

2-ДӘРІС



Асқарұлы Қыдыр
PhD., қауымдастырылған профессор

Заттағы электромагниттік толқындар

Жарық дисперсиясы

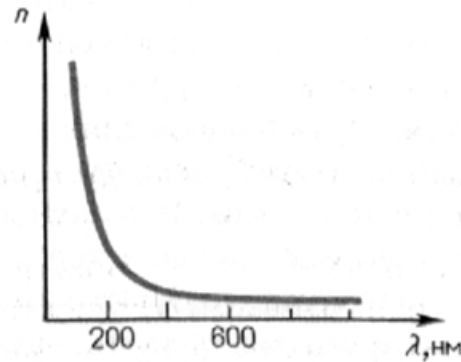
Жарықтың дисперсиясы деп заттың сыну көрсеткішінің толқын ұзындығына тәуелділігін айтады. Дифракциялық және призмалық спектрлердегі ерекшеліктерге тоқталайық.

1. Дифракциялық тор түскен сәулені оның толқын ұзындықтары бойынша тікелей ажыратады, дифракциялық максимумдарға сәйкес пайда болған бағыттарының бұрыштарын өлшеп, толқын ұзындығын есептеуге болады. Призма, түскен жарық шоғын сыну коэффициенттері бойынша жіктейді. Сондықтан жарық толқынының ұзындығын анықтау үшін призма арқылы жасалған заттың $n=f(\lambda)$ тәуелділігін білу керек. $n=f(\lambda)$ графигін дисперсия қисығы деп атайды. Толқын ұзындығын бұл қисықтықтан емес, призмалық спектрографтың белгілі спектрлерін градуирлеу арқылы есептейді.

2. Спектрлердегі құраушы түстердің орналасу тәртібі призма мен дифракциялық торда әртүрлі болады. Дифракциялық тор үшін ауытқу бұрышының синусы толқын ұзындығына пропорционал болады да, ауытқу бұрышы толқын ұзындығы өскен сайын артады. Нәтижесінде қызыл сәулелер (үлкен толқын ұзындығы бар) дифракциялық торда күлгін сәулелерге қарағанда күштірек ауытқиды. Призма сәулелерді спектрге сыну коэффициенті бойынша жіктейді. Қызыл сәулелердің сыну коэффициенті күлгін сәулелерге қарағанда аз болғандықтан, призма оларды күлгін сәулелерге қарағанда нашар ауытқытады.

Спектрлік құрамды призмалық спектрограф көмегімен анықтаудың кемшіліктеріне (градуирлеу жасау, спектр бөлігінің әр жерінде әртүрлі дисперсия) қарамастан, олар спектрлік талдау мақсатында кеңінен қолданылады. Призманы жасау дифракциялық торға қарағанда едәуір оңайырақ, соған қоса призмалық спектрографта үлкен жарық күшін алуға болады. $D = \frac{dn}{d\lambda}$ шамасы *заттың дисперсиясы* деп аталады, ол толқын ұзындығы бойынша сыну көрсеткішінің өзгеру жылдамдығын көрсетеді.

7.1-суретінен – мөлдір заттар үшін сыну көрсеткіші толқын ұзындығы азайған сайын монотонды түрде өседі, сондықтан $\frac{dn}{d\lambda}$ модуль бойынша λ кеміген сайын артады. Мұндай дисперсия *нормаль дисперсия* деп аталады. Егер зат сәулелердің бөлігін жұтатын болса, онда жұту аймағы мен оның маңында дисперсия жүруі аномальді түрде болады, сондықтан ол *аномаль дисперсия* деп аталады.



7.1-сурет. Сыну көрсеткішінің толқын ұзындығына тәуелділігі.

