Лекция - 2.
ЖАРЫҚТЫҢ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯСЫ

Тербелістің когеренттілігі. Монохромат жарықтың интерференциясы. Когеренттіліктің ұзындығы және уақыты. Интерференциялық аспаптар.

Екі жарық шоғы қосылып қараңғылық туғыза алады. Бұл құбылысты 1801 ж. Юнг ашып, **жарықтың интерференциясы** деп аталады. **Интерференция** құбылысын **физикалық** оптика

Жарықты толқын деп қарастырғанда ғана интерференцияны сәтті түсіндіруге болады. Сонымен, жарықтың электромагниттік табиғаты ашылудан көп бұрын жарық толқын екендігі тағайындалды.

Тербелістер мен толқындардың когеренттігі және интерференция

Периодтары бірдей бір бағытта тербелетін екі гармоникалық тербеліс

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

қосылған кезде қайтадан гармоникалық тербеліс алынады

$$s = s_1 + s_2 = A \sin(\omega t + \varphi) \quad (2)$$

мұндағы A -оның амплитудасы:

$$A^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (3)$$

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

Таза **гармоникалық тербелістер, яғни амплитудасы өзгермейтін шексіз ұзақ созылатын тербелістер** **болмайды**.

Кез-келген **нақты тербеліс белгілі уақытқа созылады**. Осы жағдайда амплитуда квадратына пропорционал қорытқы интенсивтік те уақытқа байланысты өзгереді, және де осы өзгерістер өте тез өтеді. Интенсивтіктің тез өзгерісін сезетіндей **қабылдағыштың** болмауынан біз **интенсивтіктің қайсыбір орташа мәнін тіркеуге мәжбүр боламыз**.

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

$$< A^2 >= \frac{1}{\tau}\int_0^{\tau} A^2 d\tau = \frac{1}{\tau}\int_0^{\tau}\left(a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2\cos\varphi\right)d\tau$$

$$= a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2\frac{1}{\tau}\int_0^{\tau}\cos\varphi d\tau$$

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 $< A >^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2\cos\varphi$, яғни

$$< I > \neq I_1 + I_2$$

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

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

сонда $<A>^2 = a_1^2 + a_2^2$, яғни $<I> = I_1 + I_2$ болады.

Сонымен периодтары бірдей екі тербеліс қосылғанда мынадай екі жағдай байқалады:

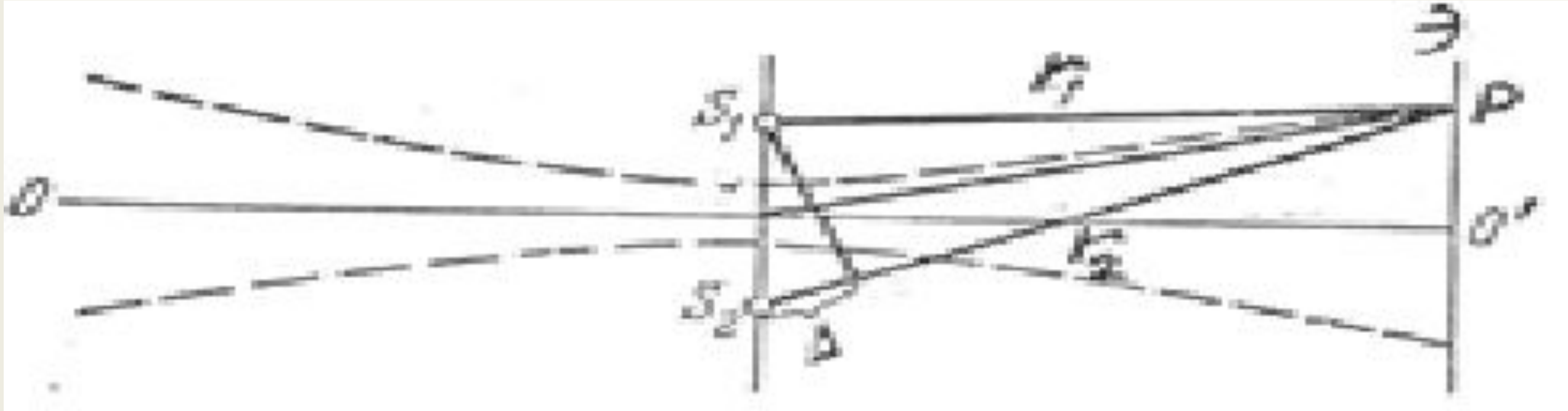
1) бақылау үшін жеткілікті τ уақыты ішінде екі тербелістің **фазалар айырымы тұрақты болған жағдайда** $(\varphi = const)$ тербелістер ***когерентті*** деп аталады. Когерентті тербелістер **қосылғанда қорытқы тербеліс интенсивтігі** бастапқы тербелістердің интенсивтіктерінің қосындысынан **өзгеше болады.**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

2) τ 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.***

Когерент толқындар үшін фазалар айырымы тұрақты, демек, экранда жарық интенсивтігі $r_2 - r_1 = \Delta$ шамасына **жол айырымына** тәуелді. Жол айырымы болуы себебі, осы екі толқынның бастапқы фазалары бірдей болған жағдайда да, осы толқындар кездесетін (түйісетін) нүктеде бұлардың туғызатын тербелістерінің фазалар айырымы болады.

Жол айырымы себепші болатын фазалар айырымы мынаған тең

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



1-сурет

Егер бастапқы фазалар бірдей болса $\varphi = 0$ $\Delta = m\lambda$ болған жағдайда тербелістер фазалары бойынша дәл келеді де интенсивтік максимум мәніне $I_{max} = 4a^2$ жетеді. $\Delta = (m + \frac{1}{2})\lambda$ болған жағдайда, тербелістер қарама-қарсы фазада болады да қорытқы интенсивтік минимум болады: $I_{min} = 0$. **m** саны **интерференция реті** деп аталады, ол 1,2,3... мәндер қабылдайды.

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** ($\tau_{кое}$) деп аталады, ол шамамен $10^{-9}-10^{-10}c$ 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 қ $L_{ког} = c\,\tau_{ког}$

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

Қорытынды:

кез-келген екі гармоникалық тербеліс әрқашан когерентті;

- гармоникалық тербелістер интерференциялануға қабілетті монохромат толқындарды туғызады;
- толқын ұзындықтары бірдей толқындардың интерференциялану шарты - олардың когеренттігі, яғни бақылау үшін жеткілікті уақыт ішінде фазалар айырымы тұрақты болуы.

