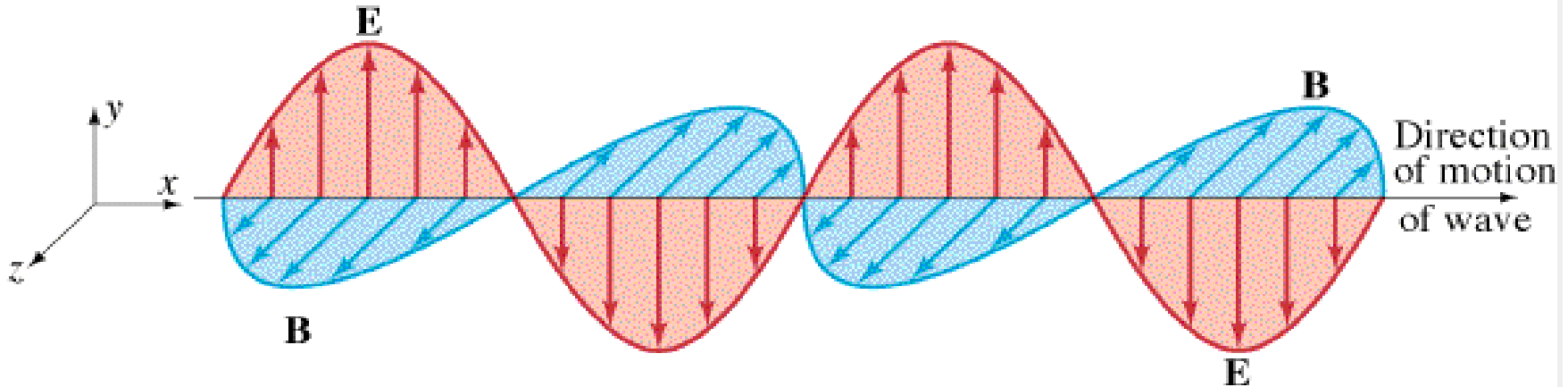


ОПТИКА

Оптика – жарықты зерттейтін физиканың бөлімі.

Жарық – көзге көрінетін **электрмагниттік** толқын. $\vec{E} \perp \vec{H} \perp \vec{c}$

Электрмагниттік толқын – электрмагниттік өрістің кеңістікте таралуы.



МАКСВЕЛЛ ТЕҢДЕУЛЕРІ

$$\oint (\vec{E} d\vec{\ell}) = - \frac{\partial \Phi_m}{\partial t}$$

Магнит ағынының өзгерісі электр өрісін тудырады.

$$\oint (\vec{H} d\vec{\ell}) = \frac{\partial \Phi_e}{\partial t}$$

Электр ағынының өзгерісі магнит өрісін тудырады.

Электрмагниттік толқын жылдамдығы

$$Bz_0 = \mu_0 \varepsilon_0 E z_0 v$$

$$B = \mu_0 \varepsilon_0 E v$$

$$E = B v$$

$$B = \mu_0 \varepsilon_0 (B v) v$$

$$1 = \mu_0 \varepsilon_0 v^2$$

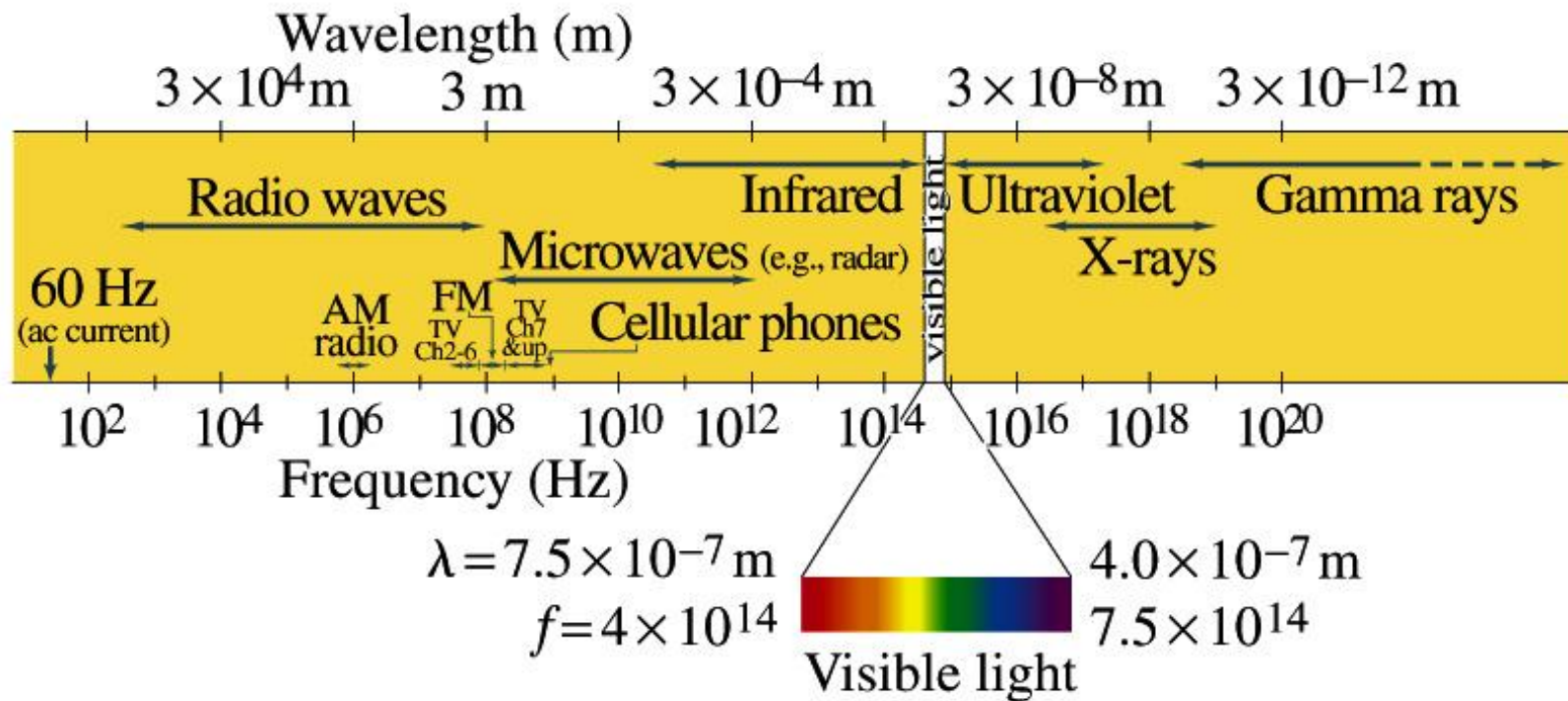
$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{8.85 \times 10^{-12} \times 4\pi \times 10^{-7}}}$$

