

ЛЕКЦИЯ ТЕЗИСТЕРІ

1- дәріс. Кіріспе. Фотометрия. Жарықтың электромагниттік табиғаты.

Жоспар: Оптика пәні, оптикалық диапазон шекарасы. Фотометрлік шамалар: жарық ағыны, жарықталыну, жарық күші, жарықтылық, жарқырау. Фотометрлік шамалардың бірліктері. Максвелл теңдеулері. Электромагниттік толқынның ортадағы жылдамдығы. Электромагниттік толқынның көлденеңділігі. E ж/е H тербеліс векторларының синфазалығы. Электромагниттік толқындар энергиясы. Умов-Пойнтинг векторы.

Оптика (гректің *optike* - көрінетін қабылдаулар туралы ғылым) - физиканың оптикалық сәуле шығаруы (жарық), оның таралуы мен затпен әсерлесуіндегі байқалатын құбылыстар қарастырылатын бөлімі болып табылады. Оптикалық диапазонға тек қана көрінетін ғана сәуле емес, сонымен қатар инфрақызыл, ультра күлгін сәулелері де кіреді. Оптикалық диапазон 10нм - 1 мм аралығында орналасқан. *Ультракүлгін сәуле* 10 нм -380 нм аралығында, *көрінетін сәуле* 380 - 760 нм аралығында, *инфрақызыл сәуле* 760 нм - 1 мм аралығын алып жатады.

Жарық әсері жарық толқындары тасымалдайтын энергиямен анықталады. Бұл энергияны сипаттау үшін бірнеше ұғымдар мен арнайы бірліктер енгізіледі.

1. **Жарық ағыны.** dS аудандық беттен dt уақыт ішінде өтетін жарық энергия мөлшерін dW деп белгілейміз. dW/dt қатынасы dS бетінен өтетін жарық энергиясының ағынын анықтайды. dS бетінен өткен энергия $d\Omega$ денелік бұрыш аралығында тарайды.

$$d\Phi = \frac{dW}{dt} \quad (1)$$

$$d\Omega = \frac{dS}{r^2} \hat{n} \hat{s} \varphi \quad (2)$$

Мұндағы φ - конустың осі мен dS бетке түсірілген сыртқы нормаль n арасындағы бұрыш, r -нүктелік жарық көзінен dS бетке дейінгі қашықтық.

2. **Жарық күші.** Бірлік денелік бұрышқа келетін жарық ағынының мөлшерін *жарық күші* деп атайды.

$$I_e = d\Phi_e / d\Omega \quad (3)$$

Жарық күші бағытқа байланыссыз таралса жарық көзін изотропты деп аталады.

$$I = \hat{O} / 4\pi \quad (4)$$

3. Жарықтылық. Белгілі өлшемдері бар жарық көзінің жарық шығаруын сипаттау үшін *жарықтылық* деген шама қолданылады.

$$B_{\varphi} = d^2 \hat{O} / d\sigma \cos \varphi d\Omega \quad (5)$$

Жарықтылық деп берілген бағытта денелік бұрыш ішінде таралған жарық ағынының сол бұрышқа және жарық көзінің көрінер бетін қатынасын айтады.

Жарық көзінің жарықтылығы әр бағытта түрліше болуы мүмкін. Кейбір жарық көздерінің (Күн, абсолют қара дене ж/е т.б) жарықтылығы бағытқа тәуелсіз тұрақты ${}_{\varphi} \hat{A}_{\varphi} = \hat{A} = const$ болады. Бұл сәуле шығару қуаты, яғни жарық күші нормаль мен бағыт арасындағы бұрыштың косинусына пропорционал болады. Сәуле қуатының бұрышына мұндай тәуелділігі *Ламберт заңы* деп аталады. Заңға бағынатын жарық көздері ламберттік деп аталады.

4. Жарқырау. Көбінесе жарық көзінің берілген бағыттағы емес қорытынды сәуле шығаруын пайдалану қажет болады. Бұл жағдайда жарық көзі *жарқырау* деген шамамен сипатталады.