Қосылатын тербеліс саны көп болғанда қорытқы амплитуда былай анықталады

$$A^2 = \sum_{i=1}^{n} a_i^2 + 2\sum_{i=1}^{n}\sum_{\substack{k=1 \\ i \neq k}}^{n} a_i a_k \cos\varphi \qquad (4)$$

Когерентті тербелістер үшін фазалардың айырмалары берілген нүктеде нақты және тұрақты мәнге ие болады да (4) өрнекке сәйкес $\sum_{i=1}^{n} a_i^2$ қосынды интенсивтік жеке тербелістердің интенсивтіктерінің қосындысынан үлкен де, кіші де бола алады. Амплитудалар $a_i = a$

бірдей болған жағдайда барлық тербелістер бірдей фазада келетін нүктелердегі интенсивтік

$$A^2 = \left(\sum_{i=1}^{n} a_i^2\right)^2 = (na)^2 = n^2 a^2$$

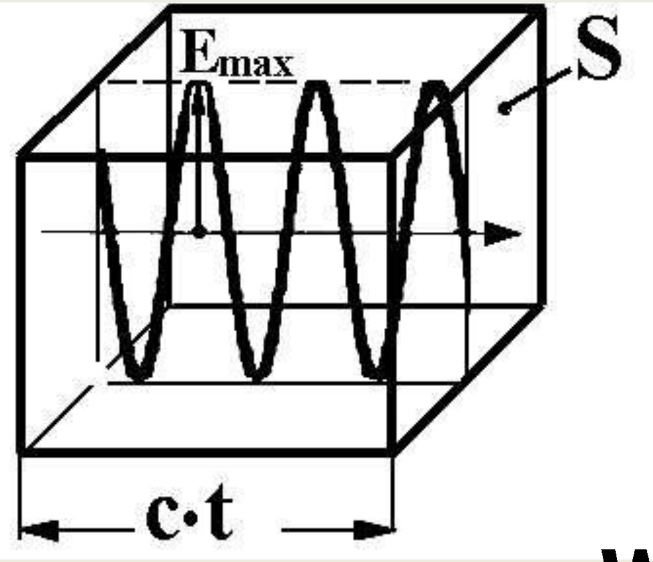
тең болады,

яғни интенсивтіктің шұғыл өсуі(n^2 есе) байқалады. Басқа нүктелерде интенсивтіктер өзара бірін-бірі өшіреді. Интерференция салдарынан кеңістікте тербелістердің интенсивтігі (энергиясы)

Егер тербелістер когерентті болмаса, яғни бір-бірінен тәуелсіз өтетін болса, онда бұлардың фазалары 0-ден 2π-ге дейінгі кездейсоқ мәндер қабылдайды, ал cosφ бірдей ықтималдықпен оң да, 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

$$< I >= \sum_{i=1}^{n} a_i^2 = \sum_{i=1}^{n} I_i$$

яғни **қорытқы интенсивтік жеке тербеліс интенсивтерінің қосындысына тең болады.**



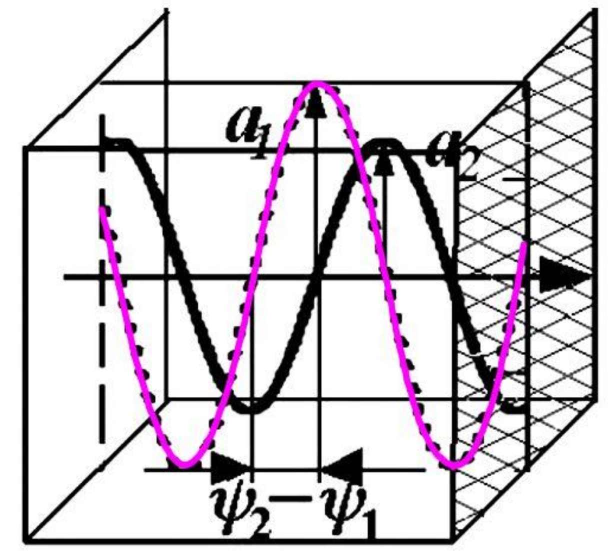
S аумақты қиып өтетін толқынның электр өрісінің қуаты

(Мощность электрического поля волны, пронизывающей площадку S)

$$W_{av} := \frac{\varepsilon_o \cdot \varepsilon \cdot \left(E^2\right)_{av}}{2} \cdot S \cdot c \qquad [1]$$

$$I \rightarrow P_{av} \rightarrow W_{av} \rightarrow \left(E^2\right)_{av} \rightarrow \overline{E^2} \qquad [2]$$

S аумақты қиып өтетін жарықтың интенсивтілігі бірлік уақыт ішіндегі орташа квадраттық электр өрісінің кернеулігіне пропорционал

