

Лекция - 3. ЖАРЫҚТЫҢ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯСЫ Тербелістің когеренттілігі. Интерференциялық бейнелердің көмектескі болу себебі. Когеренттіліктің ұзындығы және уақыты.

Лекцияның мақсаты: Жарықтың интерференция құбылысының физикалық мәнін, когеренттік ұғымын, интерференциялық жолақтардың түзілу шарттарын және олардың сипаттамаларын түсіндіру.

Негізгі сұрақтар

1. Интерференция ұғымы және жарық толқындарының когеренттігі.
2. Қорытқы тербеліс және интенсивтіктің фазалар айырымына тәуелділігі.
3. Когеренттік уақыт пен ұзындық.
4. Интерференциялық көріністің пайда болу шарттары.
5. Интерференциялық жолақтардың ені мен көрімділік функциясы.

Екі жарық шоғы қосылып қараңғылық туғыза алады. 1801 ж. ашылған (Юнг) осы ғажайып құбылыс **жарықтың интерференциясы** деп аталады. Осындай құбылыстар геометриялық оптика шеңберінде түсіндірілмейді. Жарықты толқын деп қарастырғанда ғана интерференцияны сәтті түсіндіруге болады. Осылай, жарықтың электромагниттік табиғаты ашылудан көп бұрын жарықтың толқын екендігі тағайындалды.

Жарық интерференциясын бақылау амалдары

Егер тәуелсіз екі жарық көзі немесе жарық шығарып тұрған дененің әртүрлі екі бөлігі кеңістіктің бір аймағына жарық толқындарын жіберетін болса, онда интерференция байқалмайды. Интерференциялық суреттің болмауы жарық көздері когерент емес толқындарды жіберетіндігін ғана көрсетуі мүмкін. Бұл жарық көздері шығаратын жарықтың монохромат еместігімен пара-пар, өйткені екі монохромат толқын әрқашан когерентті.

Сонымен, жарық көзінде өтетін бірқатар физикалық процестер шығарылатын толқынның фазасы мен амплитудасын тұрақты деп санауға болатын ең кіші уақыт аралығын анықтайды. Осы уақыт аралығы **когеренттік уақыты** ($\tau_{\text{ког}}$) деп аталады, ол шамамен $10^{-9} - 10^{-10}$ с деп бағаланады. Когеренттік уақытын білу арқылы өте маңызды басқа физикалық шаманы-**когеренттік ұзындығын** бағалауға болады; ол-толқынның фазасы мен амплитудасы орташа алғанда тұрақты болып қалатын уақыт ішінде толқынның таралатын $L_{\text{ког}} = c\tau_{\text{ког}}$ қашықтығы.

Сірә, $\tau_{\text{ког}}$ -тің қабылданған бағалануы жағдайында оптикадағы когеренттік ұзындығы 3-30 см болады. Кейбір дербес жағдайларда $L_{\text{ког}}$ толқын цугы ұзындығымен ($c\tau_c$) дәл келуі мүмкін.

Максимумдар орны $x_{\text{max}} = \pm m \frac{L}{d} \lambda$ болған жағдайда

Минимумдар орны $x_{\text{min}} = \pm(m + \frac{1}{2}) \frac{L}{d} \lambda$ болған жағдайда.

Көрші максимумдар немес минимумдардың ара қашықтығы

$$\delta x = \frac{L}{d} \lambda \quad (10)$$

жолақтың ені деп аталады. (10) формуладан жолақтар берілген L және λ мәндері жағдайында жарық көздерінің ара қашықтығы d неғұрлым кіші болса, соншалықты жолақтардың ені үлкенірек болады.

Бірақта атап өтетін нәрсе, кез-келген интерференциялық тәжірибеде кәдімгі жарық көздерін қолданған жағдайда қалқада $I_{\text{min}} \neq 0$ болатындай жарықталудың периодтық өзгерісі байқалады. Сондықтан интерференциялық суреттің сапасын бағалау үшін **көрімділік функциясы** деп аталатын шама енгізіледі

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (15)$$

Көрімділік функциясын табу үшін $I_{\max}$ және $I_{\min}$ өлшенеді, бұдан кейін (15) формула бойынша V есептелінеді.

Сірә, интерференциялық сурет пайда болмайтын жарық көздері когерентті болмаған жағдайда, $I_{\max} = I_{\min}$ болады, демек, осыдан көрімділік функциясы $V = 0$. Ал когерентті жарық көздері жағдайында қалқада интерференциялық бейне байқалады, мұндағы интенсивтіктің өзгерісі синусоидамен бейнеленеді, яғни $I_{\min} = 0$ және $V = 1$ болады. Аралық жағдайда да интерференциялық сурет байқалады, бірақ оның сапасы когеренттік жарықтандыруға қарағанда нашарлау болады: $0 < V < 1$. Осындай интерференциялық сурет беретін жарық көздерін **толық емес когерентті** деп атайды.

Бақылау сұрақтары

1. Интерференция құбылысы нені сипаттайды?
2. Когерентті және когерентті емес жарық көздерінің айырмашылығы неде?
3. Интерференциялық жолақтардың түзілу шарты қандай?
4. Жол айырымы дегеніміз не және ол қалай анықталады?
5. Көрімділік функциясының физикалық мәнін түсіндіріңіз.

Ұсынылатын әдебиеттер:

- Сивухин Д.В. 3-е изд., стереот. М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2021, 792 с.
- Савельев, И.В. Курс общей физики. В 3-х т.: Учебное пособие для студ.вузов/ И.В.Савельев.- 10-е изд.,стер.- СПб: Лань. - (Учебники для вузов. Специальная литература) Т.2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика, 2020, 496с.
- Иродов И.Е. Волновые процессы. Основные законы. Издательство "Лаборатория знаний", 8-ое издание, 2020, 266 стр.
- Иродов И.Е. Задачи по общей физике, 13-е изд. — М.: Лаборатория знаний, 2020, 431 стр.
- Жұманов К.Б. Оптика негіздері, Алматы: Қазақ университеті, 2020, 321 бет.