$$v = 3 \times 10^8 \text{ м/с}$$

Электрмагниттік толқынның аумағы

Электрмагниттік толқын жылдамдығы : $c = f \cdot \lambda = 3 \cdot 10^8$



Вакуумдағы жарық толқын ұзындығы 0,40 ~ 0,76 мкм.

УМОВ-ПОЙТИНГ ВЕКТОРЫ

Электрмагниттік өріс кеңістікте тарала отырып, энергия тасымалдайды.

Электр өрісі энергия ағысының тығыздығы :

$$w_e = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2$$

Магнит өрісі энергия ағынының тығыздығы :

$$w_m = \frac{1}{2} \mu \mu_0 H^2$$

Электрмагниттік өріс энергиясының тығыздығы олардың қосындысына тең :

$$w = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \mu \mu_0 H^2$$

Вакуумде таралған электрмагниттік өріс энергия ағынының тығыздығы :

$$\vec{S} = \left[\vec{E} \vec{H} \right]$$

Бұл өрнек — Умов-Пойнтинг векторы деп аталады.

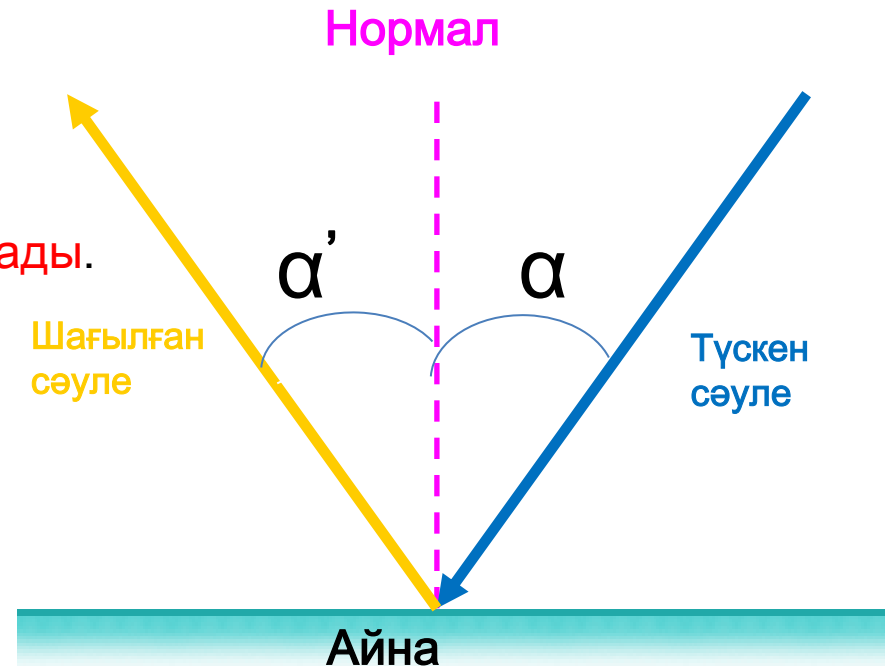
ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ОПТИКА

Геометриялық оптика жарықтың таралу заңдылығын жарық сәулелері арқылы қарастыратын оптиканың бір бөлімі. Жарық сәулелері геометриялық сызық арқылы сипатталады.

ЖАРЫҚТЫҢ ШАҒЫЛУ ЗАҢЫ : $\alpha = \alpha'$

Түсу бұрышы шағылу бұрышына тең болады.

Түсу бұрышы түскен сәуле мен нормал арасындағы бұрыш.
Шағылу бұрышы шағылған сәуле мен нормал арасындағы бұрыш.