Жарық дисперсиясының электрондық теориясы

Максвелдің макроскопиялық электромагниттік теориясы бойынша ортаның абсолют сыну көрсеткіші $n = \sqrt{\varepsilon\mu}$, мұндағы ε – ортаның диэлектрлік өтімділігі, μ – ортаның магнит өтімділігі. Барлық зат үшін спектрдің оптикалық аумағында $\mu=1$, сондықтан

$$n = \sqrt{\varepsilon}. \quad (7.1)$$

Жарықтың электрондық теориясын біртекті диэлектрикке қолданайық; жарық дисперсиясы ε -нің жарық толқындарының жиілігін ω тәуелді салдары деп ойлайық. Анықтама бойынша заттың диэлектрлік өтімділігі

$$\varepsilon = 1 + \varkappa = 1 + \frac{P}{\varepsilon_0 E},$$

мұндағы \varkappa – ортаның диэлектрлік сезімталдығы, ε_0 – электр тұрақтысы, P – поляризацияланудың лездік мәні. Олай болса

$$n^2 = 1 + \frac{P}{\varepsilon_0 E}. \quad (7.2)$$

Бірінші жуықтауда еріксіз тербелістерді көбіне ядромен нашар байланысқан, тек сыртқы электрондар – оптикалық электрондар жасайды деп есептеуге болады. Бір оптикалық электрон тербелісін қарастырайық.

Еріксіз тербеліс жасайтын электронның дипольдік моменті $p=ex$, мұндағы e – электрон заряды, x – жарық толқынының электр өрісі әсерінен электрон ығысуы. Диэлектриктегі атомдар концентрациясы n_0 болса, онда поляризацияланудың лездік мәні

$$P = n_0 p = n_0 ex . \quad (7.3)$$

(7.2) мен (7.3)-тен

$$n^2 = 1 + \frac{n_0 ex}{\varepsilon_0 E} . \quad (7.4)$$

Электромагниттік толқындардың затқа әсері кезінде өріс кернеулігі

$$E = E_0 \cos \omega t \quad (7.5)$$

болады. Электронның еріксіз тербеліс теңдеуі (кедергі күшін елемегенде) мына түрде жазылады:

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t = \frac{e}{m} E_0 \cos \omega t , \quad (7.6)$$

мұндағы $F_0 = eE_0$ – толқын өрісі тарапынан электронға әсер етуші күштің амплитудалық мәні, $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ – электрон тербелісінің меншікті жиілігі, m – электрон массасы.

(7.6)-теңдеуінің шешімін мына түрде жазуға болады

$$x = A \cos \omega t. \quad (7.7)$$

мұндағы

$$A = \frac{eE_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}. \quad (7.8)$$

(7.7) және (7.8) теңдеулерін (7.4) теңдікке қойсақ:

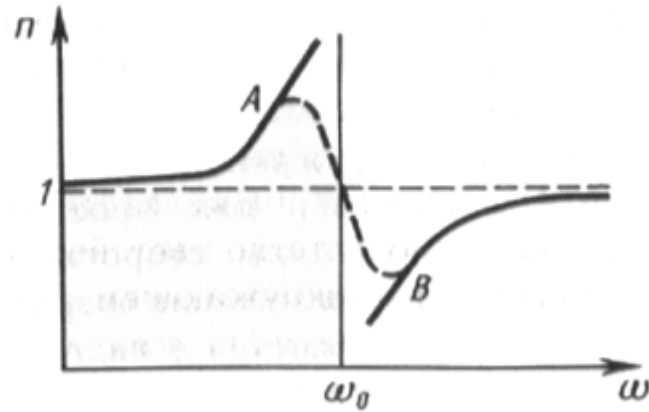
$$n^2 = 1 + \frac{n_0 e^2}{\varepsilon_0 m (\omega_0^2 - \omega^2)}. \quad (7.9)$$

Егер затта әртүрлі меншікті жиілікті ω_{0i} , еріксіз тербелістер жасайтын әртүрлі e_i зарядтар болса, онда

$$n^2 = 1 + \frac{n_0}{\varepsilon_0} \sum_i \frac{\varepsilon_i^2 / m_i}{\omega_{0i}^2 - \omega^2}. \quad (7.10)$$

мұндағы m_i – i -ші заряд массасы. Соңғы теңдеулерден көретініміз: сыну көрсеткіші n сыртқы өріс жиілігіне ω тәуелді, бұл жарық дисперсиясы құбылысының дәлелі болады.

