

Дәріс тақырыбы:

Толқындық оптика.

Жарық толқындарының
интерференциясы. Уақыттық және
кеңістіктік когеренттілік. Жұқа
пенкалардағы жарық
интерференциясы. Ньютон сақиналары.
Интерферометрлер.

Жарықтың толқындық қасиеттерінің бірі - интерференция

Интерференциялық көрініс



Жарық толқынының **интерференциясы деп** жұқа пленка беттерінен шағылған жарық толқындары бірімен-бірі қосылысқанда олардың бірін-бірі күшейтуін немесе әлсіретуін айтамыз.

Мысалы қарастырылатын нүктеде амплитудалары A_1 және A_2 , тербеліс фазалары φ_1 және φ_2 болатын екі жарық тербелістері қабаттассын.

$$E_1 = A_1 \cos(\omega t - kx_1) \quad \varphi_1 = (\omega t - kx_1) \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ - толқындық сан}$$

$$E_2 = A_2 \cos(\omega t - kx_2) \quad \varphi_2 = (\omega t - kx_2)$$

1) $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \neq \text{const}$

$$\overline{A^2} = \overline{A_1^2} + \overline{A_2^2} \quad I \sim A^2 \quad I = I_1 + I_2$$

2) $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \text{const}$

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \Delta\varphi$$

Бұл жағдайда жарық интенсивтілігі

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\varphi$$

$\cos(\varphi_2 - \varphi_1) > 0$ болса, онда берілген нүктедегі жарық толқыны **күшейеді**

$\cos(\varphi_2 - \varphi_1) < 0$ болса, онда берілген нүктедегі жарық толқыны **кемиді**

*Интерференция құбылысы байқалуы үшін қабаттасатын жарық тербелістерінің **фазаларынын айырмасы тұрақты** болу қажет. Мұндай жарық толқындарын **когерентті толқындар** деп атайды*

Когерентті толқындар деп жиіліктері (толқын ұзындықтары) бірдей, фазалар айырымы уақыт бойынша тұрақты (өзгермейтін) толқындарды айтады:

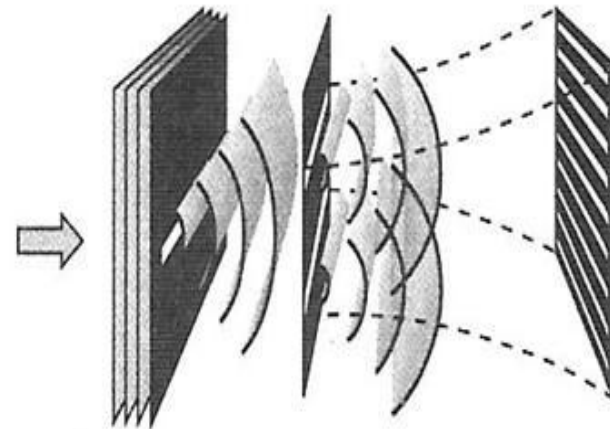
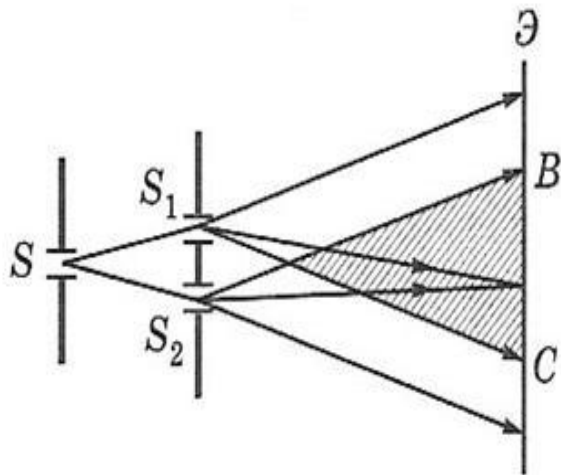
$$\Delta\varphi = \text{const}$$

Когерентті жарық толқындарын алу жолдары:

Юнг әдісі, Френель айналары, Френель бипризмасы, жұқа пленкада пайда болатын интерференция, Ньютон сақиналарын алуда пайда болатын интерференция.

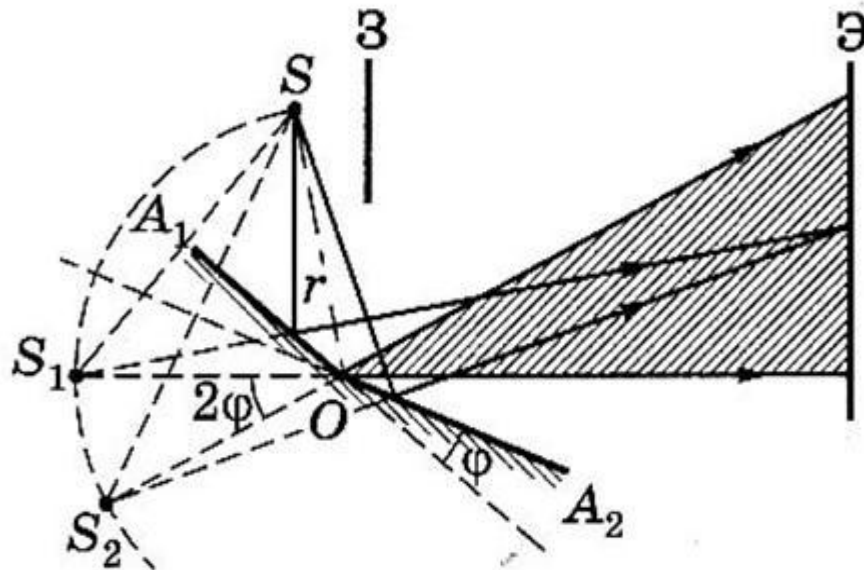
Когерентті жарық толқындарын алу жолдары

Юнг әдісі — бұрыштық өлшемі кішірек нүктелік S жарық көзінен жарықталған өлшемі өте аз саңылаулар екінші ретті S_1 және S_2 когерентті жорамал жарық көздерін береді. Интерференциялық бейне осы екі нүктелік көзден таралған жарық шоқтарының қабаттасу аймағында байқалады (суретте \mathcal{E} экрандағы BC аумағы).