ЖАРЫҚТЫҢ СЫНУ ЗАҢЫ

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{немесе} \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

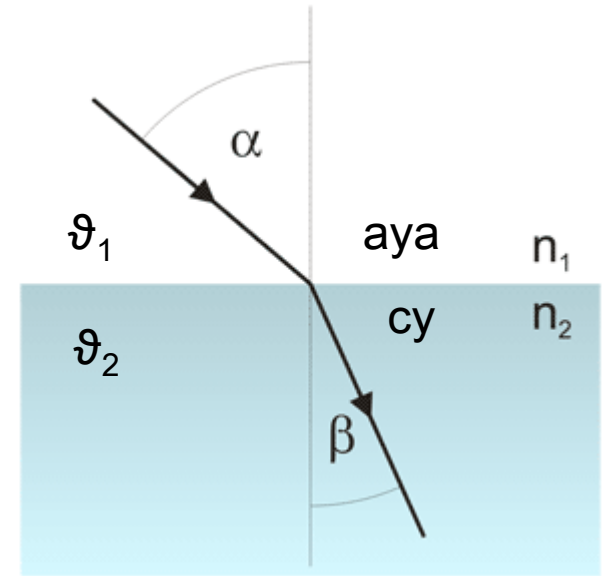
$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \quad \text{немесе} \quad n_1 v_1 = n_2 v_2$$

Егер 1-орта ауа, екінші ортаны су деп қарасақ

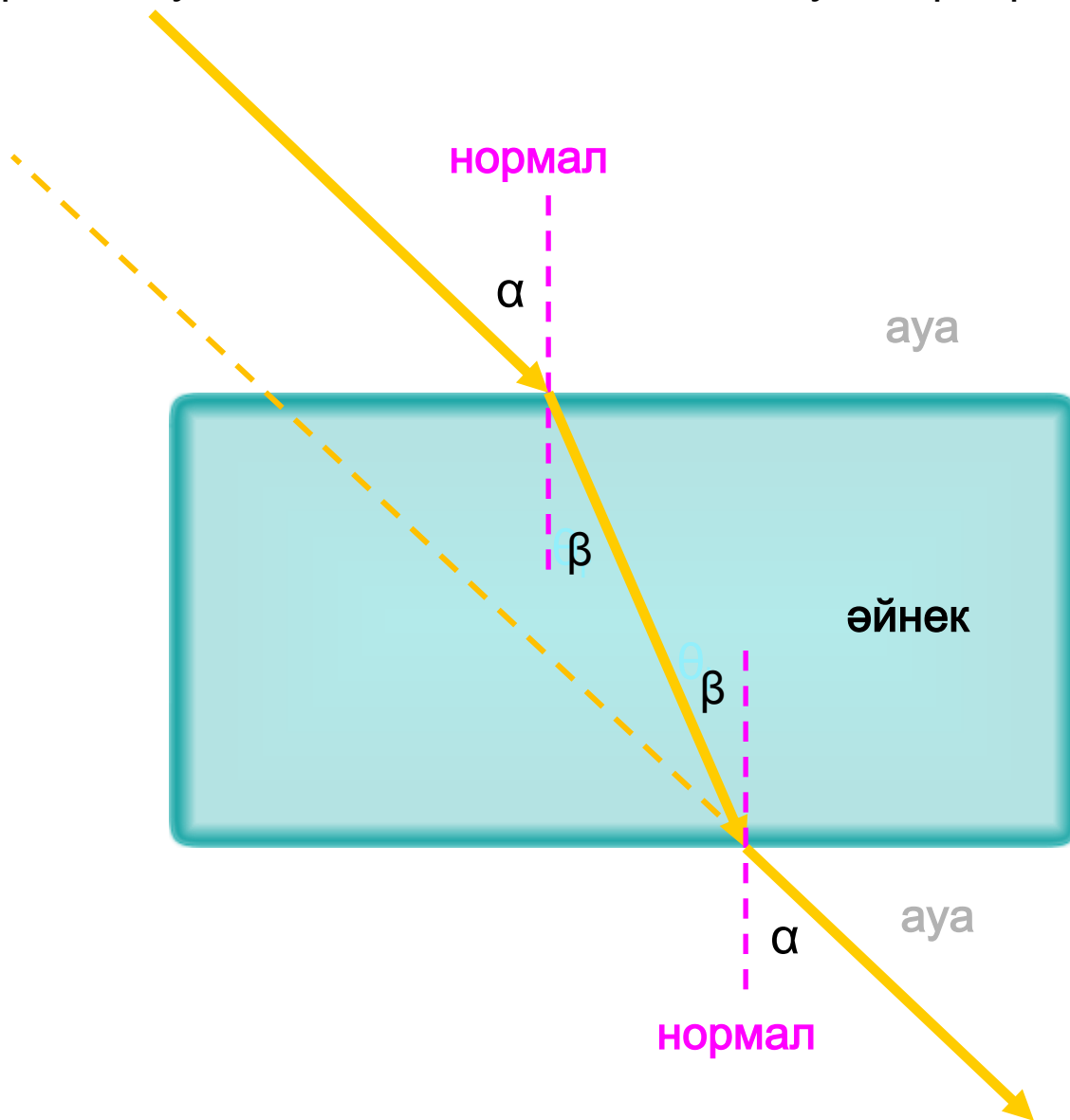
$$n_1 = 1, \quad v_1 = c, \quad n_2 = 1.3$$