Жарық көзі бетінің әрбір аудан бірлігінен шығатын жарық ағынын жарқырау деп атайды.

$$R = d\Phi / dS \quad (6)$$

Ламберттік беттер үшін ${}_{\varphi} \hat{A}_{\varphi} = \hat{A}$

$$R = \pi B \quad (7)$$

5. Жарықталыну. *Жарықталыну* деп бірлік беттік ауданнан өтетін жарық ағынының мөлшерін айтады.

$$E = d\Phi / dS \quad (8)$$

Нүктелік жарық көзінен болатын беттің жарықталынуын анықтайық. $d\Phi = Id\Omega$ және $d\Omega = dS / r^2 \tilde{n} \tilde{s} \varphi$ болғандықтан.

$$E = d\Phi / dS = I / r^2 \cos \varphi \quad (9)$$

Өлшем бірліктері. Негізгі фотометрлік шама ретінде жарық күші алынған. Жарық күшінің өлшем бірлігі - *кандела* (кд).

Кандела - ауданы $1 / 6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ беттен нормаль сәуле шығаратын қара дененің платинаның қату температурасында ($2046,6^\circ \text{К}$) шығаратын жарық күшін айтады.

Басқа фотометрлік шамалар осы негізгі шамадан формула бойынша туындайды.

Жарықтың электромагниттік табиғаты

Электромагниттік толқынның бар екендігі жайында Максвелдің теориялық қорытындысына эксперименттік тұрғыдан тексеруді 1888 жылы Герц жүзеге асырған болатын.

Электромагниттік толқын деп, электромагниттік өрістің кеңістікте таралуы кезінде электр және магнит өрістер кернеулігінің белгілі бір периодты заңдылық бойынша өзгеруін айтамыз. Электромагниттік толқындар көзі болып кез келген электрлік тербелмелі контур немесе бойынан айнаымалы ток жүретін кез келген жай қарапайым өткізгіш бола алады. Сонымен қатар электромагниттік толқындар көзінің сәулелену қабілеттілігі оның пішіні мен өлшемдеріне, сол сияқты тербеліс жиілігіне тәуелді.

Электромагниттік толқындар, әдетте ашық тербелмелі контурда жақсы сәулеленеді. Ал жабық тербелмелі контурда электр өрісі негізінен конденсатор астарларының арасында шоғырланғанда, магнит өрісі катушканың өрісі катушканың ішінде шоғырланады.

Сөйтіп, электромагниттік толқын көзінің сәулелену қабілеттілігін үлкейту үшін, берілген тербелмелі контурдың электромагниттік өріс тудыратын кеңістік көлемін үлкейту қажет. Ол үшін толқын көзі сәулелену антеннасында тұрғын толқын тудырып, оның амплитудасының максимал мәні болуы керек. Сонымен, электромагниттік толқындар таралуы және қабылдануы үшін, сәулелену тербелісінің меншікті жиілігі (ω_0) сыртқы қабылдаушының жиілігіне (ω_k) тең болатын резонанстық шарт орындалуы тиіс.

Енді Максвелдің теңдеулерін пайдалана отырып, жазық электромагниттік толқындардың теңдеуін шығарып алайық:

$$\oint E dl = -\frac{dB}{dt} S, \\ \oint H dl = \frac{dD}{dt} S \quad (1)$$

Мұндай контурлы интегралдарды есептеу үшін, \vec{D} және \vec{B} векторларының бағыты бұранда ережесінің оң бағытымен сәйкес келуі керек. Есептеулерді еңілдету үшін электромагниттік өрістің қозу нүктесінде \vec{E} векторы барлық уақытта OZ осіне, ал \vec{H} векторы OY осіне параллель болсын. (1) теңдеуді пайдалана отырып және суреттегі қатынастарды ескеріп, түрлендірсек, мынадай қатынастарды аламыз:

$$\frac{\partial H}{\partial x} = \frac{\partial D}{\partial t} = \epsilon \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial E}{\partial x} = \frac{\partial B}{\partial t} = \mu \mu_0 \frac{\partial H}{\partial t} \quad (3)$$

Егер (2) теңдеуді уақыт бойынша және (3) өрнекті координат бойынша туындылап, сонымен қатар ε және μ тұрақты шамалар деп өрнектердің мынадай дербес тиындыларын алайық:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x \partial t} = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}, \quad \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \mu \mu_0 \frac{\partial^2 H}{\partial x \partial t}$$

Осы теңдеулерден мынаны табамыз:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = \frac{1}{\varepsilon \varepsilon_0 \mu \mu_0} \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} \quad (4)$$

Осы табылған өрнек жазық *электромагниттік толқынның дифференциалдық теңдеуі* деп аталады. Осы теңдеудің шешуі

