

3-ДӘРІС



Асқарұлы Қыдыр
PhD., қауымдастырылған профессор

Жарық толқындарының интерференциясы

Экранға жарық түскен кезде, жарық интенсивтігі біркелкі таралмай, ол максимал және минимал жарықталған жолақтармен ауысып, экранда интерференциялық сурет пайда болатындығы байқалады, яғни интерференция құбылысы пайда болады, кеңістіктің кейбір нүктелерінде когерентті жарық толқындарының бір-біріне беттесуі, кеңістіктің көрші нүктелеріндегі жарық энергиясының (интенсивтігінің) ағынының қайта орналасуына әкеледі.

Айталық, кеңістіктің кейбір Р нүктесінде бір мезетте екі монохромат толқын пайда болсын (жалпы жағдайда олар монохроматты болмауы да мүмкін), олардың кернеуліктері \vec{E}_1 және \vec{E}_2 . Суперпозиция принципі бойынша өрістің қортқы кернеулігі мынаған тең болады

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2,$$

оның интенсивтігі,

$$I \sim E^2,$$

ал
$$E^2 = (\vec{E}_1 + \vec{E}_2)^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2\vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2, \quad (5.1)$$

мұндағы $\vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 = E_1 E_2 \cos \alpha$ және α — олардың арасындағы бұрыш. Когерентті толқындарды тек жасанды әдіспен алу мүмкін: ол үшін жеке атом шығаратын толқынды қандай да бір оптикалық құралмен екі немесе одан да көп бөліктерге жіктеу қажет, содан соң, берілген Р нүктесінде оларды қосудың нәтижелерін бақылау керек. Осы кезде бір толқынның жеке бөліктері өзара когерентті болады.

Егер бұл толқындар әртүрлі жол (r_1, r_2) жүрсе (шығу нүктесінен бастап олардың қосылу нүктесіне дейінгі аралықта), онда олардың арасында фаза айырымы болады. Сонымен, біз екі тербелістің қосылуын қарастыралық

$$\begin{aligned} E_1 &= E_{01} \cos(\omega t - k_1 r_1 + \alpha_1) \\ E_2 &= E_{02} \cos(\omega t - k_2 r_2 + \alpha_2) \end{aligned} \quad (5.2)$$

Бұл бөліктер бір ғана толқынның бөлігі, олай болса, $E_{01} = E_{02} = E_0$ және $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_0$, толқындық векторлар әртүрлі болады: $k_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1}$ және $k_2 = \frac{2\pi}{\lambda_2}$, өйткені

бұл екі толқын r_1 және r_2 жол жүруі мүмкін. Олардың сыну көрсеткіштері n_1 , n_2 . Онда бұл когерентті толқындардың фаза айырымы

$$\delta = \varphi_1 - \varphi_2 = k_2 r_2 - k_1 r_1 = \frac{2\pi}{\lambda_2} r_2 - \frac{2\pi}{\lambda_1} r_1 = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_2 r_2 - n_1 r_1), \quad (5.3)$$

мұндағы λ_0 – вакуумдағы толқын ұзындығы, $n_2 r_2 - n_1 r_1 = \Delta$ – жарық толқынының оптикалық жол айырымы. Сонымен, фаза айырымы мен оптикалық жол айырымы арасындағы байланыс:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot \Delta. \quad (5.4)$$

Интерференциялық максимум $\cos \delta = 1$ мәні кезінде байқалады, демек $\delta = 2\pi m$ үшін ($m=0,1,2, \dots$)

$$2\pi m = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta,$$

осыдан

$$\Delta_{\max} = m\lambda_0 = 2m \frac{\lambda_0}{2}. \quad (5.5)$$

Интерференциялық минимум $\cos \delta = -1$ мәні кезінде байқалады, демек $\delta = (2m+1)\pi$,

онда

$$(2m+1)\pi = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta,$$

яғни

$$\Delta_{\min} = (2m+1) \frac{\lambda_0}{2}. \quad (5.6)$$

Қорыта айтқанда, максимум немесе минимумның болу шарты оптикалық жол айырымдарының мәні жұп немесе тақ жарты толқын ұзындығының мәніне тең болуына тәуелді болады. Жалпы тербелістер қосылғанда, олардың фазалары уақыттың функциясы $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$ болса, онда интерференция құбылысы байқалу үшін келесі шарт орындалуы қажет:

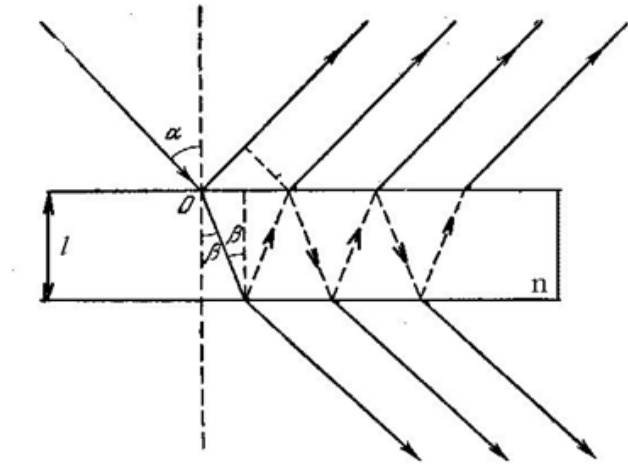
$$\varphi_1(t) - \varphi_0(t) = \text{const}$$

Қарастырылған интерференция құбылыстары кезінде $\omega_1 = \omega_2 = \omega$, яғни монохромат және \vec{E}_1 мен \vec{E}_2 өзара перпендикуляр жарық сәулелері қарастырылған болатын. Егер $\omega_2 - \omega_1 = \Delta\omega$, тіптен $\Delta\omega \ll \omega_1$ және $\Delta\omega \ll \omega_2$ болса, онда интерференциялық бейне тұрақсыз болып, соғу (биение) байқалған болар еді («Электр бөлімін қараңыз»). Екі өзара перпендикуляр $\vec{E}_1 \perp \vec{E}_2$, фаза айырымы $\delta = \varphi_1 - \varphi_2$ болатын толқындар қосылғанда, эллипстік немесе жазық үйектелген қорытқы толқын алған болар едік.

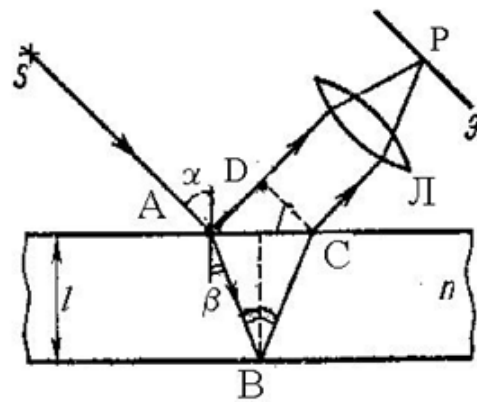
Жұқа жазық пластинкадағы жарықтың шағылу және өту кезіндегі интерференциясы

Қалыңдығы тұрақты l пластина бетіне α бұрышпен түскен жазық квазимонохроматты толқынның шағылуын және сынуын қарастырайық. Бұл толқын пластина беттерінде бірнеше рет шағылып және сынады, сөйтіп жарық ағынының біраз бөлігі пластина арқылы өтеді (5.1-сурет).

Біз пластинадан бір рет шағылған сәулені қарастырайық, ол түскен жарық ағыны А нүктесінде шағылған және сынған екі сәулеге жіктеледі (5.2-сурет)



5.1-сурет. Жарықтың жазықпараллель пластинадан бірнеше рет шағылған және сынған сәулелерінің сұлбасы.



5.2-сурет. Жарықтың жазықпараллель пластинадан шағылу және сыну сұлбасы.

Екінші сынған сәуле В нүктесінде шағылып, С нүктесінде сынып пластинкадан ауаға қайта шығады, ол шағылған 1 сәулеге параллель болады. Л линза бағытында жүрген жарық шоғында СД толқын фронтын жүргіземіз. Сонда шеткі 1-2 сәулелерінің арасындағы сәуленің оптикалық жол айырымы мынаған тең болады:

$$\Delta = (AB + BC)n - AD \pm \frac{\lambda_0}{2}, \quad (5.11)$$

мұндағы n – пластина затының сыну көрсеткіші, $\frac{\lambda_0}{2}$ – бірінші сәуле оптикалық тығыз ортадан шағылғанда өзінің фазасын қарама-қарсы бағытқа ауыстырады (π -ға тең шамаға), соған қосымша қосылғыш.