$$c = n_2 v_2$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$



Түскен сәуле мен әйнекті тесіп өткен сәуле бір-біріне параллель



ЖАРЫҚТЫҢ ТҮЗУ СЫЗЫҚТЫ ТАРАЛУ ЗАҢЫ

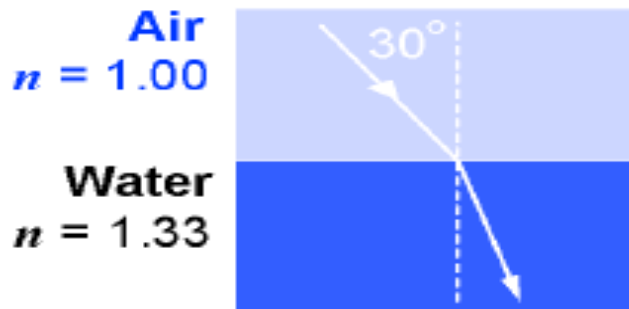
Оптикалық біркелкі ортада жарық сәулесі түзу сызық бойымен таралады. Егер сыну көрсеткіші барлық жерде бірдей болса, ондай орта оптикалық біртекті орта деп аталады.

ЖАРЫҚ ШОҚТАРЫНЫҢ ТӘУЕЛСІЗДІК ЗАҢЫ

Бір нүктеге түскен жарық сәулелері бір-біріне тәуелсіз болады.

ЖАРЫҚ СӘУЛЕЛЕРІНІҢ ҚАЙТЫМДЫЛЫҚ ЗАҢЫ

Егер сәуле α бұрышымен түссе және екінші ортада β бұрышымен сынса, онда екінші ортадан кейінгі бағытта β түсу бұрышымен жіберілген жағдайда, бірінші ортаға α бұрышымен тарайды.

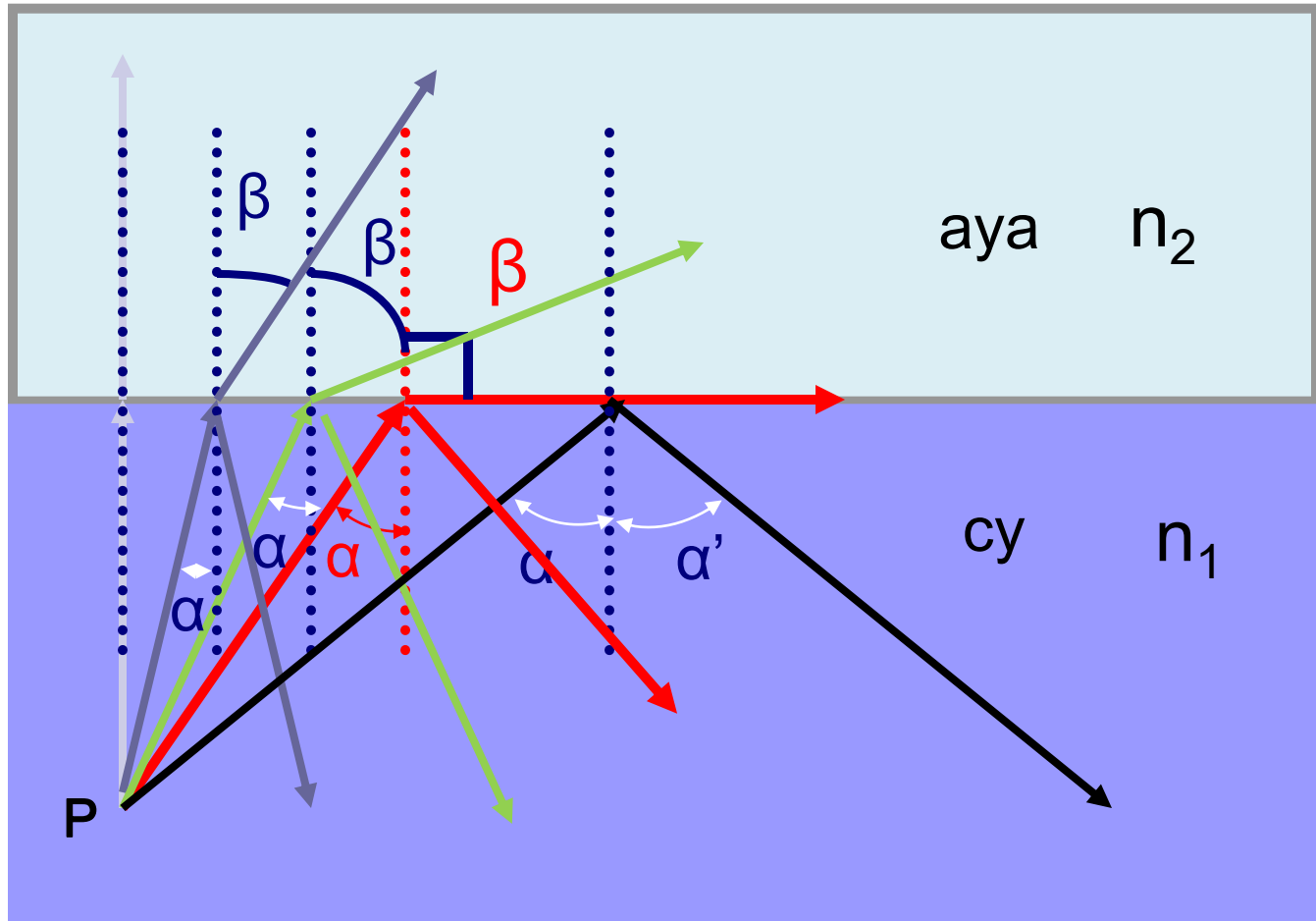


ТОЛЫҚ ІШКІ ШАҒЫЛУ ҚҰБЫЛЫСЫ

Егер жарық сәулесі оптикалық **тығыз** ортадан оптикалық **сирек** ортаға өтсе, және түсу бұрышы шектік бұрыштан үлкен болса, толық шағылу құбылысы байқалады. Сыну бұрышы 90° -қа тең кездегі түсу бұрышы $\alpha_{ш}$ **шекті бұрыш** деп аталады.

