

Лекция - 4. ЖАРЫҚ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯСЫ. Оптикадағы когерент толқындарды алу әдісі.

Лекцияның мақсаты

Когерентті жарық көздерін алу тәсілдерін, интерференциялық жолақтардың түзілу шарттарын, интенсивтіктің өзгеру заңдылығын және көрімділік функциясын түсіндіру.

Негізгі сұрақтар

1. Когерентті жарық көздерін алу әдістері.
2. Интерференциялық жолақтардың түзілу шарты.
3. Интерференциялық жолақ ені және оның есептеу формулалары.
4. Көрімділік функциясы және интерференциялық суреттің сапасы.
5. Лазерлік интерференциялық тәжірибелер.

Қысқаша мазмұны

Когерент толқындарды алу әдістері

Когерент көздерді тікелей алу мүмкін емес (көп жағдайда жарық көздері когерентсіз), сондықтан бір бастапқы көзден когерент толқындарды алу әдістері қолданылады.

Негізгі әдістер:

1) Толқын фронтын бөлу әдісі (Division of Wavefront)

Бұл әдісте бір бастапқы жарық көзінен шыққан толқын фронты бірнеше бөлікке бөлінеді. Олар бір-бірімен когерентті болып қалады.

Мысалдар:

Юнгтың екі саңылау тәжірибесі

Ньютон сақиналары

Френель айнасы

2) Амплитуданы бөлу әдісі (Division of Amplitude)

Бұл әдісте бір сәуле жартылай өтетін пластинкада, светоделителде немесе жұқа қабықшада екіге бөлінеді.

Мысалдар:

Майкельсон интерферометрі

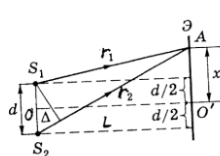
Фабри–Перо интерферометрі

Жұқа пластинка интерференциясы

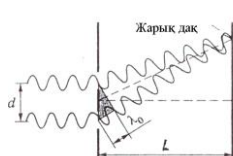
Сәулелердің амплитудасы бөлінеді, сондықтан фазасы бастапқыда бірдей болып қалады → когерент.

S_1 және S_2 когерентті екі жарық көзінің кескіндері болсын. S_1 және S_2 бұрын қарастырылған әдістердің біреуі арқылы алынуы мүмкін, яғни жарық көзінің екеуі негізгі жарық көзінің шын да, жорымал да кескіндері бола алады. Кез-келген схема жағдайында интерференциялық суретті есептеу үшін S_1 және S_2 -нің өзара орналасуын және де бұлардың Э қалқаға қатысты орнын білу жеткілікті. Егер қалқа S_1 мен S_2 -ні қосатын сызыққа перпендикуляр орналасқан болса, онда интерференциялық жолақтар центрлік шеңберлер түрінде болады (айналу гиперболоидтардың қимасы). Қалқа $S_1 S_2$ сызығына параллель орналасқан жағдайда жолақтар гиперболалар түрінде болады; бұлардың нүктелік көз жағдайында (сфералық толқын болғанда) $OO' \gg S_1 S_2$ шарты орындалғанда параллель түзулерден айырмашылығы аз болады.

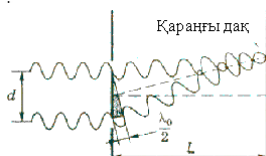
S жарық көзі ретінде, жүйенің симметрия жазықтығына параллель,



а



б



в

1-сурет

жарықтандырылған саңылауды аламыз (мысалы, Бийе қос линзасының кесік диаметріне, Френель қос айнасының қырына және т.т.). Осындай сызықтық жарық көзі

жағдайында Э қалқадағы интерференциялық сурет саңылауға параллель жолақтар түрінде болады. Осындай орналасудың болуы есепті шешкенде сурет жазықтығын қарастырумен шектелуге мүмкіндік береді (1-сурет). S_1 және S_2 когерентті жарық көздерінің ара қашықтығы d , $S_1 S_2$ -ден экранға дейінгі қашықтық $OO' = L$, ал S_1 және S_2 -ден экранның қандай да бір A нүктесіне дейінгі қашықтықтар тиісінше r_1 және r_2 болсын дейік. Егер S_1 және S_2 жарық көздері синфазалы ($\varphi = 0$) болса, орталық максимум орталық сызықтағы O нүктесінде жатады ($S_1O' - S_2O' = 0$).

Қалқадағы O' нүктесінен x қашықтықта тұрған кез-келген A нүктесіне дейінгі $\Delta = r_2 - r_1$ жол айырымын табайық:

$$r_2^2 = L^2 + (x + \frac{d}{2})^2; r_1^2 = L^2 + (x - \frac{d}{2})^2$$

Квадраттар айырмасы

$$r_2^2 - r_1^2 = (r_2 + r_1)(r_2 - r_1) = 2x \cdot d$$

немесе
$$\Delta = \frac{2x \cdot d}{r_1 + r_2}$$

Толқын ұзындықтармен өлшенетін Δ жол айырымы әрқашан r_1 және r_2 -ден едәуір кіші. Сондықтан $r_1 + r_2 = 2r$ деп алуға болады, мұндағы $r = r_1 + \frac{\Delta}{2} = r_2 - \frac{\Delta}{2}$, сонда

$$\Delta = x \cdot \frac{d}{r} \quad (1)$$

Тәжірибенің көпшілігінде экранға дейінгі L қашықтық d ($L \gg d$)-ге қарағанда көп үлкен, сондықтан $r \approx L$ деп санауға болады, сонда

$$\Delta = x \cdot \frac{d}{L} \quad (2)$$

Жарық көздері шығаратын жарық монохроматты, толқын ұзындығы λ деп ұйғарайық.