Бұл екі когерентті толқындардың интерференция нәтижесін линзаның фокус жазықтығына қойылған Э экрандағы Р нүктесінде бақылаймыз. АВС және АСД үшбұрыштарын қарастыра отырып, α түсу бұрышы мен пластинканың l қалыңдығына оптикалық жол айырымының тәуелділігін табамыз:

$$AB = BC = \frac{l}{\cos \beta}, \quad \text{онда} \quad (AB + BC)n = \frac{2nl}{\cos \beta} \quad \text{және}$$

$$AD = AC \cdot \sin \alpha = 2l \operatorname{tg} \beta \cdot \sin \alpha = \frac{2nl \cdot \sin^2 \beta}{\cos \beta},$$

мұнда $n \sin \beta = \sin \alpha$ сыну заңын пайдаландық. Сонымен,

$$\Delta = \left(\frac{2nl}{\cos \beta} - \frac{2nl \sin^2 \beta}{\cos \beta} \right) - \frac{\lambda_0}{2} = \frac{2nl}{\cos \beta} (1 - \sin^2 \beta) - \frac{\lambda_0}{2} = 2nl \cos \beta - \frac{\lambda_0}{2}. \quad (5.12)$$

$$n \cos \beta = \sqrt{n^2 - n^2 \sin^2 \beta} = \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad \text{пайдаланып,}$$

$$\Delta = 2l \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \frac{\lambda_0}{2} \quad (5.13)$$

екенін тапсақ, онда Р нүктесінде байқалатын максимум

$$2l \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \frac{\lambda_0}{2} = m \lambda_0 = 2m \frac{\lambda_0}{2} \quad (5.14)$$

және минимум

$$2l \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \frac{\lambda_0}{2} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda_0 = (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2}, \quad (5.15)$$

мұндағы $m=0,1,2,\dots$ интерференция реттері.

Жарықтың оптикалық жол айырымын анықтау үшін сыну бұрышы β белгілі болған кезде (5.12) өрнегі, ал түсу бұрышы белгілі болса, онда (5.13) өрнегі қолданылады.

Интерференциялық бейне тек уақыттық және кеңістіктік когеренттік шарттарын сақтағанда ғана байқалатындығы табиғи нәрсе. Бұл жағдайда пластина қалыңдығы мына шартты қанағаттандыруы керек

$$l \approx \frac{l_k}{2} = \frac{\lambda_0^2}{2 \cdot \Delta\lambda_0}, \quad (5.16)$$

мұндағы $\lambda_0 = 0,5$ мкм, $\Delta\lambda_0 = 0,2 \cdot 10^{-2}$ мкм – адам көзінің екі толқынды бір нәрсе ретінде қабылдау кезіндегі минимал интервал.

Есептеулер l -дің мәні үшін $l \cong 0,06\text{мм}$ -ді береді, сонымен, жұқа пластинкадан шағылған жарық сәулесі кезіндегі интерференцияның байқалуы былай болады: l пластинка қалыңдығының артуына байланысты тах және тін жақындайды, сөйтіп интерференциялық бейне жойылады. n мен λ (монохроматтық жарық) -ның берілген мәндері кезінде, қалыңдығы l тұрақты пластинкаға α түсу бұрышының әрбір мәніне өзінің интерференциялық жолағы (яғни тах және тін) сәйкес келеді. Бұл интерференциялық бейне *бірдей көлбеуліктегі жолақ деп аталады*. Егер пленканы ақ жарық жарықтандырса, онда әрбір толқын ұзындығына өзінің интерференциялық жолақ жүйесі сәйкес келеді, мысалы, су бетінің май (бензин) қабатындағы күнделікті бақыланатын түстерді келтіруге болады.

Бақылау сұрақтары:

1. Когерентті деп қандай толқындарды айтамыз?
2. Интерференция құбылысын қандай жағдайлар кезінде бақылауға болады?
3. Ньютон сақиналарын қалай алуға болады?
4. Көлбеулік және бірдей қалыңдықтағы (сынадағы) жолақтар деп нені айтамыз?
5. Жұқа пленкалардағы интерференция кезінде шағылған және сынған сәуле үшін интерференциялық максимумдар және минимумдар шарттарын қорытыңыз.

Назарларыңызға рахмет!