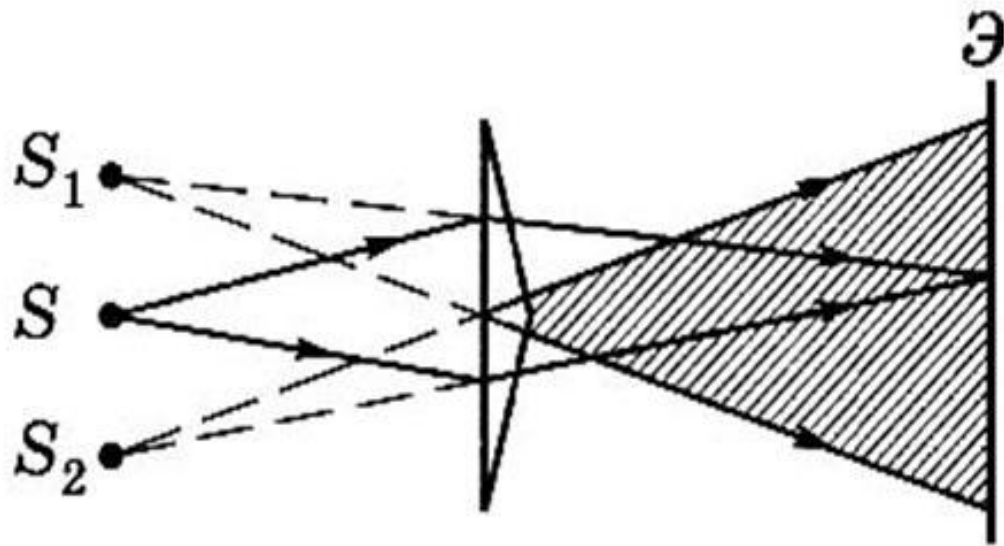


Френель әдістері:

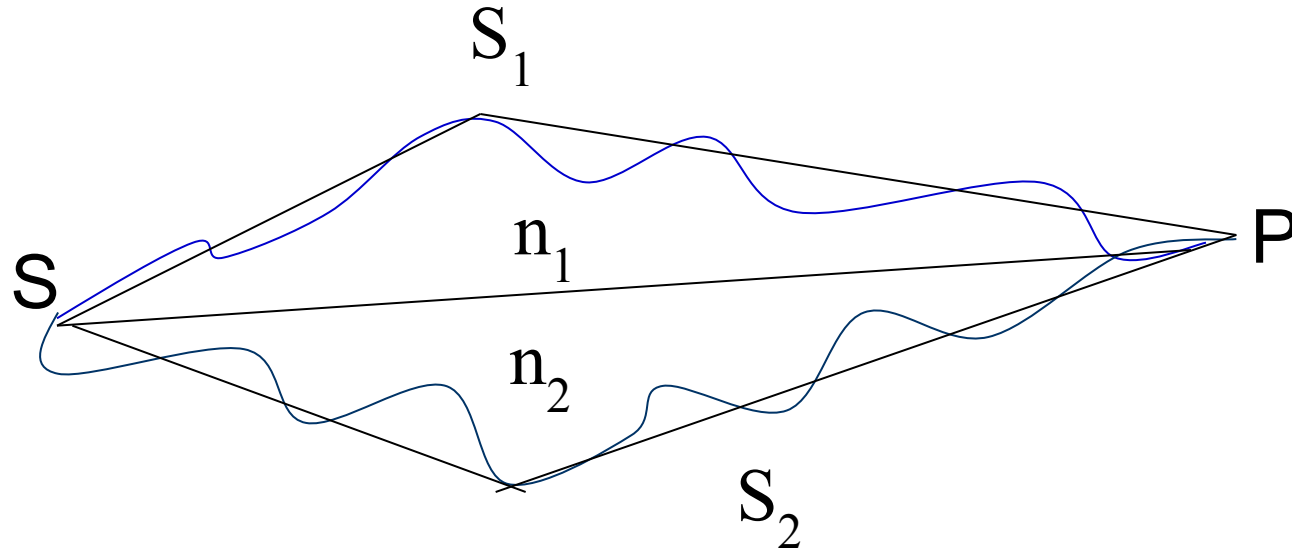
Френель айналары – нүктелік S көзден таралған жарық шоқтары бір-біріне қатысты 180^0 -қа жақын орналасқан (φ бұрышы аз) A_1O және A_2O жазық айналарға түседі. Интерференциялық бейне шағылған сәулелердің өзара қабаттасу аймағында бақыланады (Суретте Э–экран, З–экранға тікелей жарық түспеу үшін қойылған жазық қалқан зат).



Френель бипризмы – нүктелік S көзден тараған жарық шоқтары сындыру бұрыштары өте аз, табандары түйіскен екі призмадан өткен кезде сынған толқындардың қабаттасу нәтижесінде интерференциялық бейне қалыптасады.



Екі когерентті толқын S нүктеден шығады, және P нүктеде интерференция пайда болады



Интерференцияны әдетте интерференциялық суретті бір жарық көзінен шыққан толқындарды екіге жіктеп, қайтадан қабаттастыра отырып алады.

Бұл толқындардың теңдеулері

$$E_1 = A_1 \cos\left(\omega\left(t - \frac{S_1}{v_1}\right)\right) \quad E_2 = A_2 \cos\left(\omega\left(t - \frac{S_2}{v_2}\right)\right)$$

Тербеліс фазаларының айырмасы

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \omega\left(\frac{S_2}{v_2} - \frac{S_1}{v_1}\right) = \omega\left(\frac{S_2 n_2}{c} - \frac{S_1 n_1}{c}\right) = \frac{\omega}{c}(S_2 n_2 - S_1 n_1) = \frac{2\pi}{T \cdot c} \cdot (L_2 - L_1) = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta$$

Мұндағы $L = nS$ - жарық сәулесінің жүрген жолының оптикалық ұзындығы; Δ – оптикалық жол айырымы.