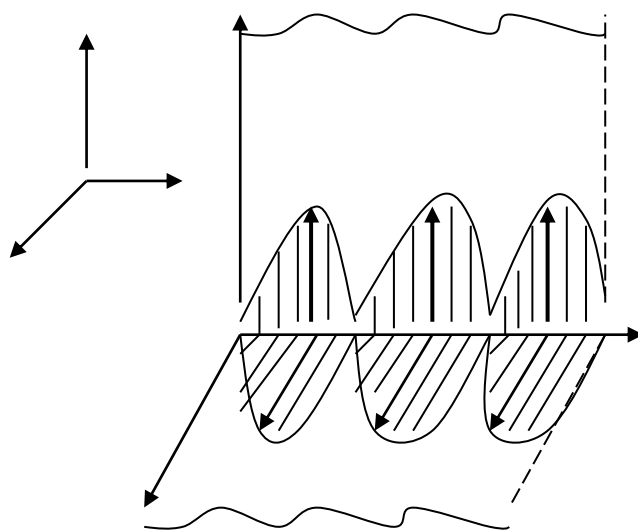
$$E = E_0 \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right), \quad (5)$$

бұл өрнек толқынның синусоида заңдылығы бойынша таралатындығын көрсетеді. Таралу жылдамдығы c мынаған тең:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \varepsilon_0 \mu \mu_0}} = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{\varepsilon \mu}} \text{ м/с} \quad (6)$$

Ал E және H шамаларының мәндері өзара былайша теңгеріледі

$$\sqrt{\varepsilon \varepsilon_0} \vec{E} = \sqrt{\mu \mu_0} \vec{H} \quad (7)$$



1- сурет

Сөйтіп, \vec{E} және \vec{H} векторлары толқынның таралу нүктелерінде бір-біріне пропорционал болады. Сонымен қатар, бұл шамалар бір-біріне перпендикуляр бағытта таралады. Мұндай электромагниттік толқындарды *көлденең толқындар* деп атайды.

Тікбұрышты координаттар жүйесінде \vec{E} және \vec{H} векторларының проекциялары толқын жиілігі деп аталатын бірдей жиілікпен гармоникалық тербеліс жасайтын электромагниттік толқындарды монохроматты толқын дейді (1- сурет). Электромагниттік толқынның интенсивтігі деп бірлік уақытта толқынның таралу бағытына перпендикуляр бірлік аудан арқылы тасымалданатын энергияға тең болатын шаманы айтамыз, яғни

$$I = [\vec{E} \cdot \vec{H}] \quad (8)$$

1. *Электромагниттік өріс жылдамдығы* $v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}}$;

болатын электромагниттік толқын түрінде таралады. c - жарықтың вакуумдағы жылдамдығы;

2. *Электромагниттік толқындар көлденең, яғни электр және магнит өрістерінің кернеулік векторлары толқынның таралу бағытына*

перпендикуляр. $\vec{v} \perp \vec{E}$ ж/е $\vec{v} \perp \vec{H}$, v - берілген ортадағы толқынның таралау жылдамдығы.

3. Жазық электромагниттік толқында \vec{E} ж/е \vec{H} векторлары өзара перпендикуляр ж/е v , \vec{E} , \vec{H} векторлары оң бұранда жүйесін құрайды. Басқаша айтқанда, егер v базытында қарасақ \vec{E} векторының \vec{H} векторына бұрылу бағыты сағат тілінің стрелкасының бұрылуына сәйкес келеді;

4. Жазық жүгірмелі монохроматты толқынның \vec{E} ж/е \vec{H} векторлары бірдей фазада тербеледі. Яғни, кеңістіктің бір нүктесінде максимум ж/е минимум мәнге ие болады.

Электромагниттік толқынның энергиясы және толқынның сәулеленуі

Электромагниттік толқынның таралуы электромагниттік өрісті сипаттап оған қоса энергияның тасымалдану мүмкіндігін көрсетеді. Толқын мен энергияны тасымалдау үшін, энергия ағынының тығыздығы ω деген векторлық шама ендірейік. Ол сан жағынан энергия берілетін бағытқа перпендикуляр болатын бірлік аудан арқылы бірлік уақыт ішінде тасымалданатын энергия мөлшеріне тең. Сөйтіп, энергия ағынының тығыздығы векторының бағыты энергияның тасымалданған бағытымен дәл келеді. Сөйтіп, электр өрісі энергиясының тығыздығы мына формула арқылы анықталады:

$$\omega_{\text{э}} = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2,$$

ал магнит өрісі энергиясының тығыздығы

$$\omega_{\text{м}} = \frac{1}{2} \mu \mu_0 H^2$$

Сонымен, электромагниттік өріс энергиясының тығыздығы ω электр мен магнит өрістері энергиясының тығыздықтарының қосындысынан тұрады:

$$\omega = \omega_{\text{э}} + \omega_{\text{м}} = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \mu \mu_0 H^2$$