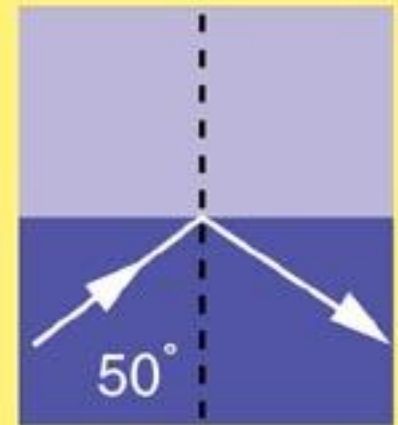
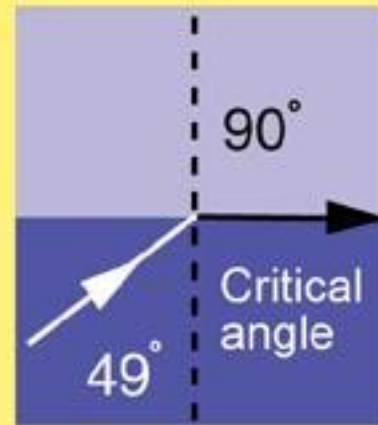
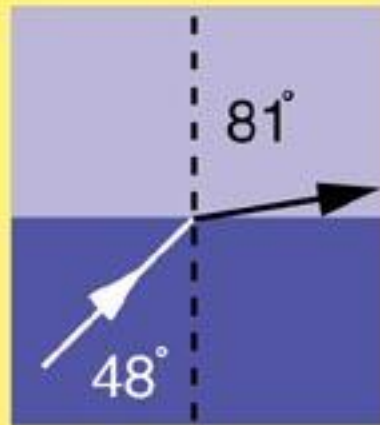
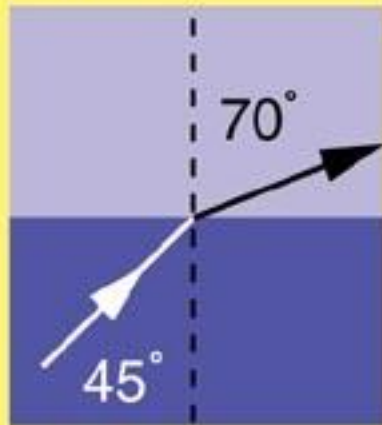
$$\sin \alpha_{ш} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_1 > n_2$$