$\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta$ - оптикалық жол айырымы мен фазалар айырымы арасындағы байланыс

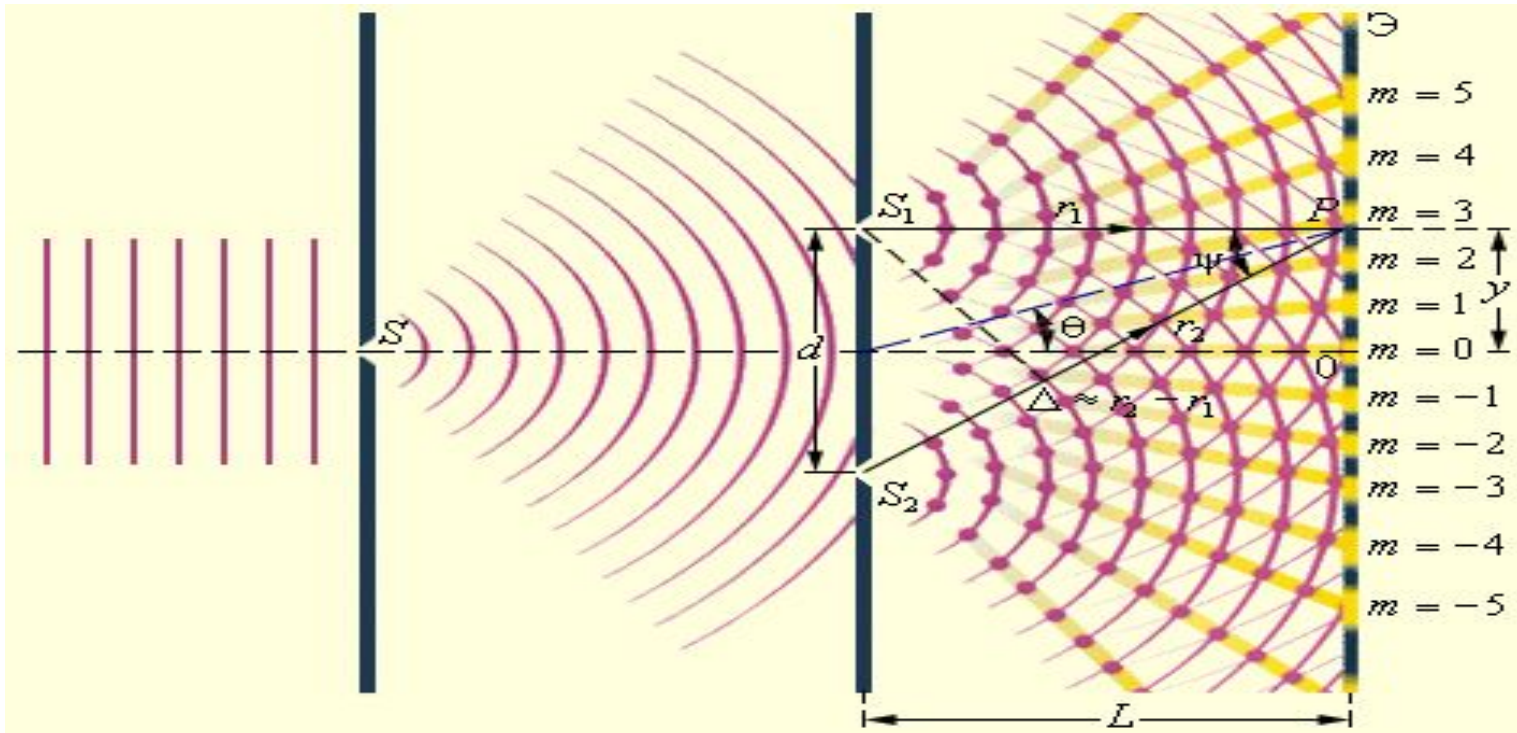
Егер толқындардың **оптикалық жол айырымы** жарты толқындардың жұп санына тең болса, олар **бірдей фазада тербеледі**, фазалар айырымы $\Delta\varphi = 2m\pi$, яғни **интерференциялық максимум шартын** аламыз:

$$\Delta_{\max} = m\lambda_0 = 2m \frac{\lambda_0}{2}$$

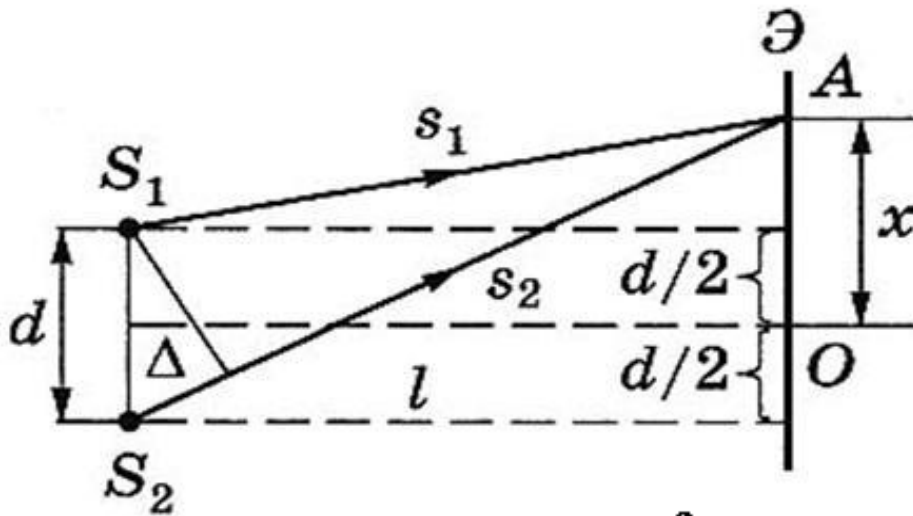
Егер толқындардың **оптикалық жол айырымы** жарты толқындардың тақ санына тең болса, онда олар **қарама-қарсы фазада тербеледі**, фазалар айырымы $\Delta\varphi = (2m + 1)\pi$, яғни **интерференциялық минимум шартын** аламыз:

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

Интерференциялық бейне шамаларын есептеу әдісі



Бір жазықтықта d қашықтықта жақын орналасқан ($l \gg d$) екі нүктелік S_1 және S_2 когерентті жарық көзінен таралған монохромат толқындардың кез келген A нүктедегі интерференциясы үшін оптикалық жол айырымы (Δ):



$$\Delta = s_2 - s_1 \quad s_1^2 = l^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2, \quad s_2^2 = l^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2,$$

$$s_2^2 - s_1^2 = 2xd \quad \Delta = s_2 - s_1 = \frac{2xd}{(s_1 + s_2)}$$

$$l \gg d \quad s_1 + s_2 \approx 2l$$

$$\Delta = \frac{xd}{\lambda}$$

Максимумы:

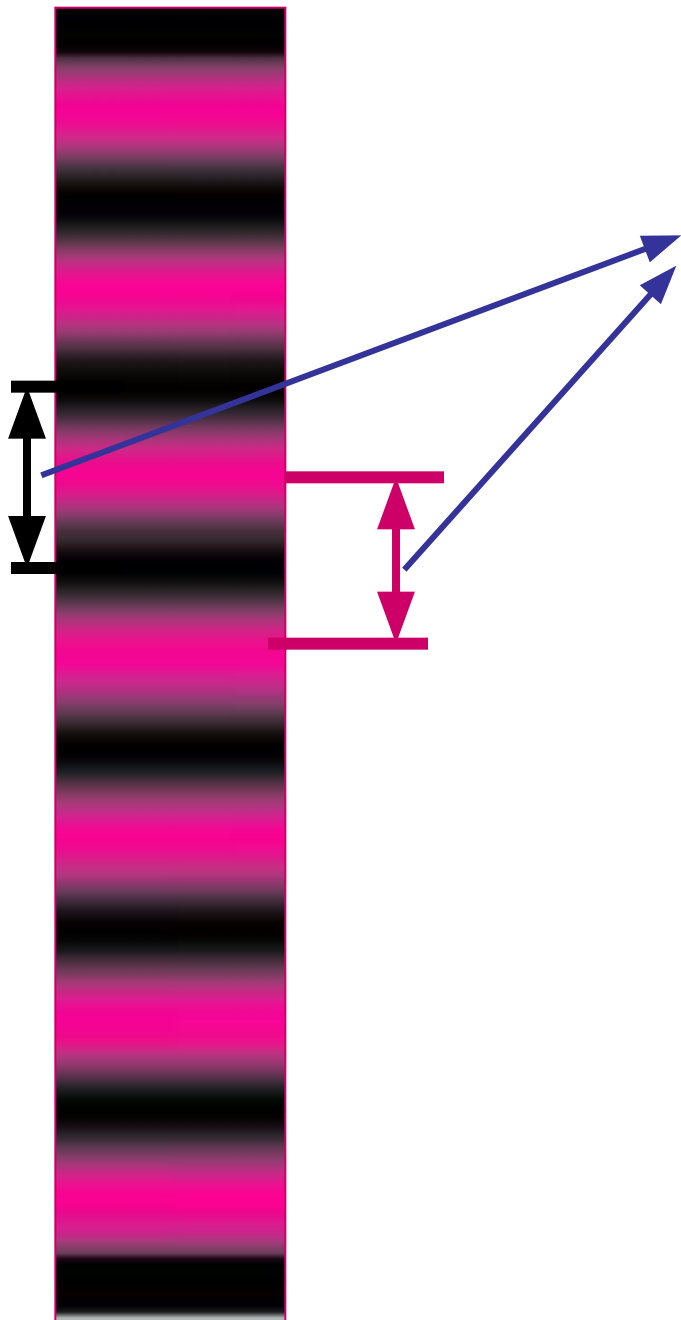
$$x_{\max} = \pm m \frac{\lambda_0}{d}, \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

минимумы байқалады:

$$x_{\min} = \pm \left(m + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda_0}{d}, \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

Интерференциялық жолақтың ені —
көршілес екі максимумдар (немесе
минимумдар) ара қашықтығы

$$\Delta x = \frac{\lambda_0}{d}$$



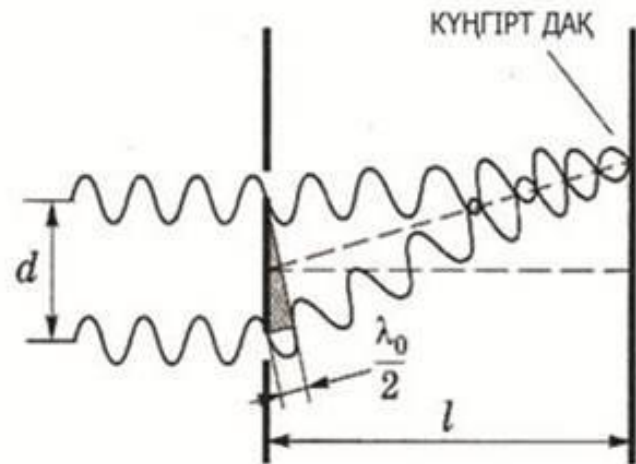
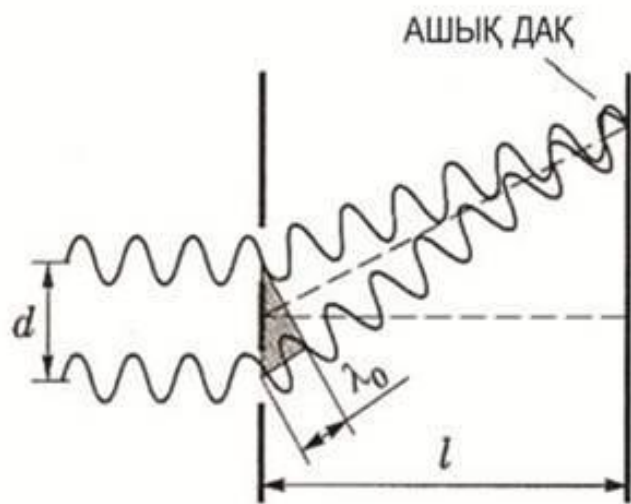
*интерференциялық
жосақтың ені*