Электр және магнит өрістері энергиясының тығыздықтары уақыттың бір мезетінде бірдей бола алады, яғни $\omega_{\text{э}} \sim \omega_{\text{м}}$, сондықтан

$$\omega = 2\omega_{\text{э}} = \varepsilon \varepsilon_0 E^2$$

Электромагниттік толқындар жарық жылдамдығындай жылдамдықпен (c) таралатын болса, онда бірлік уақытта бір ауданнан өтетін энергия ағынының шамасы мынаған тең:

$$P = \omega \cdot c = \frac{1}{2} (\varepsilon \varepsilon_0 E^2 + \mu \mu_0 H^2) \quad (9)$$

Максвелл теоремасының салдары болатын мына қатынасты

$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \varepsilon_0 \mu \mu_0}}$ ескеріп, (9) өрнекті мынадай түрде жазайық:

$$\vec{P} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0}{\mu\mu_0}} \vec{E}^2 + \sqrt{\frac{\mu\mu_0}{\varepsilon\varepsilon_0}} \vec{H}^2 \right) \quad (10)$$

Бағыты жағынан электромагниттік толқынның таралу бағытымен сәйкес \vec{P} векторын *Умов- Пойнтинг векторы* деп атайды. Бұл вектор электромагниттік толқындардың бірлік уақыт ішінде бірлік аудан арқылы тасымалдайтын энергиясына тең болады.

Жекеленген зарядтар қозғалысы немесе уақыт бойынша өзгеретін электр токтары электромагниттік толқындарды қоздырады. Сөйтіп, электрлік жүйенің электромагниттік толқындарды қоздыруын электромагниттік толқынның сәулеленуі деп атайды. Электромагниттік өріс толқындары сәулелендіретін жүйені сәулелену өрісі деп атаймыз.

Сонымен, сәулелендіру жүйесінің қарапайым мысалы болып гармоникалық осциллятор, яғни электрлік диполь есептеледі. Сонда электр моментінің уақытқа байланысты гармоникалық заңдылық бойынша өзгеруі мынадай болады

$$P_e = P_0 \sin \omega t, \quad (11)$$

мұндағы P_0 - электр моментінің тербеліс амплитудасы. Айнымалы тогы бар электрлік жүйе өзін қоршаған ортада айнымалы электромагниттік өріс тудырады. Олай болса, осы жүйе белгілі бір мөлшерде электромагниттік толқындарды сәулелендіреді.

Сол сияқты атомдар мен молекулалар да көзге көрінбейтін электромагниттік толқындарды сәулелендіреді. Электромагниттік толқындар жиілігі мен толқын ұзындықтары бойынша өте кең мөлшердегі диапазонды алып жатады, оны мына 4- кестеден анық көруге болады.

Бірінші рет электромагниттік толқындарды 1895 жылы 7 майда орыс ғылымы А.С.Попов (1859-1906) орыстың физика- химиялық қоғамының мәжілісінде сымсыз

<i>Толқындар аттары</i>	Жиілік диапазоны (Гц)	Толқындар ұзындығының диапазоны (м)
Аса ұзын.	1. $< 3 \cdot 10^4$	1. > 10000
Ұзын	2. $3 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^5$	2. 10000-10000
	3. $3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^6$	3. 1000-100
3. Орташа	4. $3 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^7$	4. 100-10
4. Қысқа	5. $3 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^8$	5. 10-1
	6. $3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^9$	6. 1-0,1
5. Ультра- метрлік	7. $3 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{10}$	7. 0,1-0,01

6. Қысқа дециметрлік	$8.3 \cdot 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$	8. 0,01-0,001
7. сантиметрлік		
8. миллиметрлік		

байланыс жасау үшін қолдануға болатындығын айтты. Электромагниттік толқындардың сантиметрлік және миллиметрлік диапазонды түрлері таралу кезінде әр түрлі тосқауылдардан шағылысады. Толқындардың осындай құбылысы радиолокацияда қолданылады. Мысалы, өте алыс қашықтықта кейбір денелерді, яғни сомолет, корабльдерді т.б табу және олардың орындарын дәл анықтау үшін қолданылады