Аль-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті
Физикалық техникалық факультеті

ЖАРЫҚТЫҢ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯСЫ

Тербелістің когеренттілігі. Интерференциялық
бейнелердің көмектескі болу себебі.
Когеренттіліктің ұзындығы және уақыты.

Мархабаева А.А.

Тербелістер мен толқындардың когеренттігі және интерференция

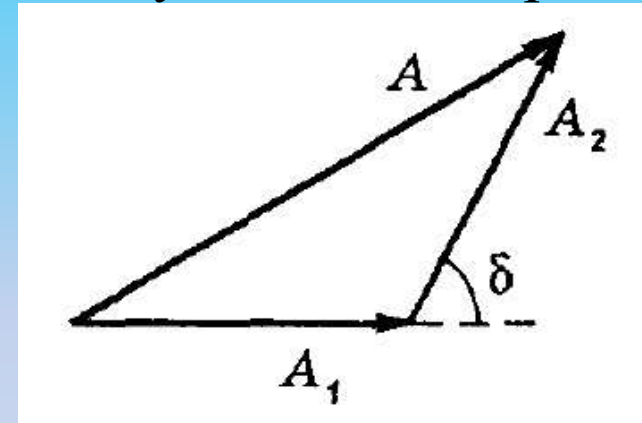
Периодтары бірдей бір бағытта тербелетін екі гармоникалық тербеліс қарастырайық

$$s_1 = a_1 \sin(\omega t + \varphi_1) \quad s_2 = a_2 \sin(\omega t + \varphi_2) \quad (1)$$

қосылған кездегі қорытқы тербелістің амплитудасын векторлық диаграмма және косинустар

теоремасымен табылады:

$$A^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$



өрнегінен қорытқы тербеліс амплитудасының квадраты қосылатын тербелістердің амплитудалары квадраттарының қосындысына тең емес, яғни қосынды тербеліс энергиясы жеке тербеліс энергияларының қосындысына тең болмайтындығы келіп шығады. Қосылу нәтижесі бастапқы тербелістердің фазалары ($\varphi_2 - \varphi_1$) айырымына тәуелді болады.

Қорытқы тербеліс интенсивтігінің кез келген τ уақыт аралығындағы орташа мәнін есептейік:

$$\begin{aligned} \langle A^2 \rangle &= \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} A^2 d\tau = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} (a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos \varphi) d\tau \\ &= a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \cos \varphi d\tau \end{aligned}$$

мұндағы $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ Егер τ бақылау уақыты ішінде φ өзгеріссіз қалатын болса, онда

$$\frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \cos \varphi d\tau = \cos \varphi$$

демек $\langle A \rangle^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos \varphi$, яғни

$$\langle I \rangle \neq I_1 + I_2$$

Егер тербелістер кездейсоқ үзілетін болса, немесе орташалау уақыты ішінде бұлардың **фазалары бейберекет өзгертін болса**,

онда

$$\frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \cos \varphi d\tau \rightarrow 0$$

сонда $\langle A \rangle^2 = a_1^2 + a_2^2$, яғни $\langle I \rangle = I_1 + I_2$ болады.

Сонымен периодтары бірдей екі тербеліс қосылғанда мынадай екі жағдай байқалады:

1) бақылау үшін жеткілікті уақыты ішінде екі тербелістің **фазалар айырымы тұрақты болған жағдайда** ($\varphi = \text{const}$) тербелістер **когерентті** деп аталады. Когерентті тербелістер **қосылғанда қорытқы тербеліс интенсивтігі бастапқы тербелістердің интенсивтіктері қосындысынан өзгеше болады**. Бұл құбылыс **тербелістердің интерференциясы** деп аталады;

2) уақыт ішінде фазалар айырымы **бейберекет** түрде өзгерсе, мұндай тербелістер **когерентті болмайды** да тербелістердің қорытқы интенсивтігі бастапқы тербелістердің интенсивтерінің қосындысына тең болады.
Когерентті емес тербелістер қосылғанда интерференция байқалмайды.

Егер **тербелістер когерентті болмаса**, яғни бір-бірінен тәуелсіз өтетін болса, онда бұлардың фазалары 0-ден 2π -ге дейінгі кездейсоқ мәндер қабылдайды, ал $\cos\varphi$ бірдей ықтималдықпен онда, теріс те (+1-ден -1 -ге дейінгі) мәндер қабылдайды. Осы жағдайда (4) өрнегіндегі екінші қосындының орташа мәні нөлге тең болады. Сондықтан интенсивтіктің орташа мәні үшін мынаны жазуға болады

$$\langle I \rangle = \sum_{i=1}^n a_i^2 = \sum_{i=1}^n I_i$$

яғни қорытқы интенсивтік жеке тербеліс интенсивтерінің қосындысына тең болады.

- Когерентті толқындар үшін фазалар айырымы тұрақты, яғни жарықтың интенсивтілігі қашықтықтардың айырымына тәуелді болады. $r_2 - r_1 = \Delta$

- Бұл шаманы жол айырымы деп атайды. Егер жарық сыну көрсеткіші әртүрлі ортадан өтетін болса, жол айырымы келесі түрде болады:

$$\Delta = \int n_2 dl - \int n_1 dl,$$

- Оны оптикалық жол айырым деп атайды.
- Фазасы келесі түрде өрнектеледі

$$\varphi = 2\pi \frac{r_2 - r_1}{\lambda} = k\Delta$$