Интенсивтіктің максимум мәні $\Delta_{\max} = r_2 - r_1 = m\lambda$, ал минимум мәні $\Delta_{\min} = r_2 - r_1 = (m + \frac{1}{2})\lambda$. Қалқада максимумдар мен минимумдардың орны x мәнімен анықталатын болады. (2) формуласына Δ -ның тиісті мәндерін қойып, мынаны табамыз:

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

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

Көрші максимумдар немес минимумдардың ара қашықтығы

$$\delta x = \frac{L}{d} \lambda \quad (3)$$

жолақтың ені деп аталады. (3) формуладан жолақтар берілген L және λ мәндері жағдайында жарық көздерінің ара қашықтығы d неғұрлым кіші болса, соншалықты жолақтардың ені үлкенірек болады. Мысалы, $L = 100$ см; $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$ см; $d = 0,05$ см = 0,5 мм болғанда $\delta x = 0,1$ см болады. Мұндай интерференциялық жолақтар жай көзбен жақсы бақыланады.

Бақылау сұрақтары

1. Интерференцияның байқалу шарты қандай?
2. Когерентті жарық көздерін алу әдістерін атаңыз.

3. Интерференциялық жолақ ені қандай шамаларға тәуелді?
4. Көрімділік функциясы нені сипаттайды?
5. Лазерлердің интерференция тәжірибелеріндегі артықшылығы неде?

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

Оптикадағы когерент толқындарды алу әдісі.

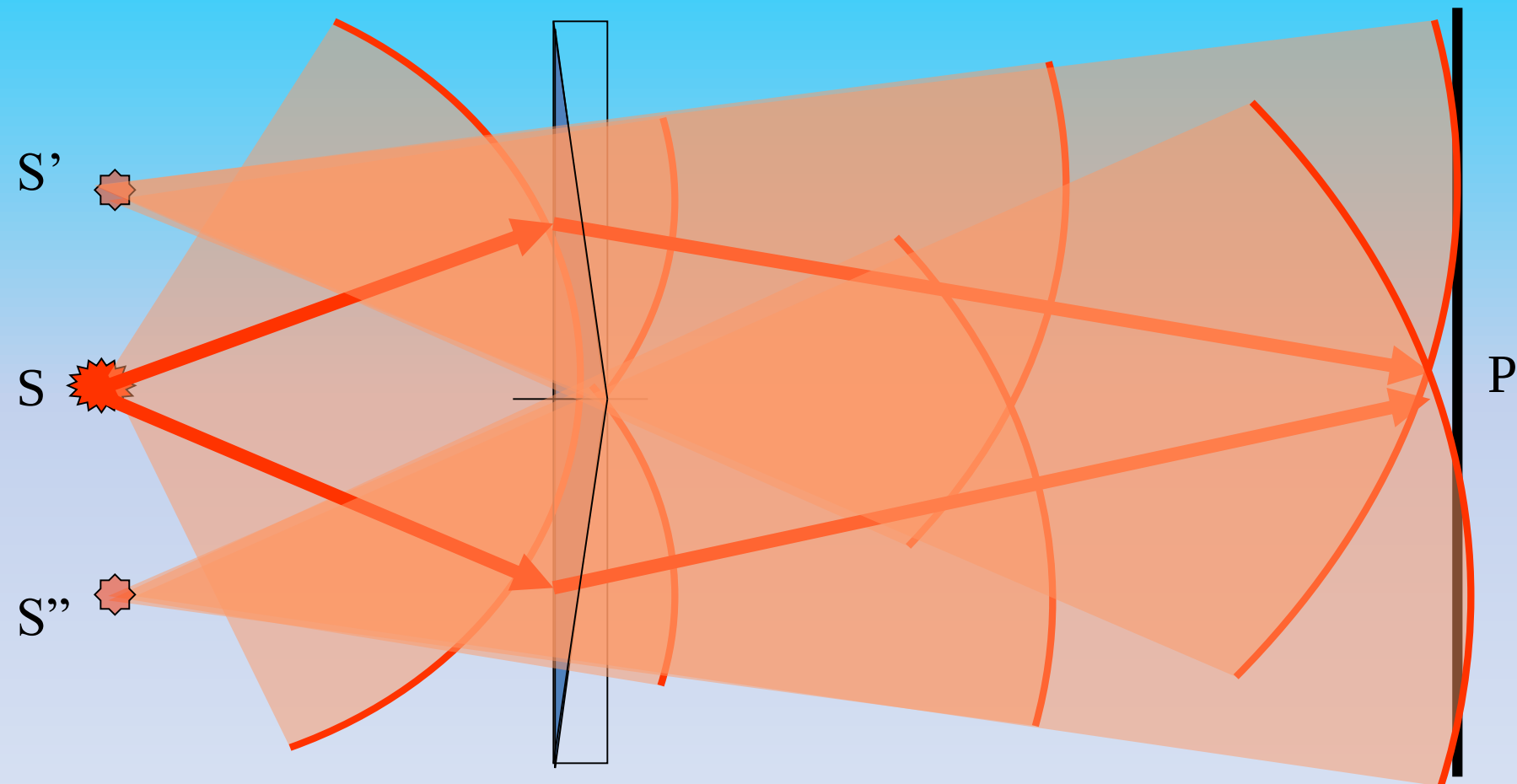
Мархабаева А.А.