Reflection and the Critical Angle

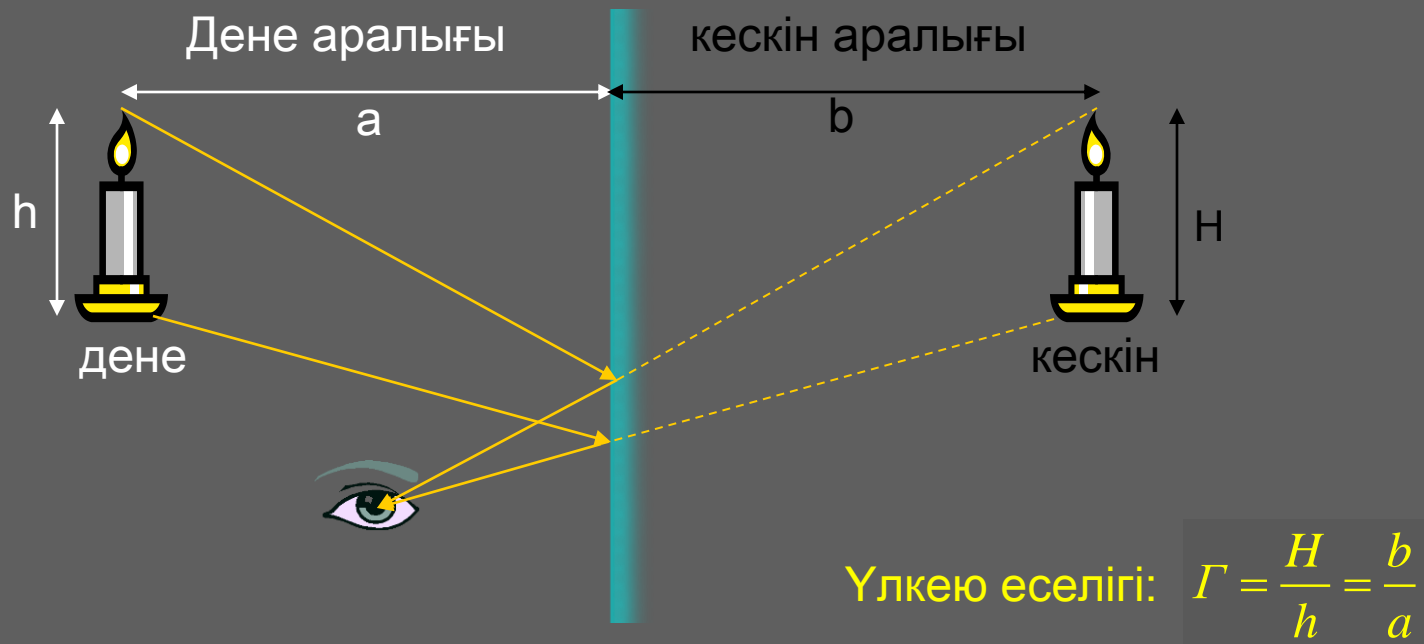
Air



Water

Total internal reflection

Жазық айнадығы кескін

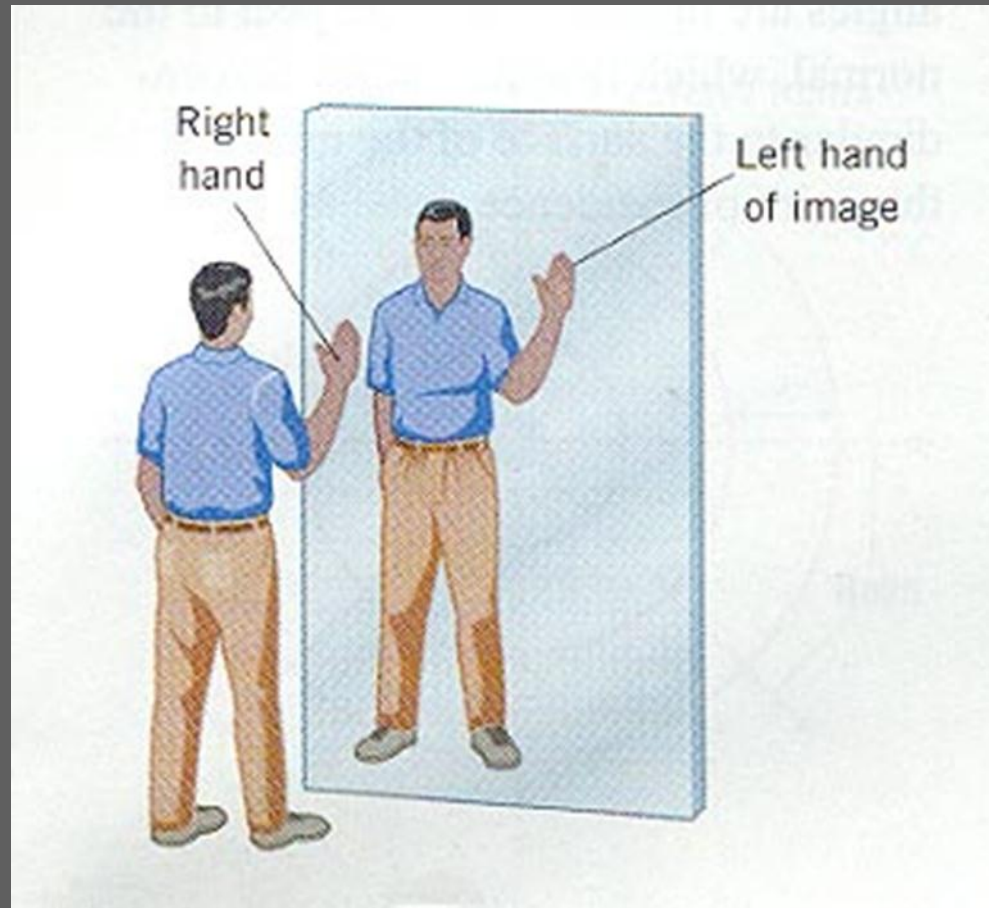


Кескін: жалған кескін (*үзік сызық*) және оң кескін

Кескін үлкейтілмеген: дене биіктігі (h) = кескін биіктігі (H).