7.2-суретінде n -нің ω -ға тәуелділігі көрсетілген, АВ – аномаль дисперсия аумағы (n кемиді ω -нің өсуі кезінде), n -нің ω -ге тәуелділігінің басқа бөліктері нормаль дисперсияны суреттейді (n өседі ω -ның өсуі кезінде).



7.2-сурет. Сыну көрсеткішінің жиілікке тәуелділігі.

Жарықтың жұтылуы

Жарықтың жұтылуы (адсорбциясы) деп зат арқылы өткен жарық толқынының толқын энергиясының басқа түрге түрлену салдарынан, энергия жоғалту құбылысын айтады. Нәтижесінде жарық арқылы өткенде интенсивтік азаяды.

Заттағы жарық жұтылуы Бугер заңымен бейнеленеді:

$$I = I_0 e^{-\alpha x}, \quad (7.11)$$

мұндағы I_0 мен I – жазық монохромат жарық толқынының қалыңдығы x жұту затына кірудегі және шығудағы интенсивтіктері, α – жарық толқынының ұзындығына, химиялық табиғатына және зат күйіне тәуелді жұту коэффициенті; ол жарық интенсивтігіне тәуелді емес. (7.11)-ді дифференциалдап мынаны аламыз:

$$dI = -I_0 \alpha e^{-\alpha x} dx. \quad (7.12)$$

Бұдан – интенсивтіктің dx жолындағы азаюы, осы жол ұзындығына және интенсивтік мәніне пропорционал. (7.11)-ден $x=1/\alpha$ кезінде интенсивтік I мәні I_0 -ден e есе аз болатынын көреміз. Жұту коэффициенті жарық интенсивтігі e есе азаятын қабат қалыңдығынан өткенде, оған кері шама болатынын көреміз.

Жұту коэффициенті толқын ұзындығына λ тәуелді, ол әртүрлі зат үшін әртүрлі шама. Мысалы, біратомды газдар мен металл буларының жұту коэффициенті нольге жақын; тек қана өте тар спектрлік аумақтарда (шамамен 10^{-12} - 10^{-11} м) өткір минимумдар болады (сызықты жұту спектрі). Бұл максимумдар электрондардың атом ішіндегі тербелістерінің резонанс жиілігіне сәйкес келеді. Молекулалардағы атомдардың тербелістерімен анықталатын молекулалардың жұту спектрі жұту жолақтарымен сипатталады (10^{-10} - 10^{-7} м). Диэлектриктер үшін жұту коэффициенті аз шама (10^{-3} - 10^{-5} см⁻¹), бірақ оларда жарықты кейбір толқын ұзындығы интервалында селективті түрде жұтуы болады, α кенет өседі, жұтудың кең аумақтары байқалады, яғни диэлектриктер тұтас жұту спектріне ие болады. Жоғары қысымдағы газдар, сондай-ақ сұйық пен қатты денелер кең жұту жолақтарына ие болады.

Металдар жарық үшін мөлдір зат емес (жұту коэффициенті $\sim 10^6 \text{ м}^{-1}$). Ол металдарда еркін электрондардың болуымен түсіндіріледі. Жарық толқындарының электр өрісінің әсерінен еркін электрондар қозғалысқа түседі – металдарда, Джоуль жылуын бөлетін шапшаң айнаымалы өзгеретін токтар пайда болады. Жарық толқынының энергиясы металдың ішкі энергиясына өтуі нәтижесінде тез азаяды. Металдың өткізгіштігі көп болған сайын, ондағы жарықтың жұтылуы көп болады. Жұтатын денелердің түрлі-түсті болулары жұту коэффициентінің толқын ұзындығына тәуелділігімен түсіндіріледі. Шыны, мысалы, қызыл және қызғылт сары сәулелерді нашар жұтып, жасыл мен көк сәулелерді күшті жұтады, ал енді шыныға ақ жарықты түсіргенде ол қызыл түсті болып көрінеді. Егер осындай шыныға жасыл және көк жарықты түсірсек, бұл толқын ұзындығындағы жарықты күшті жұтуы себебінде қара түсті сияқты болады. Бұл құбылыс жарық фильтрлері өндірісінде қолданылады.