**Интерференцияны алудың екі
жолы бар:**

**Амплитуданы бөлу әдісі
Толқындық фронтты бөлу әдісі**

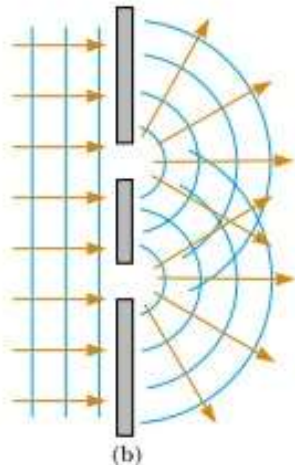
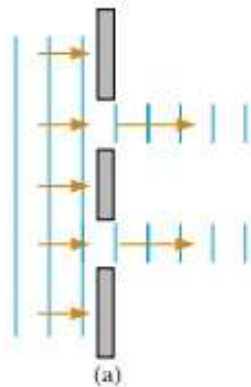
Толқындық фронтты бөлу әдісі

Когерентті қосылатын
толқындарды алу әдісі.
Юнг тәжірибесі



Юнг тәжірибесі

- Ең алғаш рет интерференцияны тәжірибеде 1801 жылы Томас Юнг демонстрация жасаған. Когерентті толқындарды алу үшін монохроматты жарық пен кішкентай екі саңылауы бар кедергіні қолданған.



Courtesy of Sabrina Zigman/Benjamin Cardozo High School

At a beach in Tel Aviv, Israel, plane water waves pass through two openings in a breakwall. Notice the diffraction effect—the waves exit the openings with circular wave fronts, as in Figure 37.1b. Notice also how the beach has been shaped by the circular wave fronts.

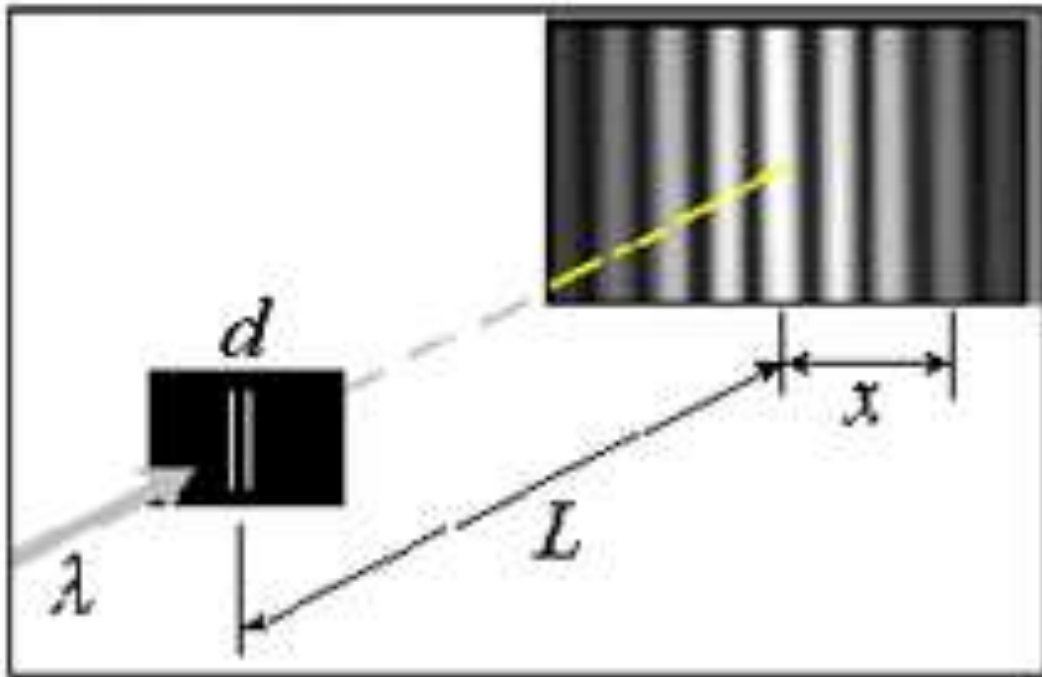
Эксперимент Юнга

- Екі саңылаудан шығатын жарықтар когерентті болады себебі олар бір жарық көзінен пайда болған, саңылау бастапқы жарықты саңылау арқылы екіге бөледі.
- Егер жарық толқыны өзінің бастапқы бағытымен қозғалса, олар бір бірімен қабаттаспайды, еш интерференция байқалмайды.
- Егер жарық толқыны Гюгенс принципі бойынша таралса, жарық түзу жолдан ауытқып, көлеңке түсетін аймаққа енеді, интерференция байқалады.