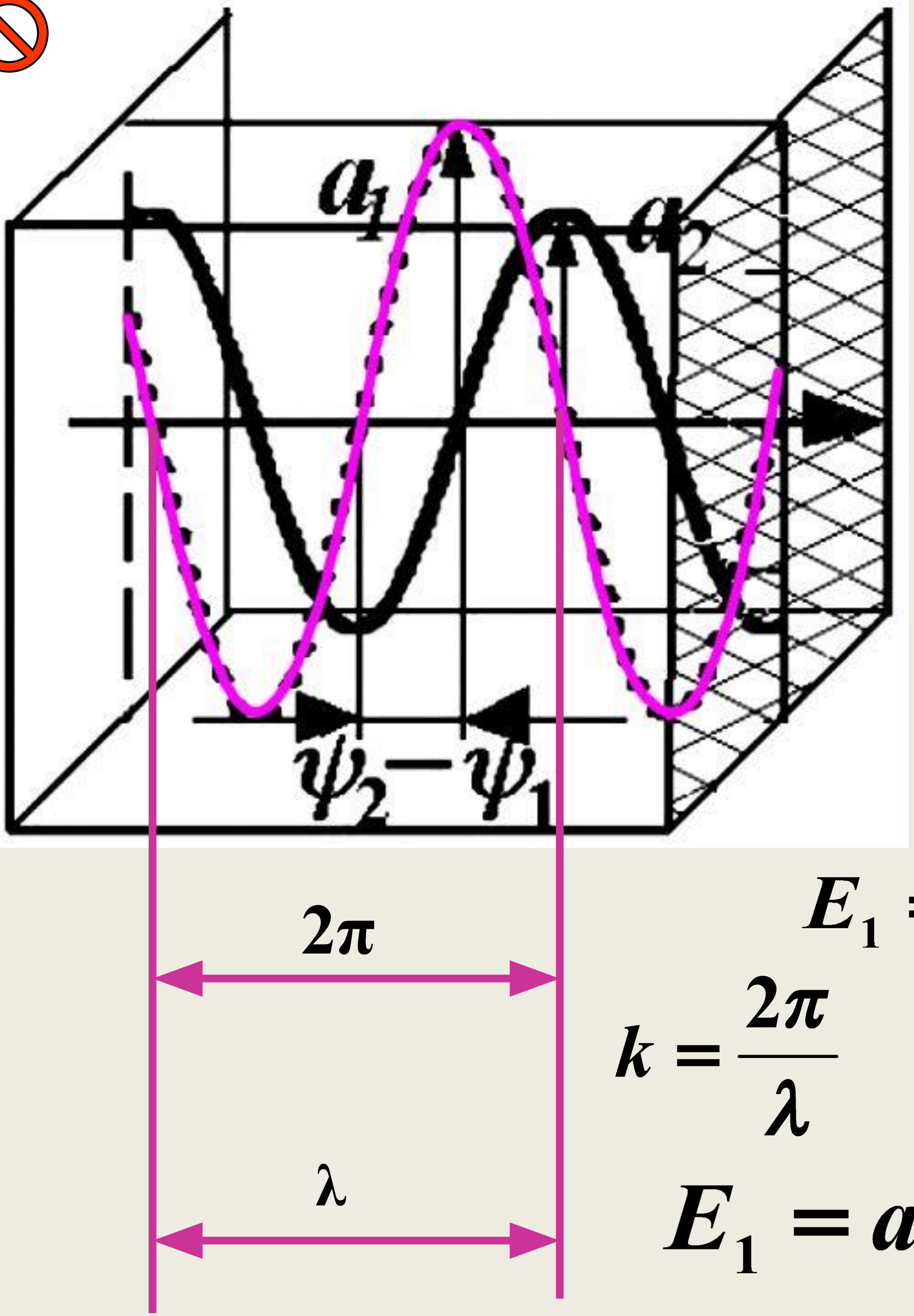


$$|a|^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2\cdot a_1\cdot a_2\cdot\cos(\psi_2-\psi_1)$$ [3]

$$I = I_1 + I_2 + 2\cdot\sqrt{I_1\cdot I_2}\cos(\psi_2-\psi_1)$$ [4]

Если $I_1 = I_2 = I$, то

$$0 \le I_\Sigma \le 4I$$



Кеңістіктің бір нүктесінде (қабылдағышта) ғана емес, яғни кез–келген нүктесінде толқынның таралу бағыты бойынша толқынды сипаттайтын теңдеуді жазу үшін оның толқын ұзындығын – тербеліс периодындағы жүрген жолын білу керек.

Что бы записать выражение, описывающее волну не только в одной точке пространства (на приёмнике), но и в любой точке пространства вдоль пути её распространения, нужно знать её длину волны – путь пройденный за период колебания.

$$E_1 = a_1 \cdot \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x + \varphi_1)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$ Толқындық вектор

$$E_1 = a_1 \cdot \cos(\omega t - k_1 r_1 + \delta_1)$$

Интерференциялық аспаптар

Когеренттік (периоды бірдей және фаза айырымы кез келген нүктеде тұрақты) толқындарды туғызу үшін;

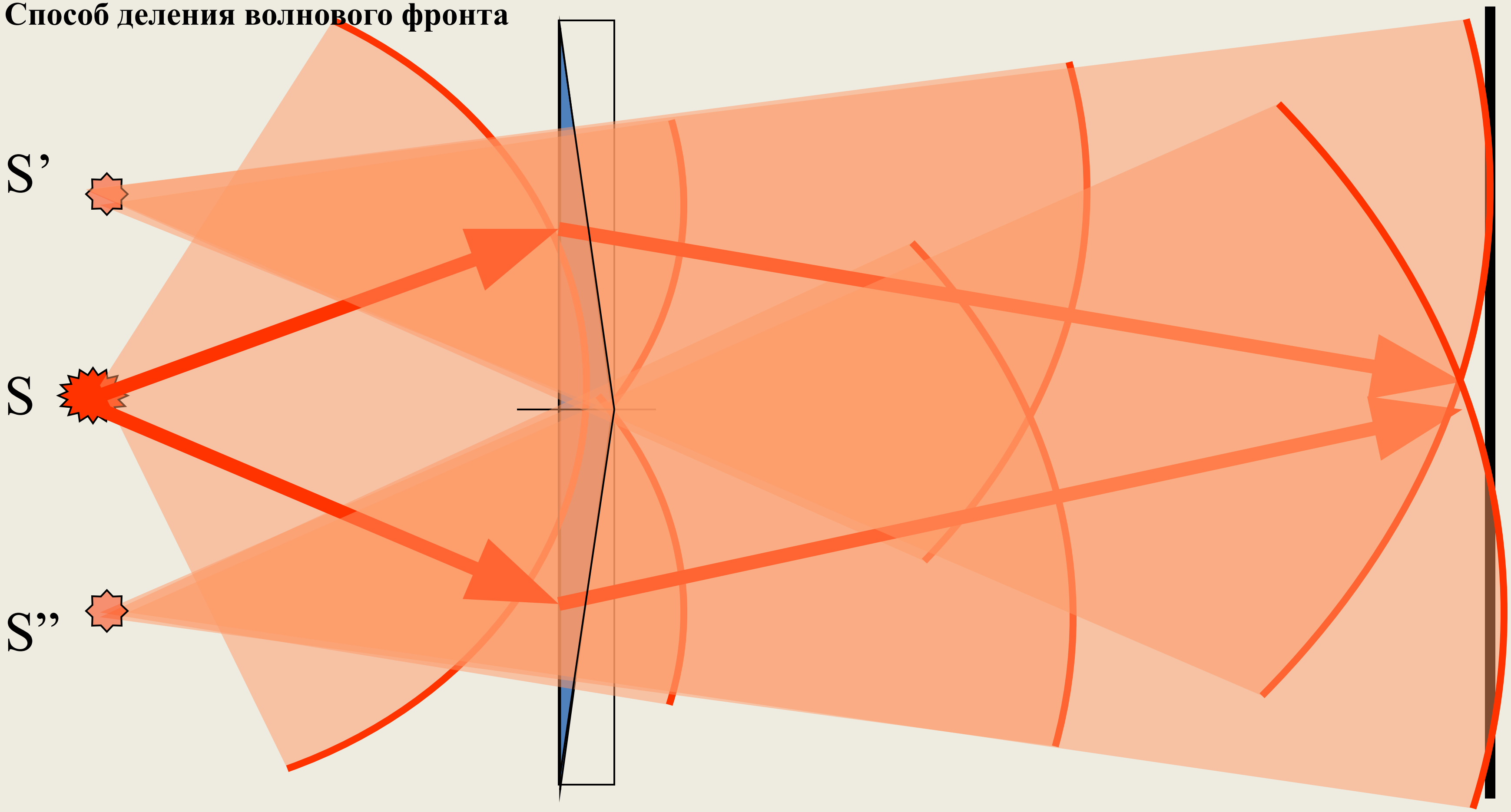
- Интерференциялық бейнені бақылау үшін.

