 = E_{10} \exp[i\omega(t - \frac{x \cos \alpha_1 + y \cos \beta_1 + z \cos \gamma_1}{v_1})]$$

$$E_{12} = E_{20} \exp[i\omega(t - \frac{x \cos \alpha_2 + y \cos \beta_2 + z \cos \gamma_2}{v_2})] \quad (2)$$

Мұндағы v_1 және v_2 - жарықтың бірінші ж/е екінші ортада таралу жылдамдығы.

Шекаралық шарт бойынша екі орта шекарасындағы электр өрісі кернеулігінің тангенциал құраушылары үздіксіз болу керек, яғни $z=0$ мына қатынас орындалуы тиіс

$$E_{\tau} + E_{1\tau} = E_{2\tau} \quad (3)$$

Бұл қатынас кез келген уақытта ж/е x пен y -тің кез келген мәнінде орындалады. (3) теңдеудегі $E_{\tau}, E_{1\tau}, E_{2\tau}$ мәндерінің (2) системадағы сәйкес мәндерін қойып, $z=0$ болғанда

$$E_{00} \exp[i\omega(t - \frac{x \cos \alpha}{v})] + E_{10} \exp[i\omega(t - \frac{x \cos \alpha_1 + y \cos \beta_{11}}{v_1})] = E_{20} \exp[i\omega(t - \frac{x \cos \alpha_2 + y \cos \beta_2}{v_2})] \quad (4)$$

(4) теңдеу мынадай жағдайларда орындалады:

а) $\cos \beta_1 / v_1 = \cos \beta_2 / v_2 = 0$, Бұл нәтиже E векторына нормаль N zx жазықтығында жатса, онда шағылған ж/е сынған толқындарға да нормальдар (N_1, N_2) осы жазықтықтарда жатады;

б) $\cos \alpha / v_1 = \cos \alpha_1 / v_1 \cos \alpha_2 / v_2$. Бұл нәтижеден екі қорытынды шығаруға болады: 1) $\cos \alpha = \cos \alpha_1$ яғни, $\alpha = \alpha_1$ электромагниттік толқынның шағылу заңын аламыз. 2) $\cos \alpha / \cos \alpha_2 = v_1 / v_2$, $\alpha + \gamma = \pi / 2$, $\alpha_2 + \gamma_2 = \pi / 2$ ескерсек, онда $\sin \gamma / \sin \gamma_2 = v_1 / v_2 = n_2 / n_1$. Яғни электромагниттік толқындардың сыну заңын аламыз.