Юнг тәжірибесі

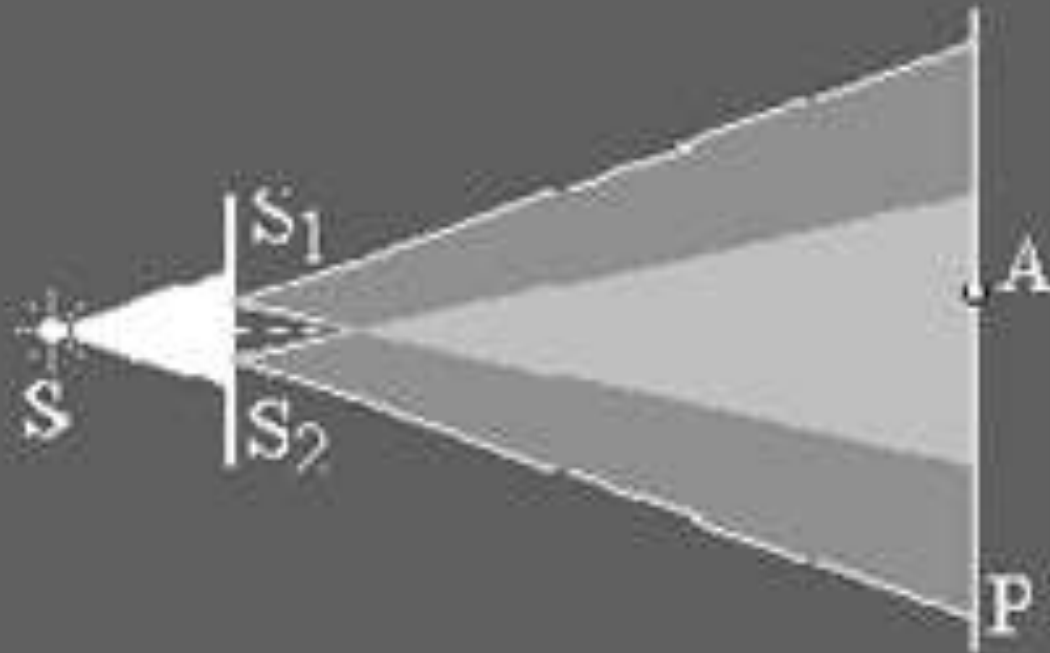
Толқындық фронтты бөлу әдісі арқылы интерференцияны бақылау бір толқындық фронттың әртүрлі бөліктерін бөліп кейін бұл когерентті бөлек толқындарды қайта бір-біріне қосу болып келеді



$$\lambda = \frac{d}{L} \cdot \frac{x}{m}$$

$m(=3)$ – x кескінде орналасатын интерференциондық жолақтардың саны

$m(=3)$ – число интерференцион-ных полос, укладываемых на отрезке x

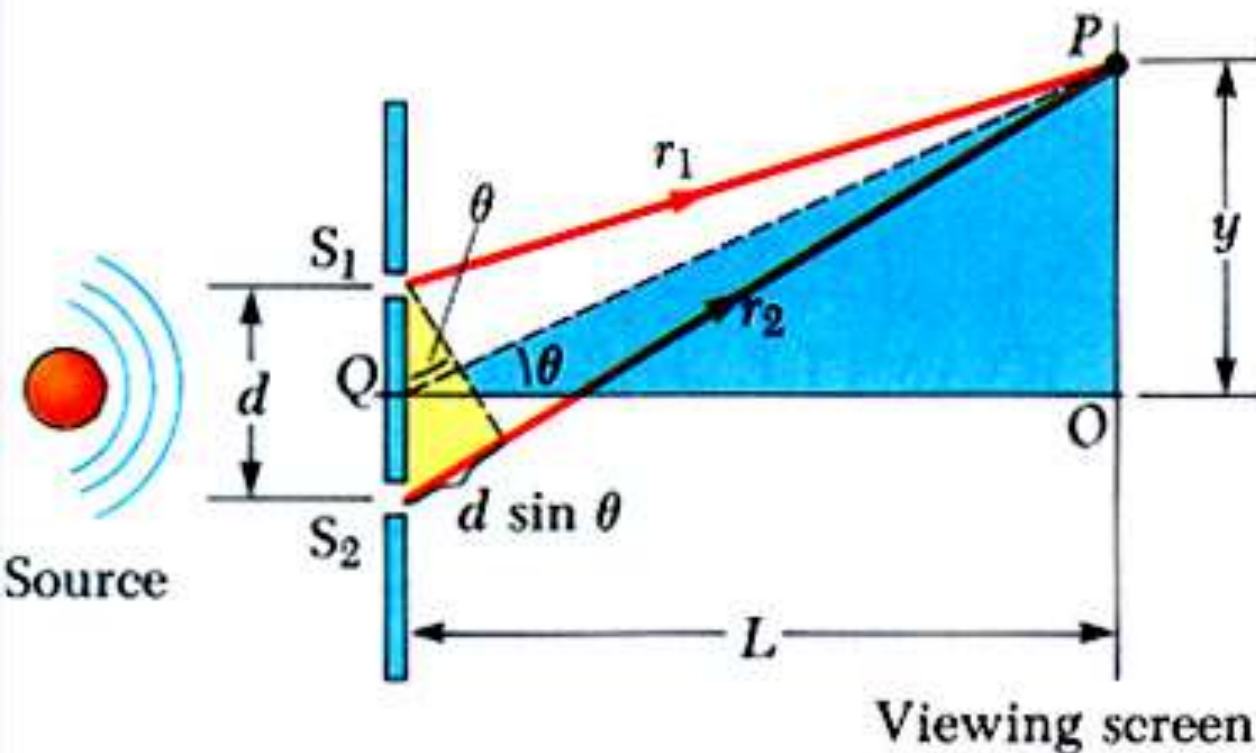
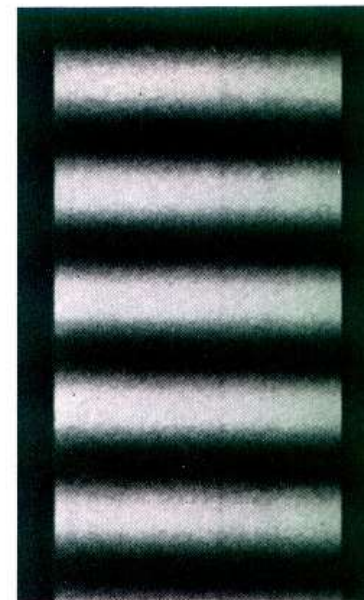
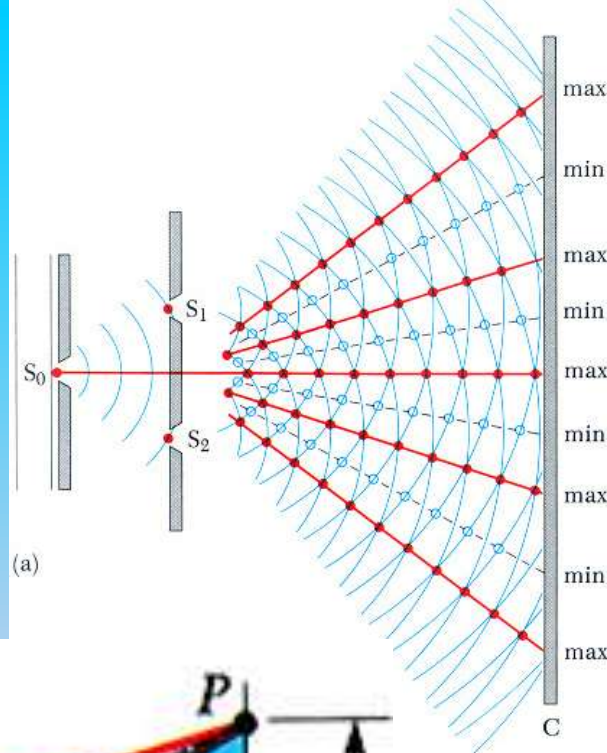