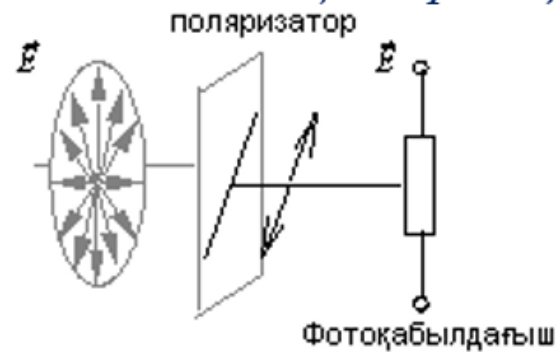
Поляризацияланған және поляризацияланбаған жарық. Малюс заңы

Егер жарық векторының бағыттары қандай да бір тәсілмен реттелген болса, онда жарық *поляризацияланған* деп аталады,

Кәдімгі жарықта бұл бағыттар тұрақты түрде өзгереді. Мұндай жарық *поляризацияланбаған* жарық болып табылады.

Жарық поляризациясын қалай бақылауға болады? Жарықты \vec{E} векторының кейбір бағытымен ғана өткізетін құралдар болады (оларды *поляризаторлар* немесе *анализаторлар* деп атайды). Жарық поляризацияланбаған болса, анализаторды горизонталь осі маңында бұрғанда фотоқабылдағыштағы жарық интенсивтігі өзгермейді: электр векторының тербеліс амплитудасы өзгермейді.

Егер поляризацияланбаған жарықты поляризатор арқылы өткізсе, онда өткен жарық *сызықты* немесе *жазықполяризацияланған* болады. (7.3-сурет)



7.3-сурет. Поляризацияланған жарықты алу сұлбасы.

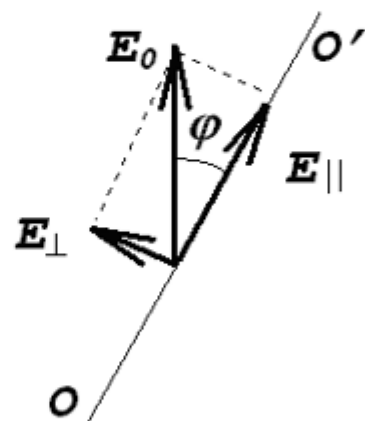
Мұндай жағдай үшін поляризация дәрежесі деген ұғым енгізіледі. Поляризация дәрежесі келесі өрнек арқылы анықталады:

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}. \quad (7.13)$$

Электр өрісі кернеулік \vec{E} векторының тербеліс амплитудалары поляризация жазықтығында үлкен мәнге ие болады. Мұндай жағдайда $I_{\min}=0$ болып, ал поляризация дәрежесі бірге тең болады, яғни $P=1$. Табиғи жарық үшін $I_{\max}=I_{\min}$ және $P=0$.

Жазық поляризацияланған жарық үшін Малюс заңы орындалады. Электр векторының тербелістері вертикаль жазықтықта және тербеліс амплитудасы E_0 болсын. Анализатор осі поляризация бағытымен алғанда φ бұрышқа бұрылған болса, фотолқабылдағышқа мынадай амплитудалы жарық (7.4-сурет) келіп жетеді

$$E_{\parallel} = E_0 \cos \varphi . \quad (7.14)$$



7.4-сурет. Тербеліс амплитудасының E_0 анализатор осіндегі проекциясы.

Суреттен жарық векторының перпендикуляр бағытағы проекциясы нөлге тең, өйткені ол бағыттағы жарық анализатордан өтпейді.

Интенсивтілік амплитуда квадратына тура пропорционал $I \sim E^2$ болғандықтан, келесі өрнекті оңай аламыз:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi, \quad (7.15)$$

мұндағы I_0 – поляризацияланған жарық интенсивтігі, I – анализатордан өткен жарықтың интенсивтігі, φ – поляризатор мен анализатор остерінің арасындағы бұрыш.