Толқындық фронтты бөлу әдісі

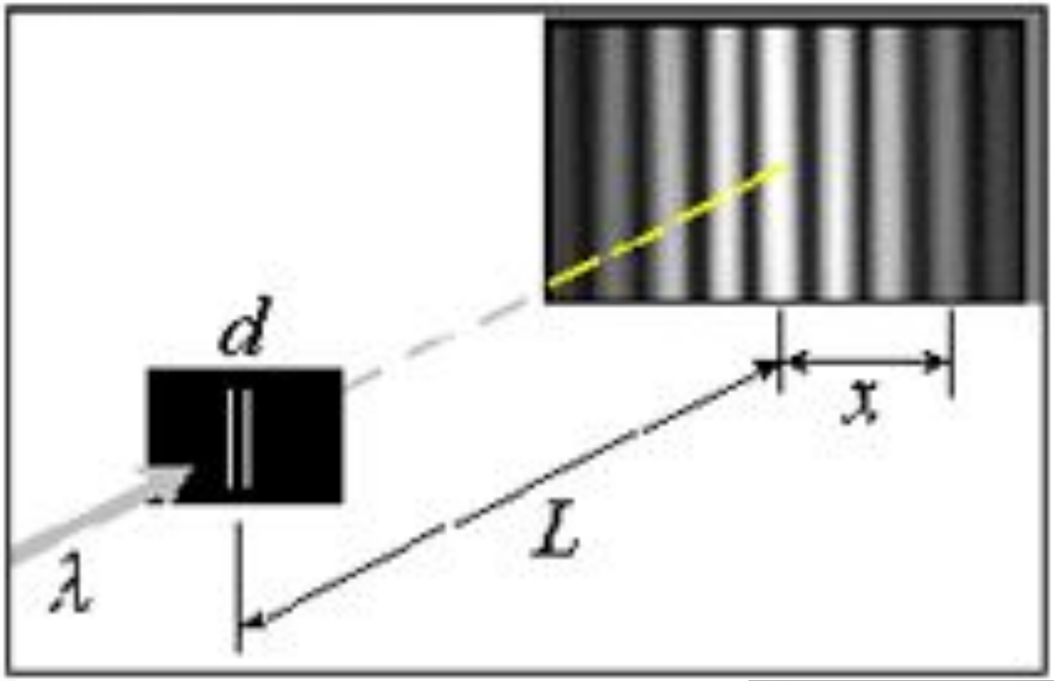
Когерентті қосылатын толқындарды алу әдісі.

Способы получения когерентных сходящихся волн 1

Способ деления волнового фронта



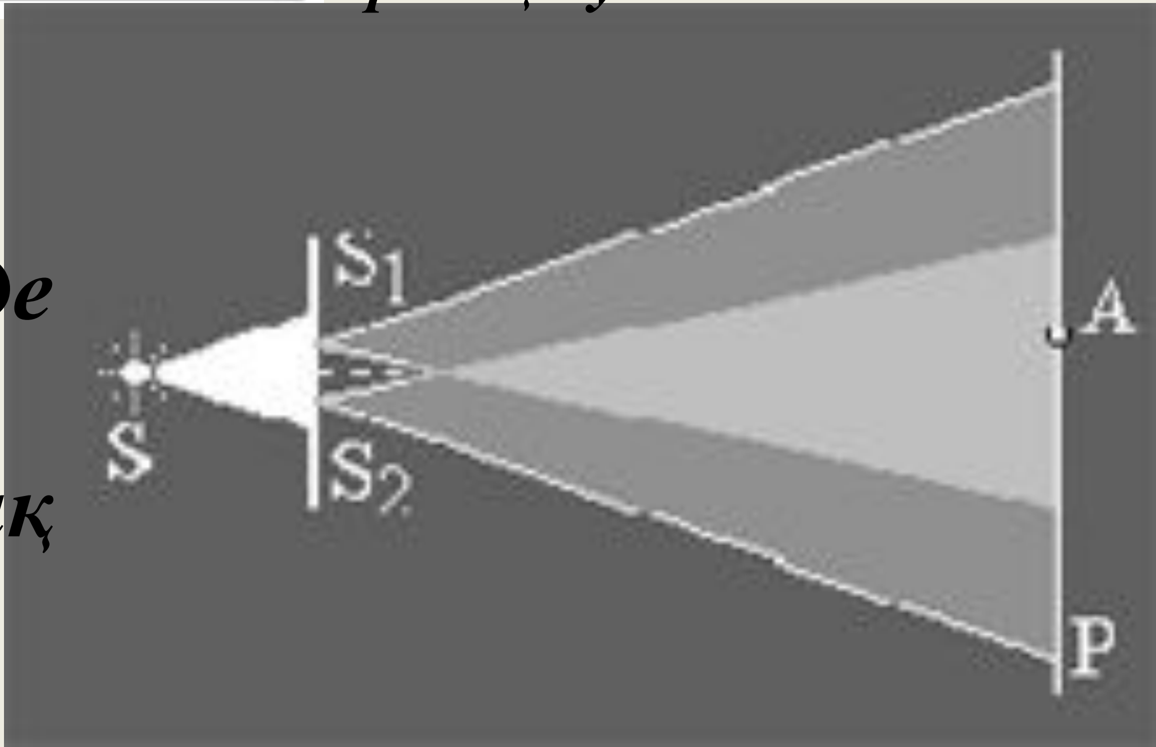
Юнг тәжірибесі



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 интерференциялық жолақтардың саны