$$\delta = d \sin \theta = m\lambda; \quad (m=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

$$\delta = d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda; \quad (m=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

$$y_{\text{bright}} = \frac{\lambda L}{d} m$$

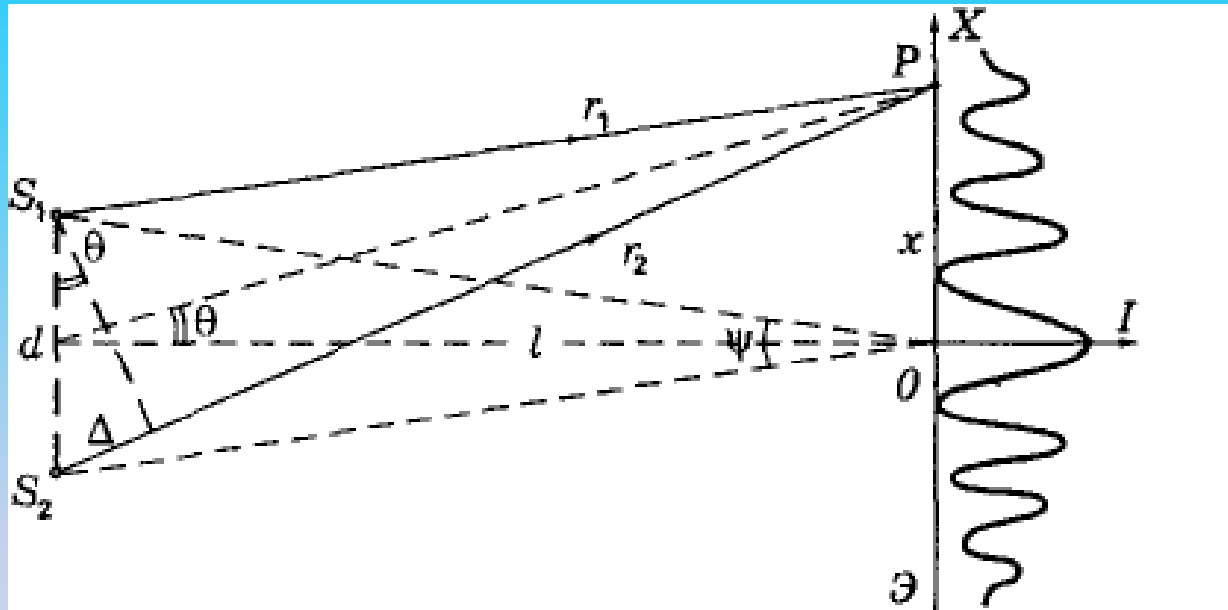
$$y_{\text{dark}} = \frac{\lambda L}{d} \left(m + \frac{1}{2}\right)$$



Юнг тәжірибесін сипаттайтын геометриялық құрылғы. Екі сәуленің жол айырымы:

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta.$$

Интерференциялық схемалардың негізгі принципі



Жол айырымы $\Delta = r_2 - r_1$.

$$\Delta = m\lambda, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots,$$

$$\Delta = d \cdot \theta, \quad \theta \approx x/l, \quad d \cdot x_m / l = m\lambda,$$

$$\boxed{\Delta x = \lambda l / d} \quad \text{или} \quad \boxed{\Delta x = \lambda / \psi},$$

Егер жол айырымы бүтін сан қабылдаса, P нүктесіне келіп тоғысатын толқындар бір фазада болады, интерференциялық максимум болады. Егер фазасы қарсы болса, интерференциялық минимум болады.