Жоғарыдағы өрнектегі I_0 поляризацияланған жарықтың интенсивтігін I_p деп, ал I анализатордан өткен жарықтың интенсивтігін I_A деп белгілейік. Онда (7.15) өрнекті мына түрде жазамыз:

$$I_A = I_p \cos^2 \varphi. \quad (7.16)$$

(7.16) өрнегі *Малюс заңы* деп аталады.

Егер табиғи жарықты поляризация жазықтықтары φ бұрыш құрайтын екі поляроидтан өткізсек, біріншісінен жазық поляризацияланған жарық интенсивтігі $I_D = \frac{1}{2} I_{\text{басты}}$ шықса, екіншісінен (7.16)-ке сәйкес интенсивтігі $I_A = I_D \cos^2 \varphi$ жарық шығады. Сондықтан екі поляроид арқылы өткен жарық интенсивтігі мынаған тең:

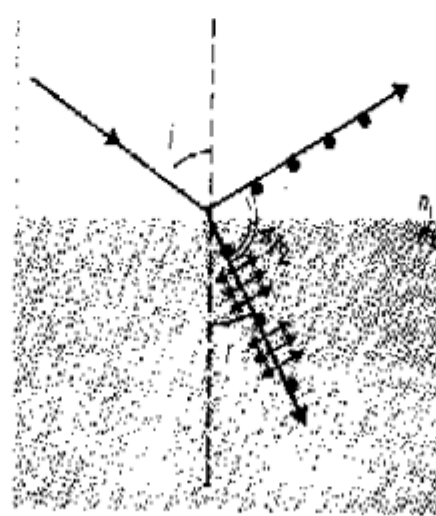
$$I = \frac{1}{2} I_{\text{басты}} \cos^2 \varphi . \quad (7.17)$$

Бұдан $I_{\text{max}} = \frac{1}{2} I_{\text{басты}}$, $\varphi=0$ (поляроидтар параллель) және $I_{\text{min}} = 0$, $\varphi = \frac{\pi}{2}$ (поляроидтар перпендикуляр) болады.

Жарықтың шағылу мен сыну кезіндегі поляризациясы. Брюстер заңы

Жарық толқыны екі орта шекарасынан өткенде, жарық толқынының жартылай шағылуы болады. Шағылған сәуле нормальмен түсу бұрышына тең шағылу бұрышын түзіп, түсу жазықтығында жататындай бағытта болады.

Шағылған жарықтың интенсивтігі поляризация күйіне тәуелді болатындықтан, әртүрлі тәсілмен поляризацияланған жарық орта шекарасынан әртүрлі интенсивтікпен шағылады, шағылған жарық жартылай поляризацияланған болады (7.5-сурет).



7.5-сурет. Шағылу және сыну кезіндегі жарықтың поляризациялану сұлбасы.

Поляризация дәрежесі түсу бұрышына тәуелді. Мына жағдайда

$$i + r = \frac{\pi}{2} \quad (7.18)$$

$tg(i+r)=\infty$ және $I_{\parallel}=0$, яғни шағылған жарықта тек қана түсу жазықтығына перпендикуляр тербелістер болады. Шағылған толқын толық поляризацияланған болады. $n_{21} = \frac{\sin i}{\sin r}$ және (7.18) шартынан келесі өрнекті аламыз:

$$tg i_B = n_{21}. \quad (7.19)$$

(7.19) өрнегі Брюстер заңы деп аталады. Шағылған жарықта тек қана түсу жазықтығына перпендикуляр поляризацияланған толқын болады, $i=i_B$ бұрышы толық поляризация бұрышы не Брюстер бұрышы деп аталады.

Бақылау сұрақтары:

1. Жарықтың заттарда таралуы.
2. Қалыпты (нормаль) дисперсияның классикалық өрнегі.
3. Дисперсияның электрондық теориясы.
4. Қалыпсыз (аномаль) дисперсияның табиғаты.
5. Жарықтың жұтылуы.
6. Поляризацияланған жарықты алудың сізге қандай әдістері белгілі?
7. Жұтылатын ортада таралатын жазық сызықты поляризацияланған монохромат толқын теңдеуі қандай түрде берілген?
8. Көрінетін жарықтың затпен әсерлесуі кезінде неліктен тек электрон ғана қатысады?

Назарларыңызға рахмет!