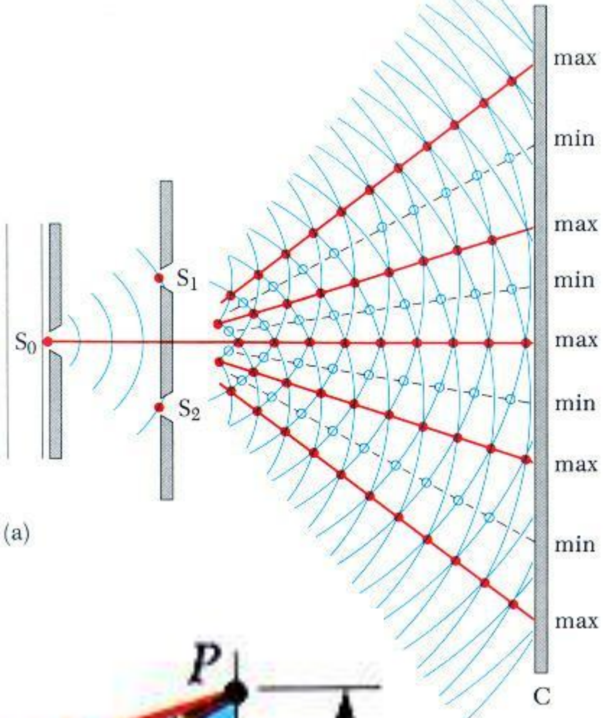


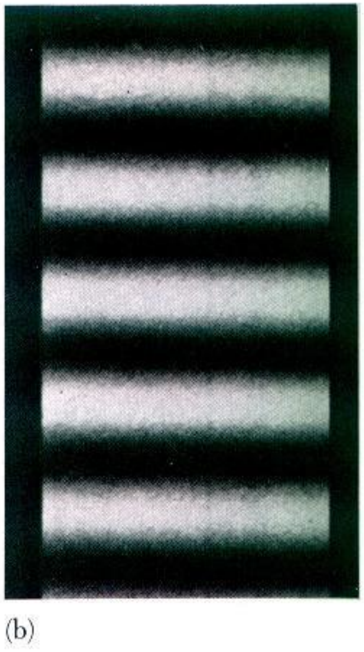
$$\delta = d \sin\theta = m\lambda \; ; \qquad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots)$$

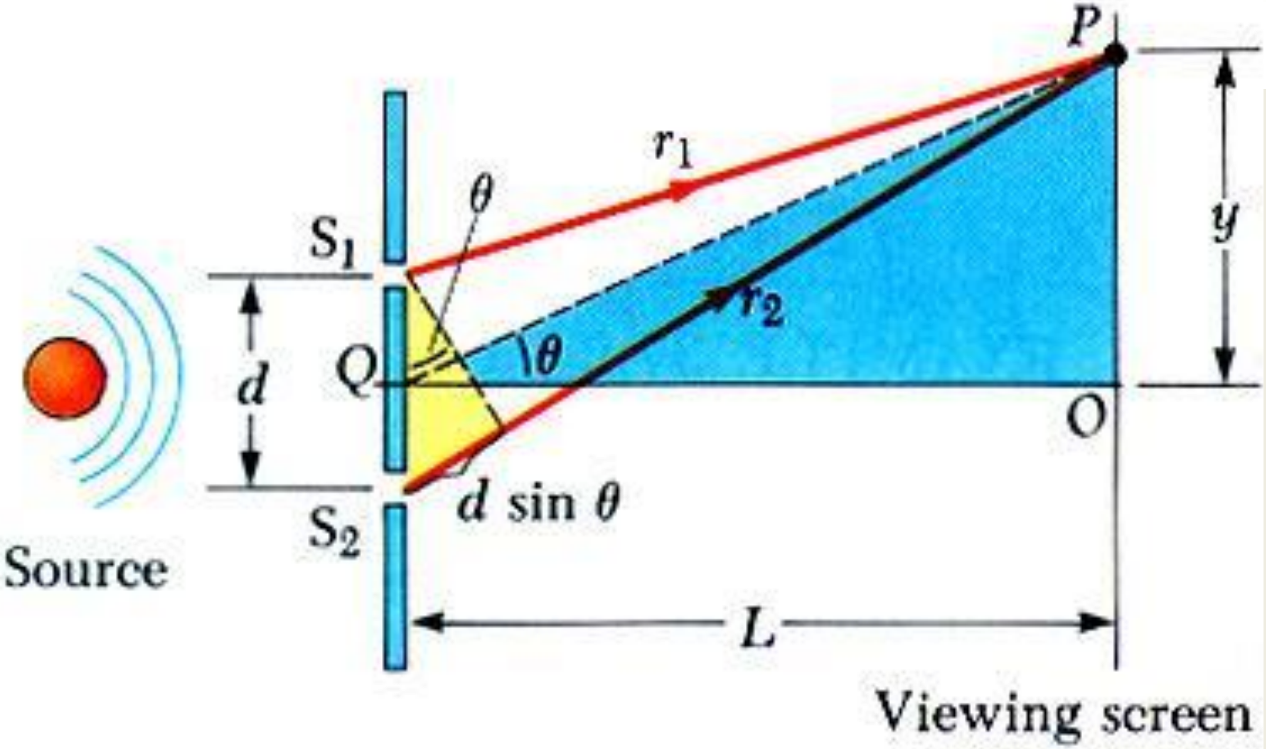
$$\delta = d \sin\theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \; ; \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots)$$