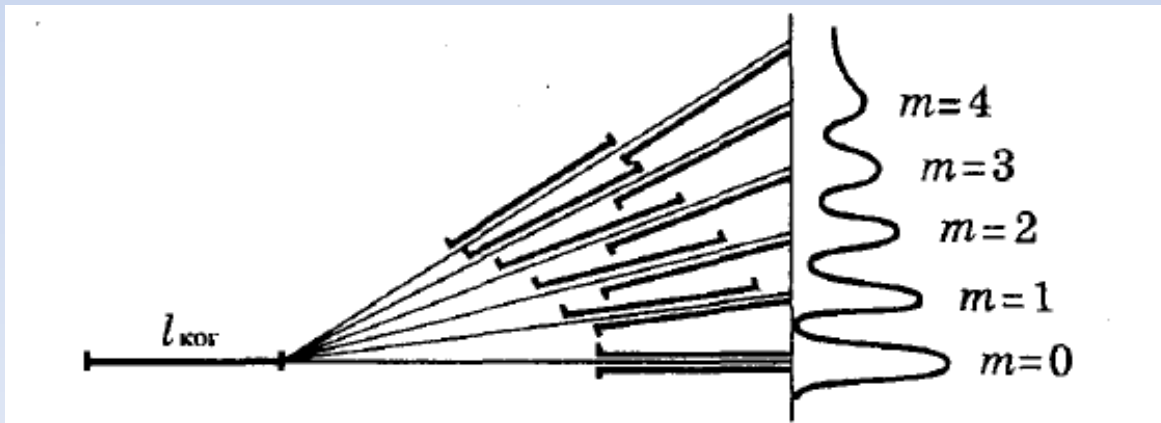
d - Екі жарық көзінің арақашықтығы.

ψ - экранның ортасынан екі жарық көрінетін бұрыш.

Когеренттілік және шарты (1)

Интерференция орындалу үшін келесі шарттар орындалу керек:

- Жарық когерентті болу керек, толқындардың сәйкес келуі когеренттілік дәрижесін көрсетеді. Жарық көзінен экранға дейінгі қашықтықты алыстатсақ, интерференция біраз қашықтықтан соң жоғалады, себебі толқындар қайбір қашықтықтан кейін когеренттілігін жоғалтады. Мысалы суретте интерференция реттілігі 4 болатын жағдайды қарастырсақ, яғни, төрт жолақтан кейін интерференциялық бейне бұлыңғыр болсын. $m=4$ тең болатын аумақта толқындар когеренттілігін сақтайды, осы ұзындықты **когеренттіліктің ұзындығы** дейді.
- Жарықтың монохроматтылығы жоғары болуы тиіс.



Иродов. Волновые процессы

$$m \approx \lambda / \Delta \lambda$$

$$l_{\text{ког}} \approx m \lambda$$

$$l_{\text{ког}} \approx \lambda^2 / \Delta \lambda$$

Когеренттілік және шарты (2)

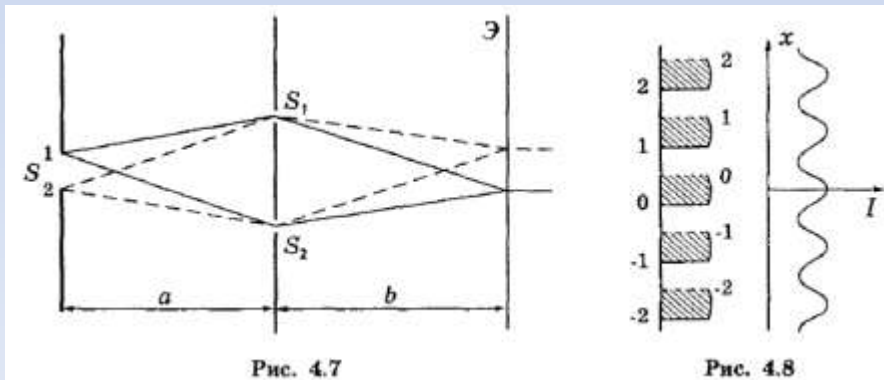
Интерференция орындалу үшін келесі шарттар орындалу керек:

- Когеренттілік ұзындығы толқындардың оптикалық жол айырымынан аз болуы тиіс.

$$l_{\text{ког}} \approx m\lambda$$

$$\Delta < l_{\text{ког}}$$

- Суретте көрсетілгендей саңылау енін бірнеше саңылаудан тұратындай етіп елестетсек, S жарық көзіненің 1 нүктесіне сәйкес келетін максимумдар 4.8 суретте көрсетілген. Ал 2 нүктеге сәйкес келетін максимумдар жоғары ығысқан және оның максимумдары суреттегі екі максимумдар арасында жатады. Ендеше жолақтың еніне тең саңылау енінде интерференциялық картина мүлдем жоғалады. Яғни, саңылаудың ені интерференция байқау үшін өте аз болу керек.