*интерференциялық жосақтың
ені* – *көршілес екі минимумдар
(немесе максимумдар) ара
қашықтығы:*

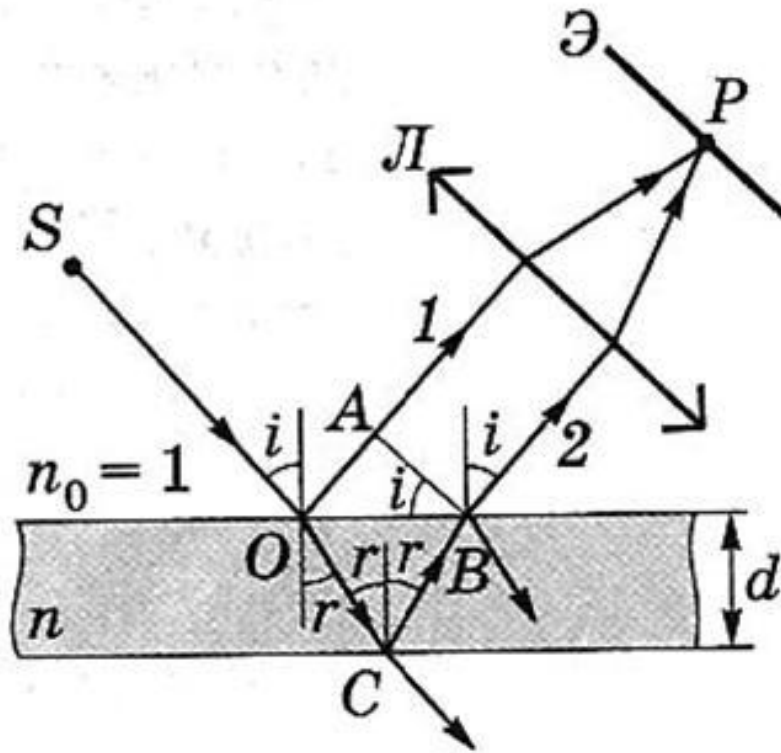
$$\Delta x = \frac{\lambda_0 \varnothing}{d}$$

Интерференциялық
минимумның болуын
тұрғысынан суреттегі
болады:

максимум мен
толқындық теория
модельмен келтіруге



Жазық параллель пластинадағы интерференция.



$$\Delta = n(OC + CB) - n_0 \left(OA \pm \frac{\lambda_0}{2} \right), \quad OC = CB = \frac{d}{\cos r}, \quad OA = OB \sin i = 2d \operatorname{tgr} \sin i.$$

$$\Delta = 2d \frac{n}{\cos r} - 2dn_0 \sin i \cdot \operatorname{tgr} \pm \frac{\lambda}{2}$$

$$n_0 \sin i = n \sin r$$

$$\Delta = 2d \frac{n}{\cos r} - 2hn \sin r \cdot \operatorname{tgr} \pm \frac{\lambda}{2} = \frac{2dn}{\cos r} (1 - \sin^2 r) \pm \frac{\lambda}{2}$$

$$\Delta = 2dn \cdot \cos r \pm \frac{\lambda}{2}$$

Қосылғыш $\pm \frac{\lambda_0}{2}$ – екі ортаның шекарасынан жарық шағылғанда жарты толқынның жоғалуы.

Егер $n > n_0$ болса, жарты толқын **O** нүктесінде жоғалады ($-\frac{\lambda_0}{2}$).

Егер $n < n_0$ болса, жарты толқын **C** нүктесінде жоғалады ($+\frac{\lambda_0}{2}$).

$$\sin i = n \sin r, \quad \Delta = 2dn \cos r \pm \frac{\lambda_0}{2} = 2dn \sqrt{1 - \sin^2 r} \pm \frac{\lambda_0}{2} = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \frac{\lambda_0}{2}.$$

$$n > n_0, n_0 = 1 \quad \Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda_0}{2}.$$

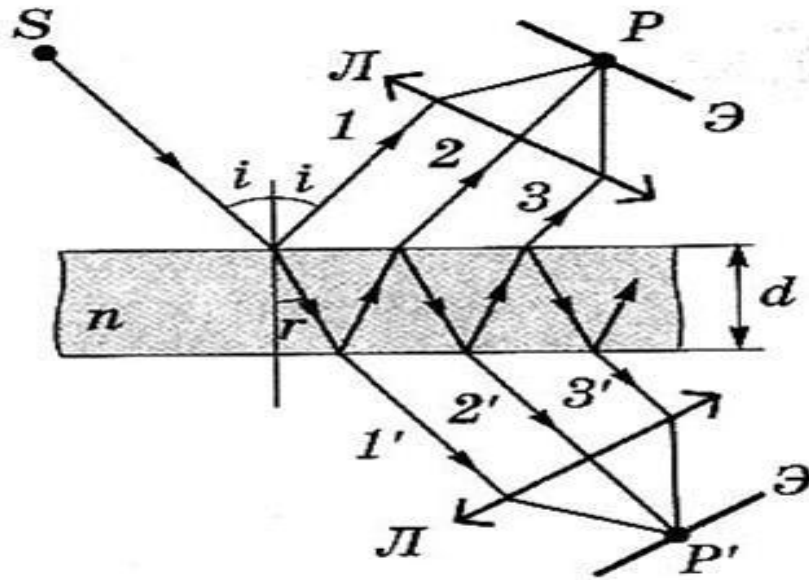
шағылған жарық үшін p нүктесінде интерференциялық максимум:

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda_0}{2} = m\lambda_0.$$

шағылған жарық үшін p нүктесінде интерференциялық минимум:

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda_0}{2} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda_0.$$

Шағылған жарық үшін p нүктесіндегі интерференциялық максимум өткен жарық үшін p' нүктесіндегі интерференциялық минимумге сәйкес келеді және керісінше.