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

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



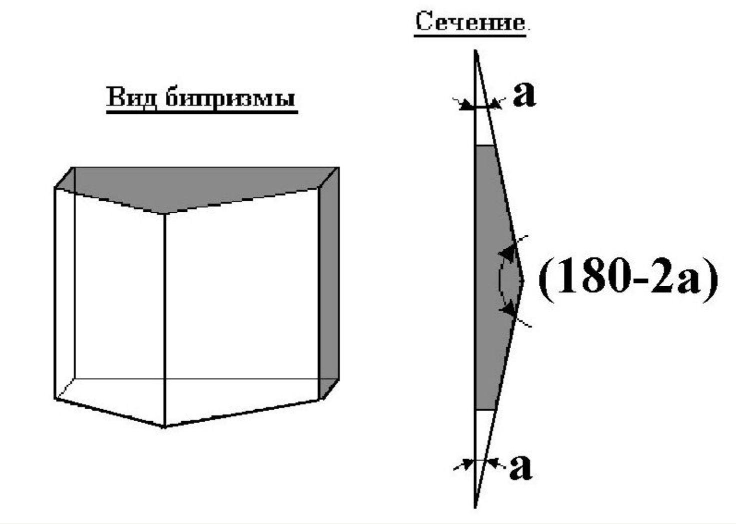


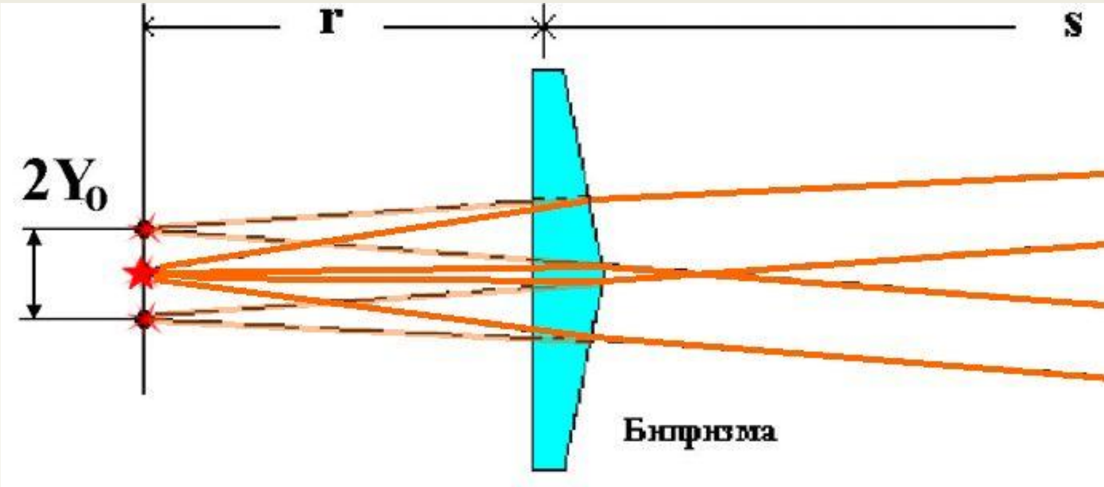


Юнг тәжірибесін сипаттайтын геометриялық құрылғы. Екі сәуленің жол айырымы:

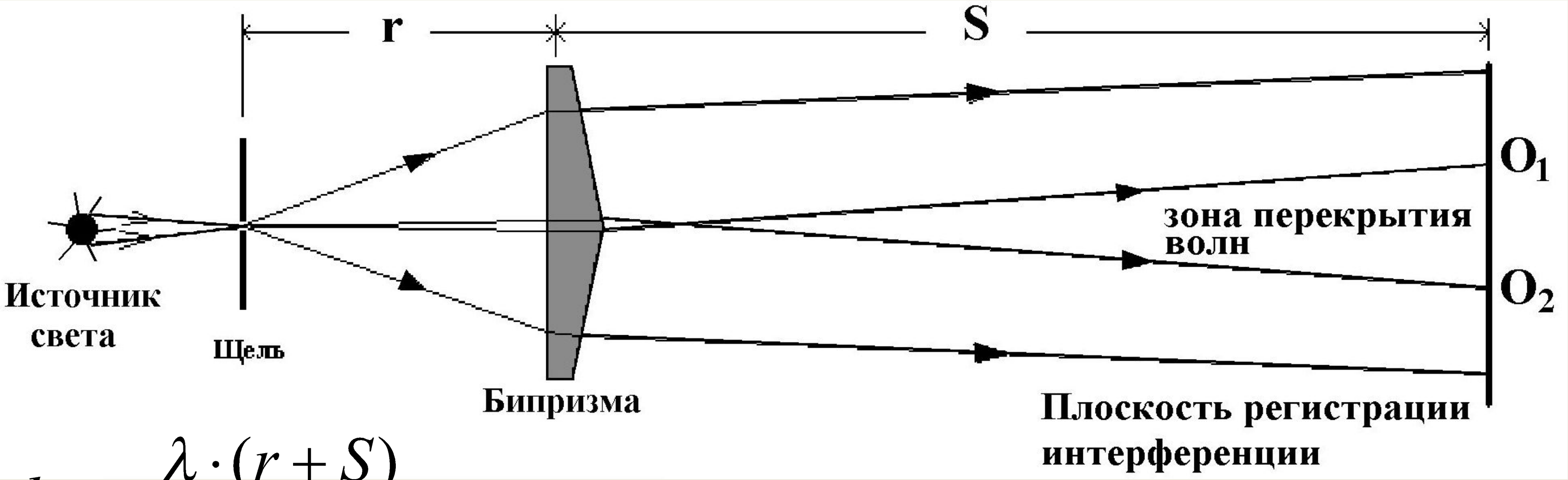
$r_2 - r_1 = d\sin\theta$.