Когеренттілік және шарты (3)

Интерференция орындалу үшін келесі шарттар орындалу керек:

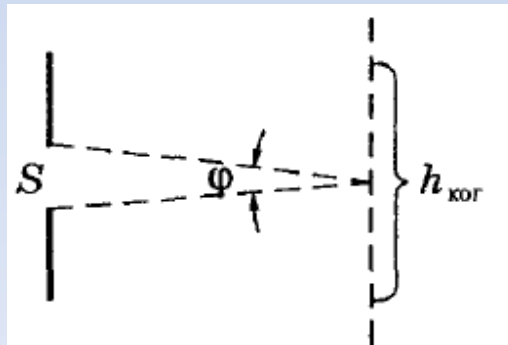
- Когеренттілік ені, қандай да бір қондырғы үшін беттің екі көршілес нүктесі немесе когеренттілік сақталатын жарық толқынының аумағы. Когеренттілік ені интерференция орындалу үшін саңылаудың еніне тең немесе артық болу керек.

$$h_{\text{ког}} \approx d, \quad s \approx \Delta x.$$

$$h_{\text{ког}} \approx d = \lambda l / \Delta x \approx \lambda l / s = \lambda / (s/l) = \lambda / \varphi,$$

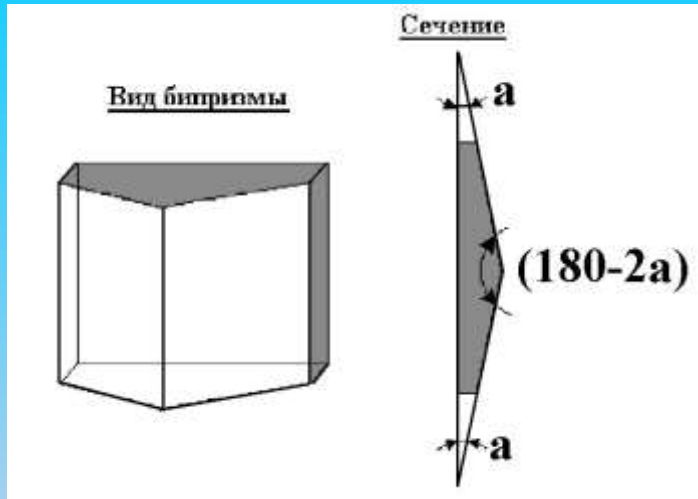
- Немесе когеренттілік ені саңылауға қатысты жарықтың бұрыштық енімен анықталады

$$h_{\text{ког}} \approx \lambda / \varphi.$$



$$l_{\text{ког}} \geq 2\Delta,$$

$$h_{\text{ког}} \geq 2d.$$

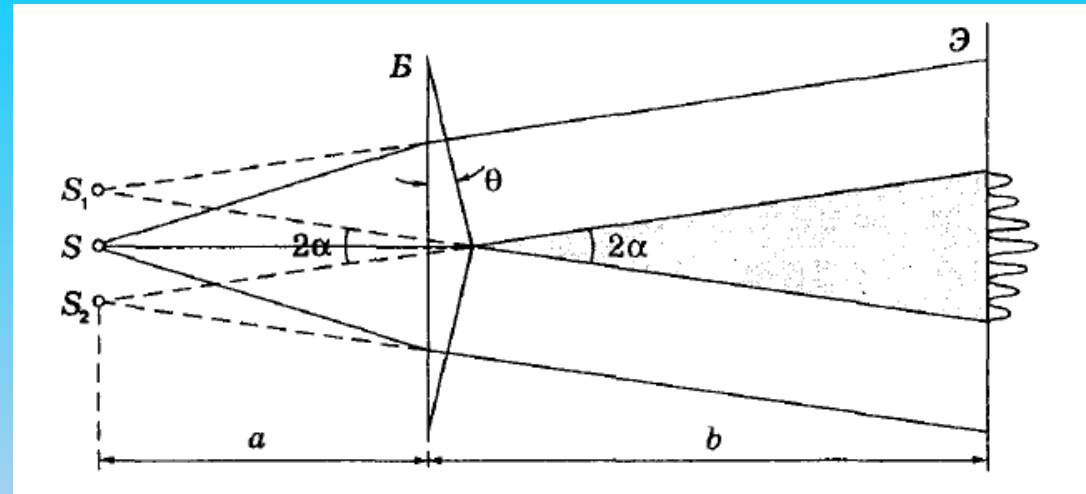


Бипризманың сындыру бұрышы

Жарық көзінен экранға дейінгі қашықтық

Саңылау ені

Интерференциялық жолақ ені



$$\alpha = (n - 1) \theta. \quad (1)$$

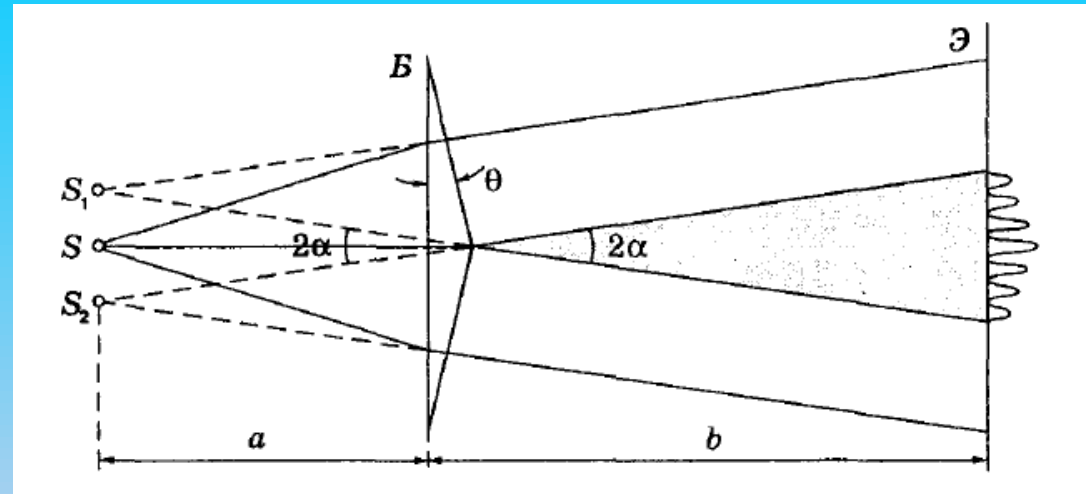
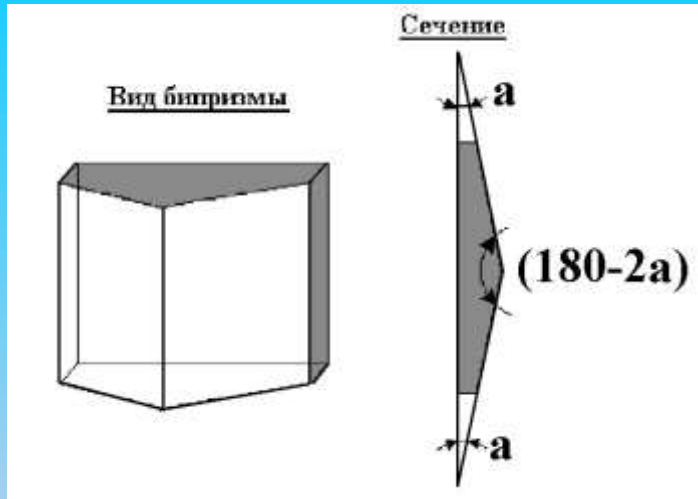
$$\Delta x = \lambda / 2\alpha. \quad (5)$$