Интерференция бейнесі шағылған жарықта бақылаған кезде жарықтың күшею шарты (Интерф. максимум) :

$$2hn \cos r = (2k - 1) \frac{\lambda}{2}$$

Жарықтың әлсіреу шарты (Интерф. минимум) :

$$2hn \cos r = 2k \frac{\lambda}{2}$$

Интерференция бейнесі өткен жарықта бақыланған кездегі жарықтың күшею шарты (Интерф. максимум) :

$$2hn \cos r = 2k \frac{\lambda}{2}$$

Жарықтың әлсіреу шарты (Интерф. минимум) :2

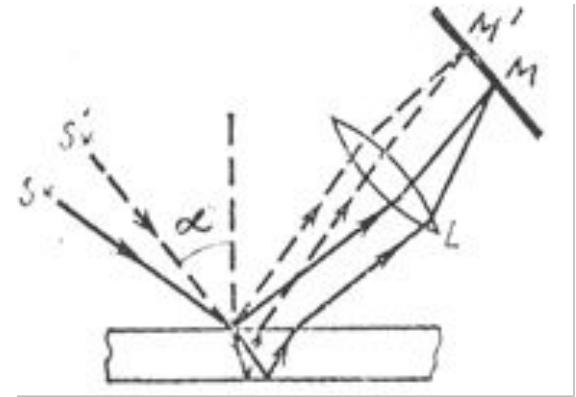
$$2hn \cos r = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

Жұқа пленкадағы жарықтың интерференциясы кезінде келесі **екі интерференциялық құбылыс** байқалады:

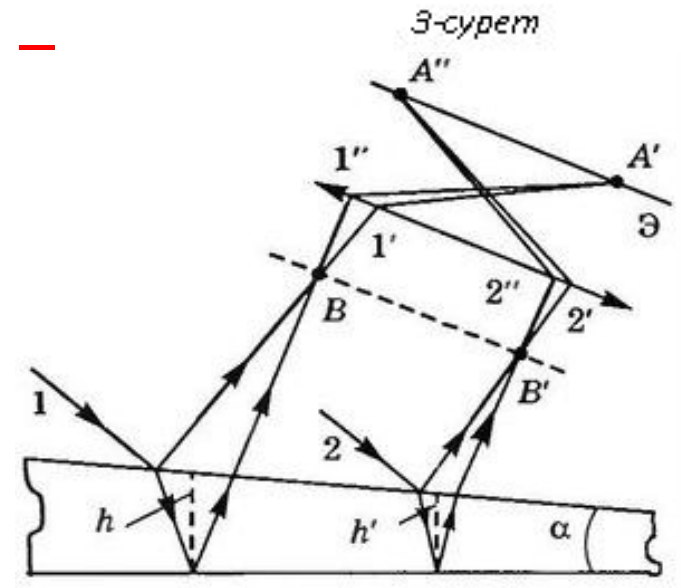
- 1) **Бірдей көлбеулік жолақтары** – Жазық параллель пленкаға шашыраған немесе тоғысатын сәулелер түскенде интерференциялық көрініс бірдей бұрышпен түскен сәулелердің қабаттасуынан болады
- 2) **Бірдей қалыңдық жолақтары** – Сына тәріздес мөлдір денеден жарық шағылғанда немесе өткенде интерференциялық көріністер жарық толқындарының бірдей нүктеден шағылған немесе өткінші сәулелердің қабаттасуынан болады.

Жұқа пленкадағы жарықтың интерференциясы кезінде келесі **екі интерференциялық құбылыс** байқалады:

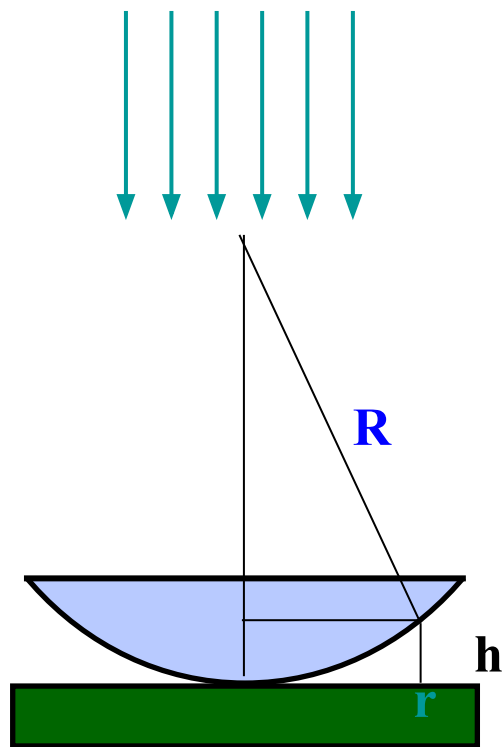
1) Бірдей көлбеулік жолақтары –



2) Бірдей қалыңдық жолақтары –



Ньютон сақиналары



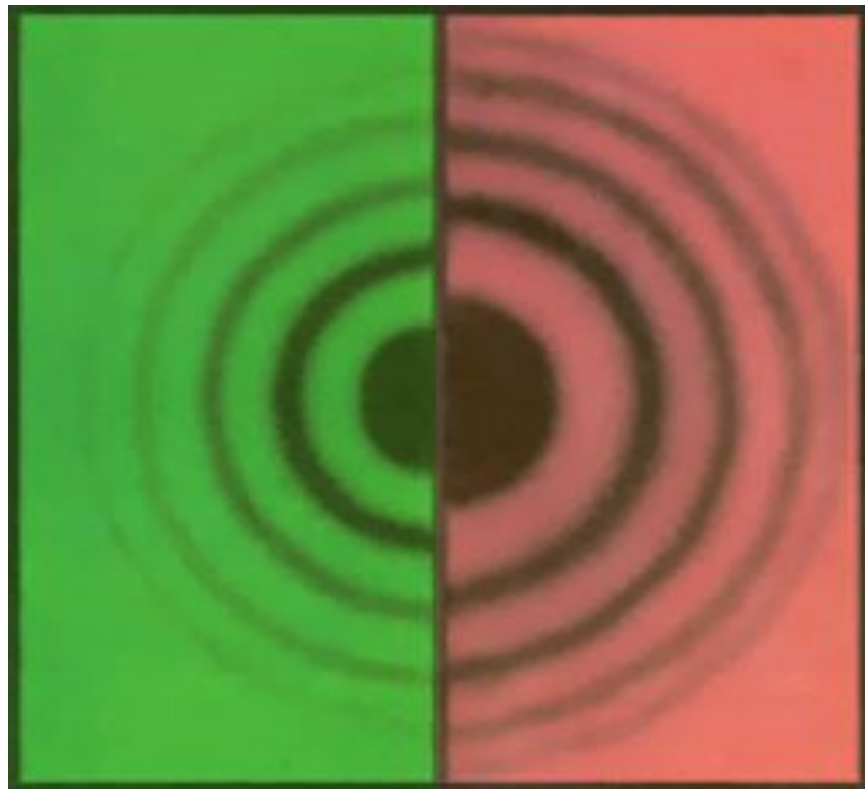
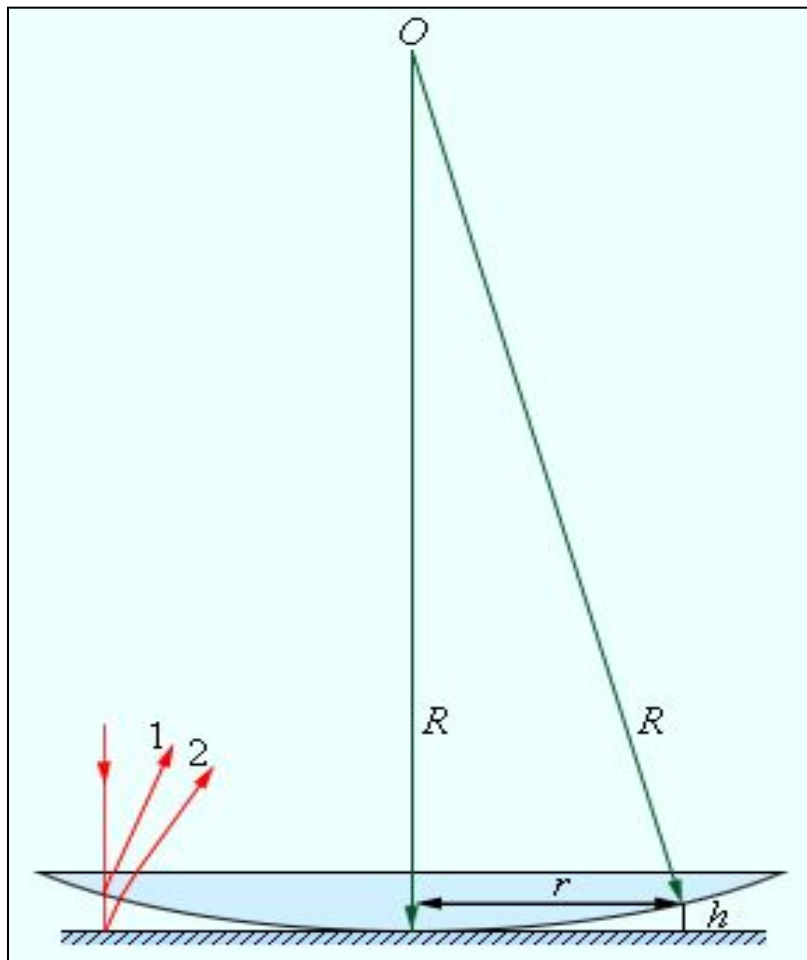
Ең бірінші интерференция құбылысын зертханалық жағдайда Ньютон бақылаған. Ол жазық дөңес линза мен жазық пластина арасындағы жұқа ауа қабатынан жарық сәулелерінің шағылуы кезінде пайда болған интерференциялық құбылысты бақылады. Интерференциялық көрініс концентрлі сақиналар түрінде болған, оны Ньютон сақиналары деп атаған. Жарық сақиналардың радиусы:

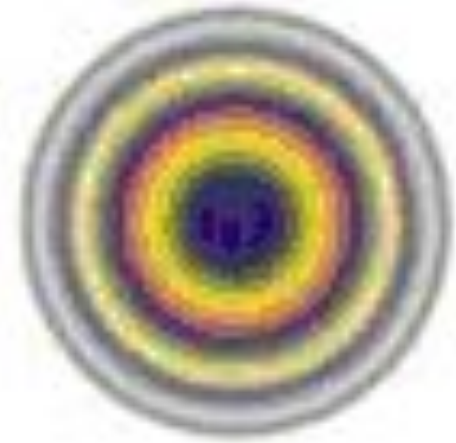
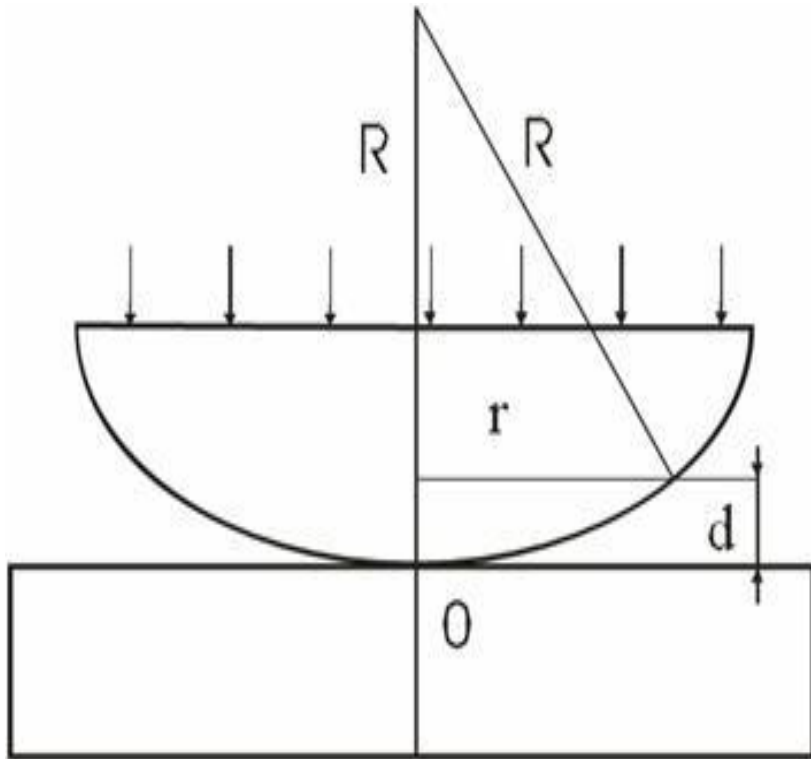
$$r_k = \sqrt{(2k - 1)R \frac{\lambda}{2}}$$

Қараңғы сақиналардың радиусы: $r_k = \sqrt{kR\lambda}$

мұндағы R – жазық дөңес линзаның радиусы, k - сақинаның реті, λ - жарықтың толқын ұзындығы. Өткен жарық үшін сақиналардың радиустарының формулалары керісінше болады.

Ньютон сақиналары





$$n = 1$$

$$\Delta = 2d + \lambda_0 / 2$$

$$R^2 = (R - d)^2 + r^2$$

$$d = r^2 / (2R)$$

$$\Delta = r^2 / R + \lambda_0 / 2$$

$$r_m = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right) \lambda_0 R}$$

шағылған жарықта ашық
сақиналар радиусы
($m=1, 2, 3, \dots$).

$$r = \sqrt{m \lambda_0 R}$$

шағылған жарықта күңгірт
сақиналар радиусы
($m=1, 2, 3, \dots$).

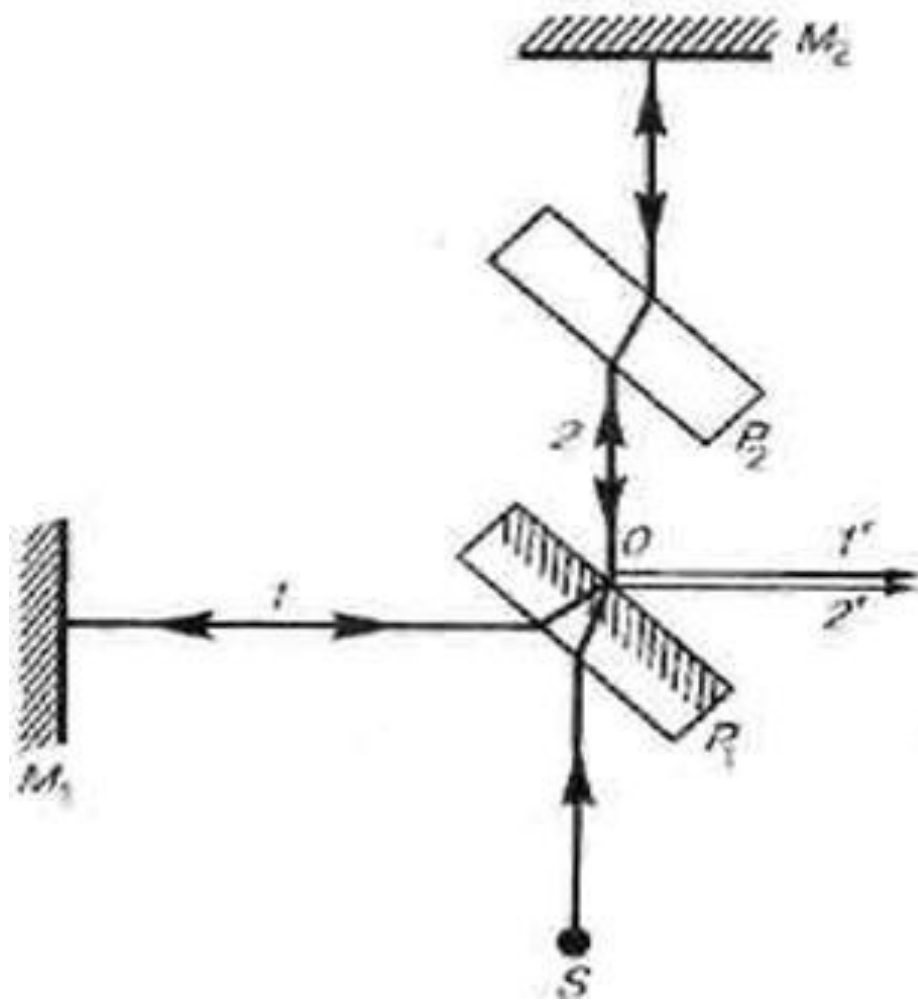
Интерферометрлер деп жұмыс істеу принципі жарықтың интерференциясы құбылысына негізделген оптикалық құралдарды айтамыз.

Интерферометрлердің бірнеше түрі бар.

Мысалы: **Жамен, Майкельсон, Линник, Фабри-Перо интерферометрлері.**

Майкельсон интерферометрі ұзындықтарды (дененің ұзындығын, жарық толқындарының ұзындығын) дәл өлшеуде қолданылады.

Майкельсон интерферометр



*Назар
аударғандарыңызға
рахмет!*