Опыт Френеля





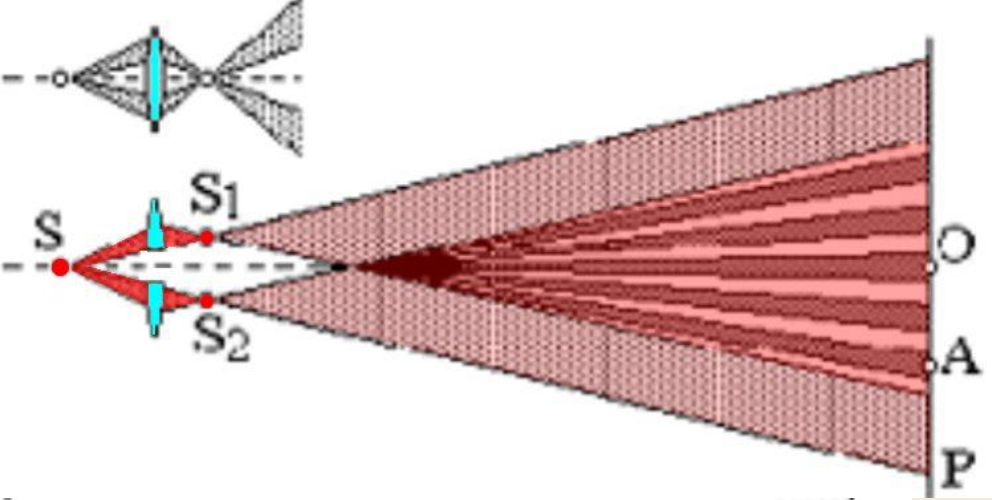
$$2 \cdot Y_0 = 2 \cdot \mathrm{a} \cdot (\mathrm{n} - 1) \cdot \mathrm{r}$$



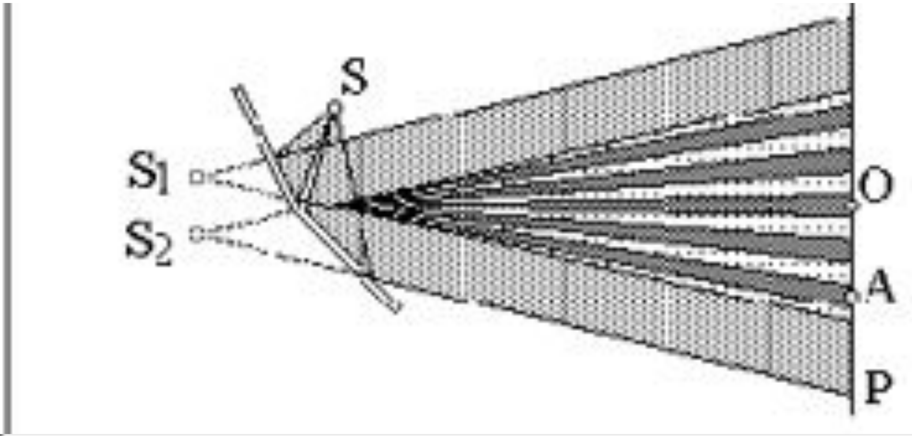
$$d = \frac{\lambda \cdot (r + S)}{2 \cdot \mathrm{a} \cdot (n - 1) \cdot r}$$ → **Бір интерференцилық жолақтың ені**