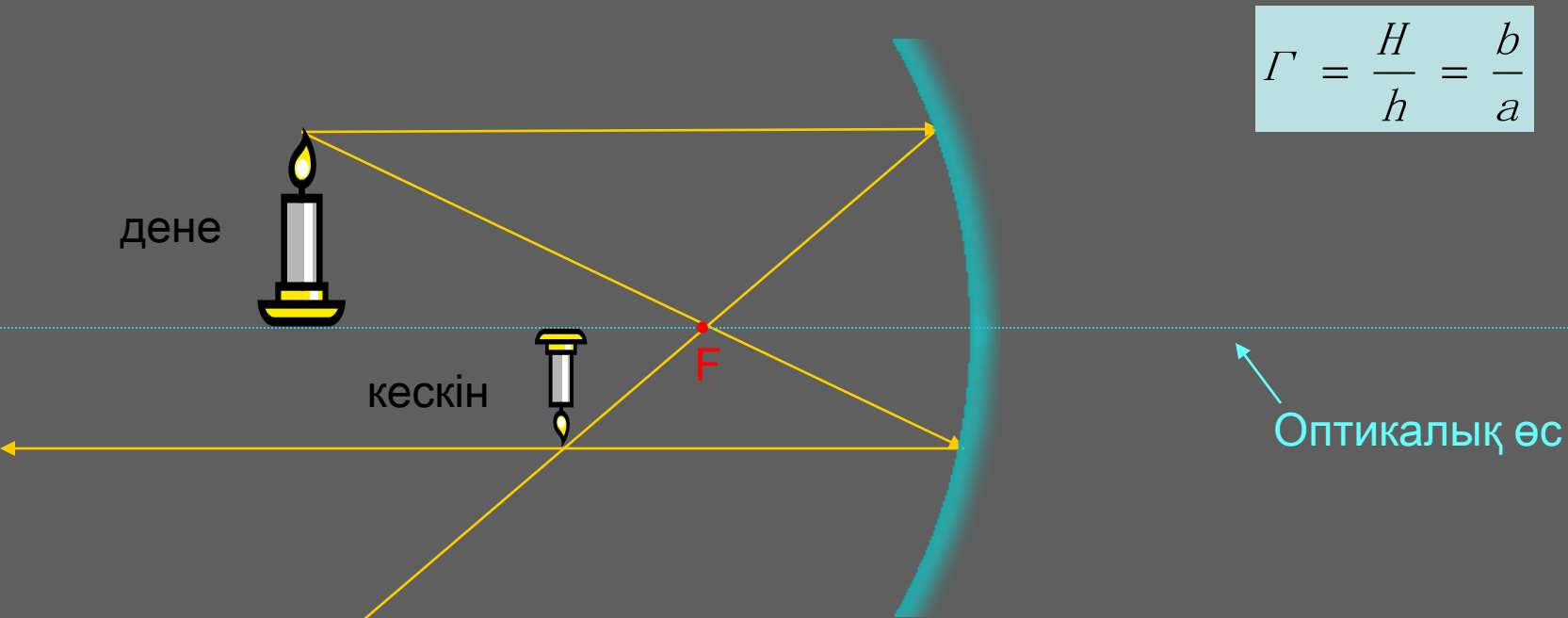
Дене аралығы (a) = кескін аралығы (b).

Дене мен кескіннің оң солы



Жазық айнадағы дене мен кескіннің оң солы алмасады.

Сфералық айнадағы кескін (ойыс, $a > f$)

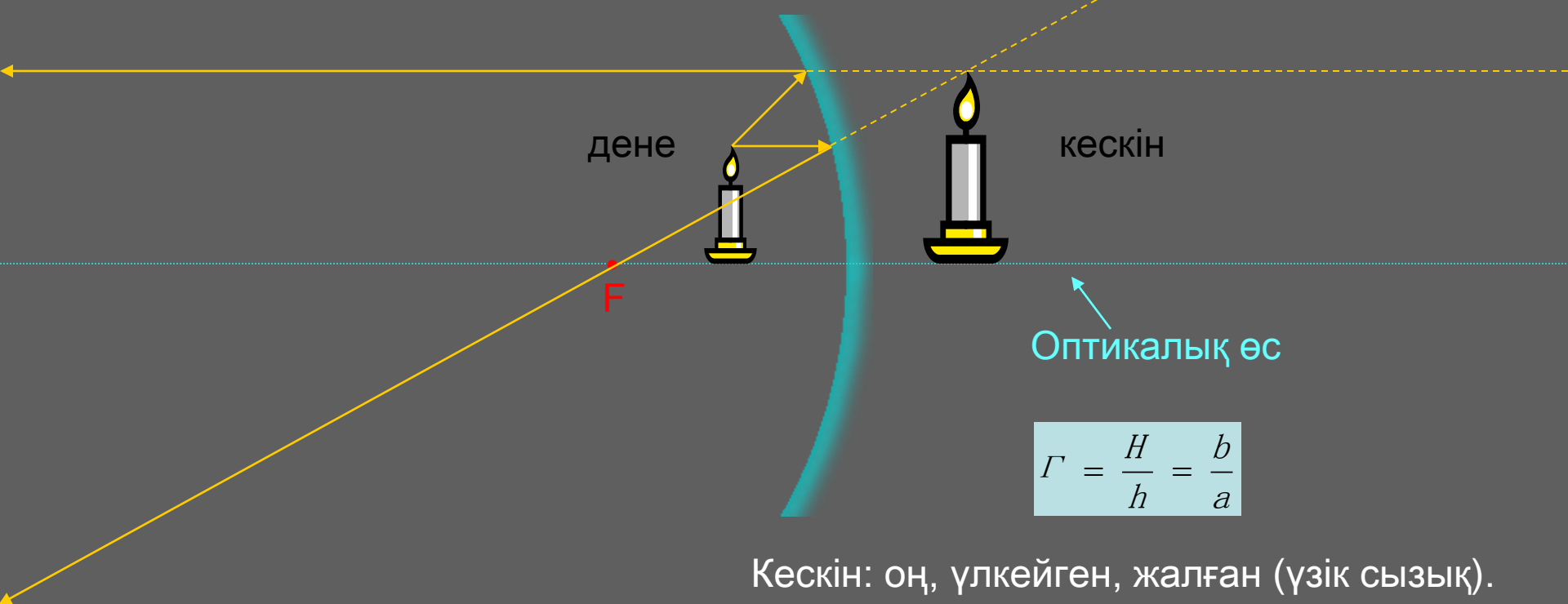


Кескін: нақты, кішірейген, теріс кескін

Бірінші сызық оптикалық өске параллель, шағылған сәуле фокусты басып өтеді.

Екінші сызық фокустан өтіп шағылған соң оптикалық өске параллель таралады.