$$l = a + b \quad (2)$$

Жазық толқындар үшін
интерференциялық
жолақ ені

$$d = a \cdot 2\alpha. \quad (3)$$

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2\alpha} \left(1 + \frac{b}{a} \right). \quad (4)$$



Жалпы интерференциялық жолақ

енін ескеріп, экранда мүмкін болатын жолақтардың максимум санын табуға болады.

Немесе (2) (4) (6) формулаларды ескеріп, 8 формуалын алуға болады

Интерференциялық шартты ескеріп, 9 және 10 формуланы алуға болады

$$x = b \cdot 2\alpha \quad (6)$$

$$N_{\text{макс}} = x / \Delta x. \quad (7)$$

$$N_{\text{макс}} = \frac{4\alpha^2}{\lambda} \frac{ab}{a+b}. \quad (8)$$

$$l_{\text{ког}} \geq 2\Delta,$$

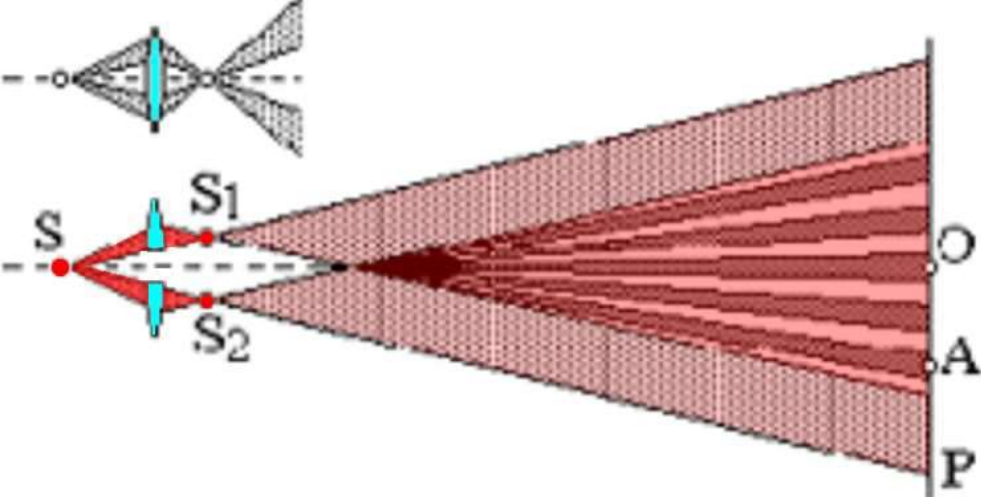
$$h_{\text{ког}} \geq 2d.$$



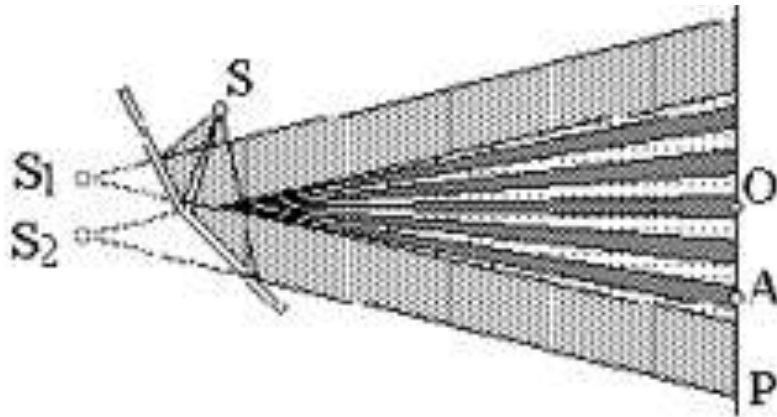
$$s \leq \frac{\lambda}{4\alpha} \left(1 + \frac{a}{b} \right), \quad (9) \quad \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \geq \frac{4\alpha^2 ab}{\lambda(a+b)}, \quad (10)$$

Бийе, Ллойд, бизеркало
Френеля

Билинза Биейе



бизеркало Френеля



зеркало Ллойда