ширина одной интерференционной полосы

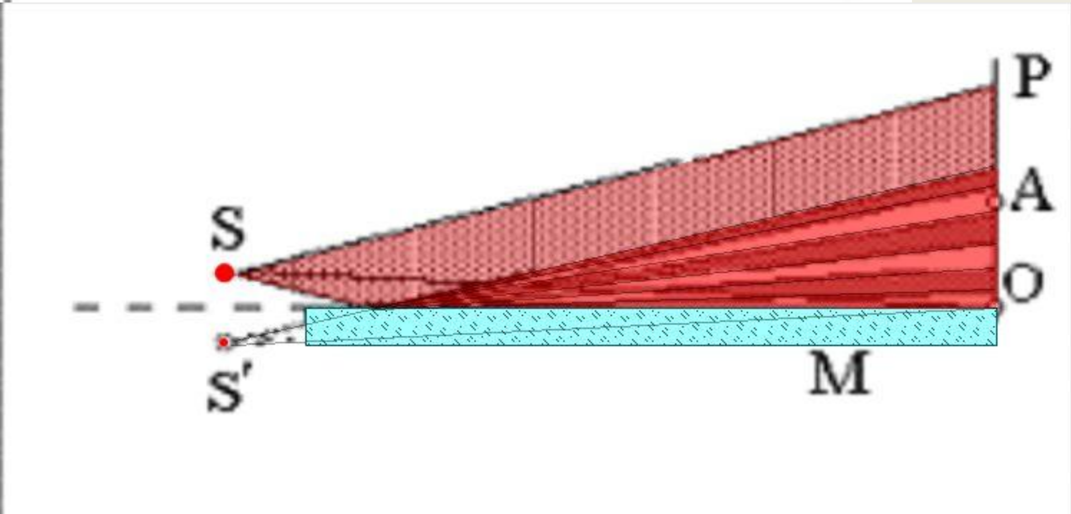
Бийе, Ллойд, бизеркало Френеля



линза Биейе

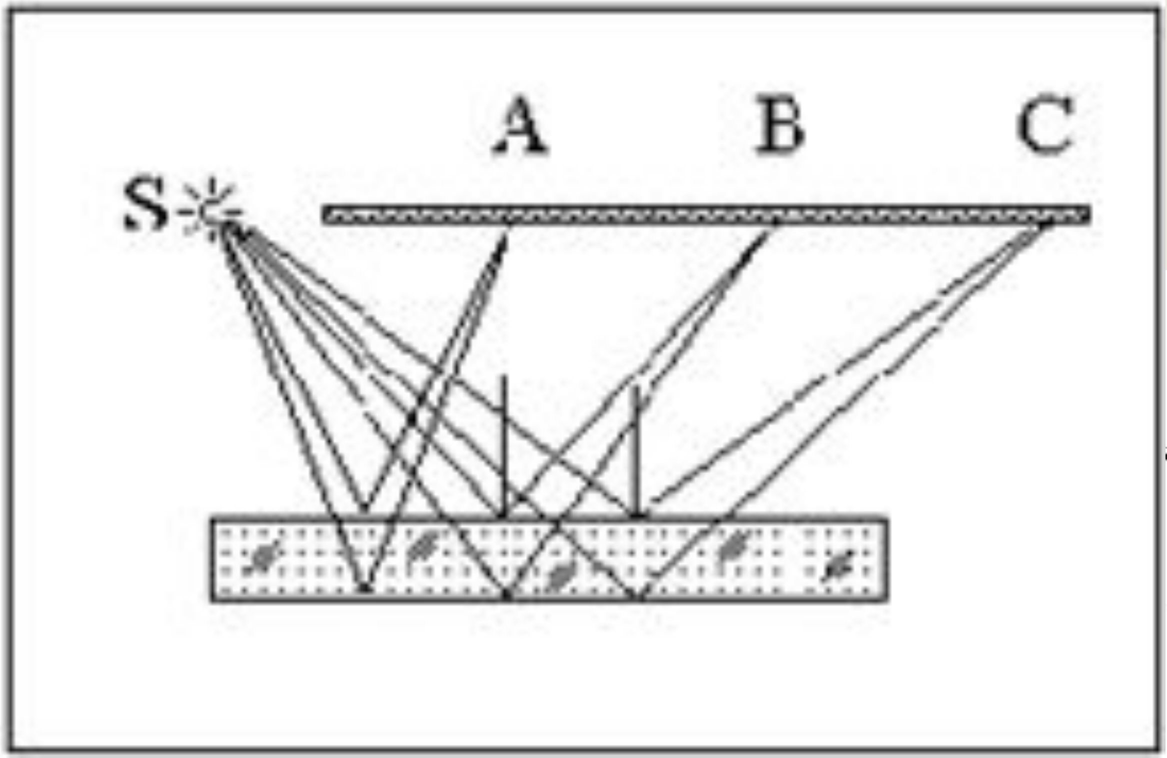


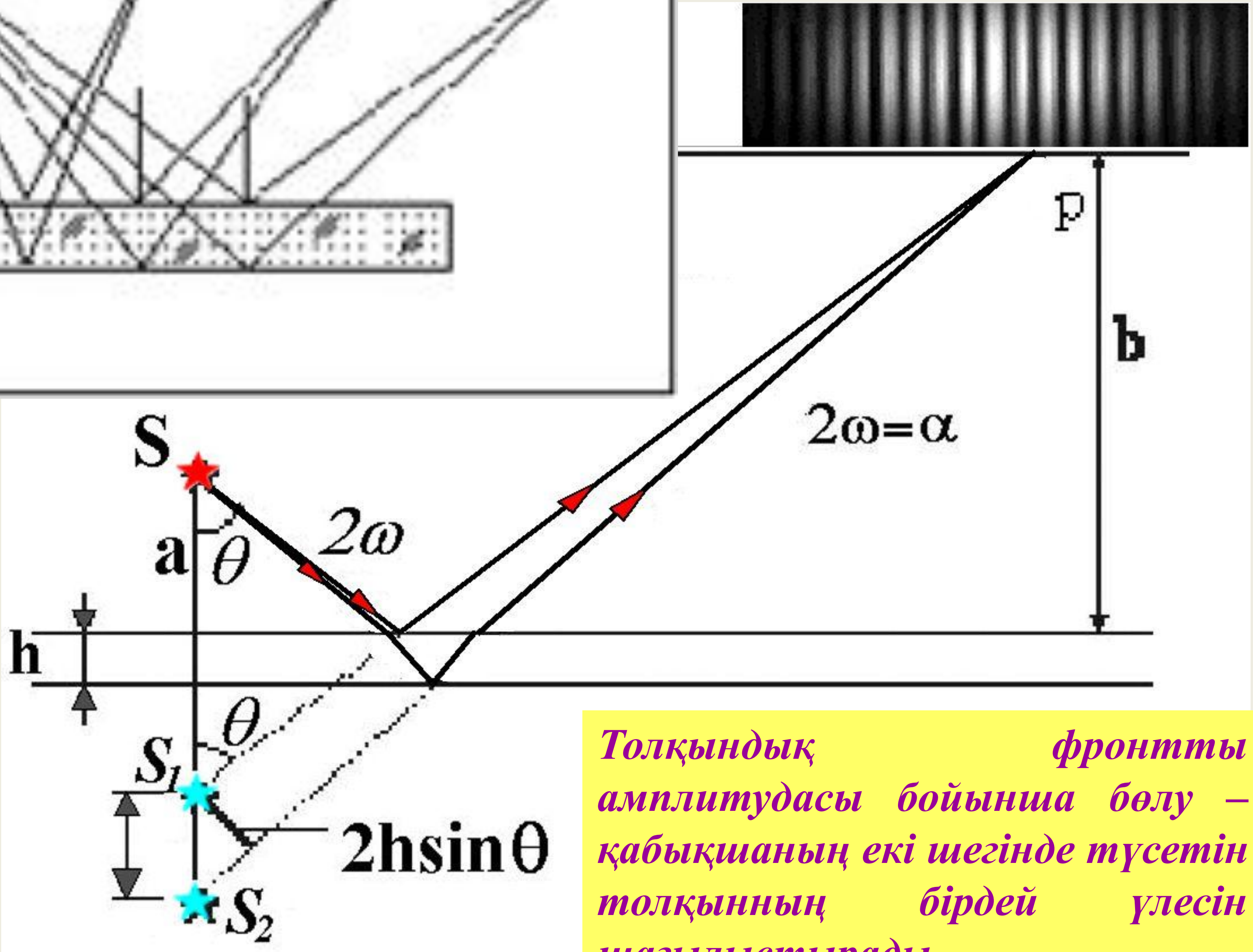
бизеркало Френеля



зеркало Ллойда

опыт Поля





Толқындық фронтты амплитудасы бойынша бөлу – қабықшаның екі шегінде түсетін толқынның бірдей үлесін

$$\Delta = (AB + BC)\cdot n - AD + \frac{\lambda}{2} = \boxed{2dn\cdot\cos\beta + \frac{\lambda}{2}} \quad \begin{matrix} 2m\frac{\lambda}{2} & - \max \\ (2m+1)\frac{\lambda}{2} & - \min \end{matrix}$$ (4)

«Чистое» деление волнового фронта по амплитуде

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2\theta} + \frac{\lambda}{2}$$ (5)

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}\cdot 2d\sqrt{n^2 - \sin^2\theta} + \pi$$ (6)

$$kr = \frac{2\cdot\pi}{\lambda}\cdot r = \frac{\omega}{v}\cdot r$$ (1)

Аргумент интерференционного косинуса

Порядок *m* интерференции увеличивается при уменьшении угла падения излучения θ

$$kr = \frac{2\cdot\pi}{\lambda_0}\cdot n\cdot r = \frac{\omega}{c}\cdot n\cdot r$$ (2)

$$L_N = \sum_{i=1}^{N} n_i \cdot r_i$$ (3)

Длина оптического пути луча, имеющего N участков траектории, каждый с длиной r_i в среде с показателем преломления n_i.