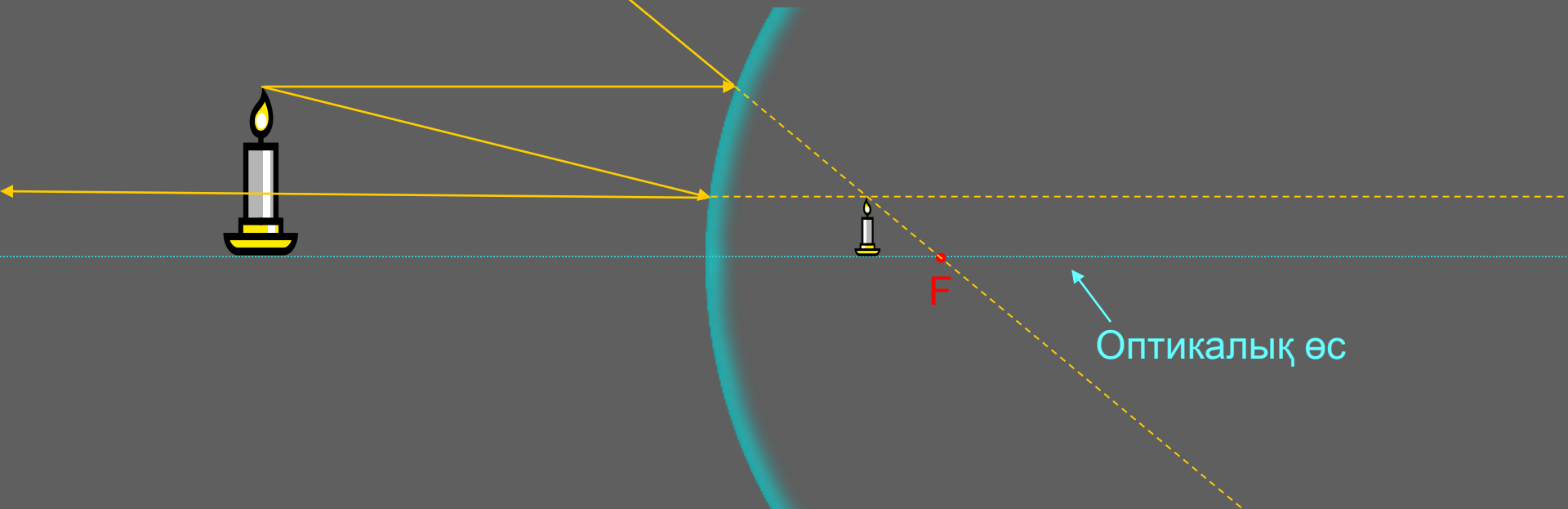
Сфералық айнадағы кескін (ойыс, $a < f$)



Бірінші сәуле оптикалық өске параллель түсіп, фокус арқылы шағылады.

Екінші сәуле фокус арқылы түсіп, өске параллель шағылады.

Сфералық айнадағы кескін (дөңес, $a > f$)



Бірінші сәуле оптикалық өске параллель түсіп, фокус арқылы шағылады

Екінші сәуле фокус бағыты бойынша түсіп, өске параллель шағылады.

Кескін: кішірейген, оң, жалған кескін.

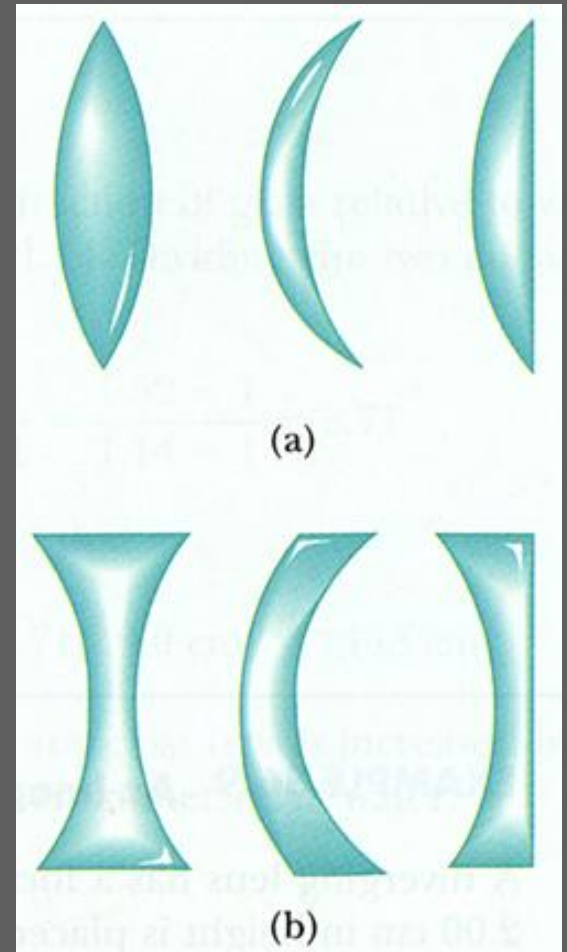
Дөңес және ойыс линзалар

- Линза : екі немесе бір жағы сфералық бетпен шектелген мөлдір дене.
- Линза пішінінен қарай: дөңес линза және ойыс линза деп екіге бөлінеді.
- Қасиетіне қарай: жинағыш линза және шашыратқыш линза болып бөлінеді.
- Жинағыш: ортасы екі шетінен қалың.
- Шашыратқыш: Ортасы шетінен жұқа.

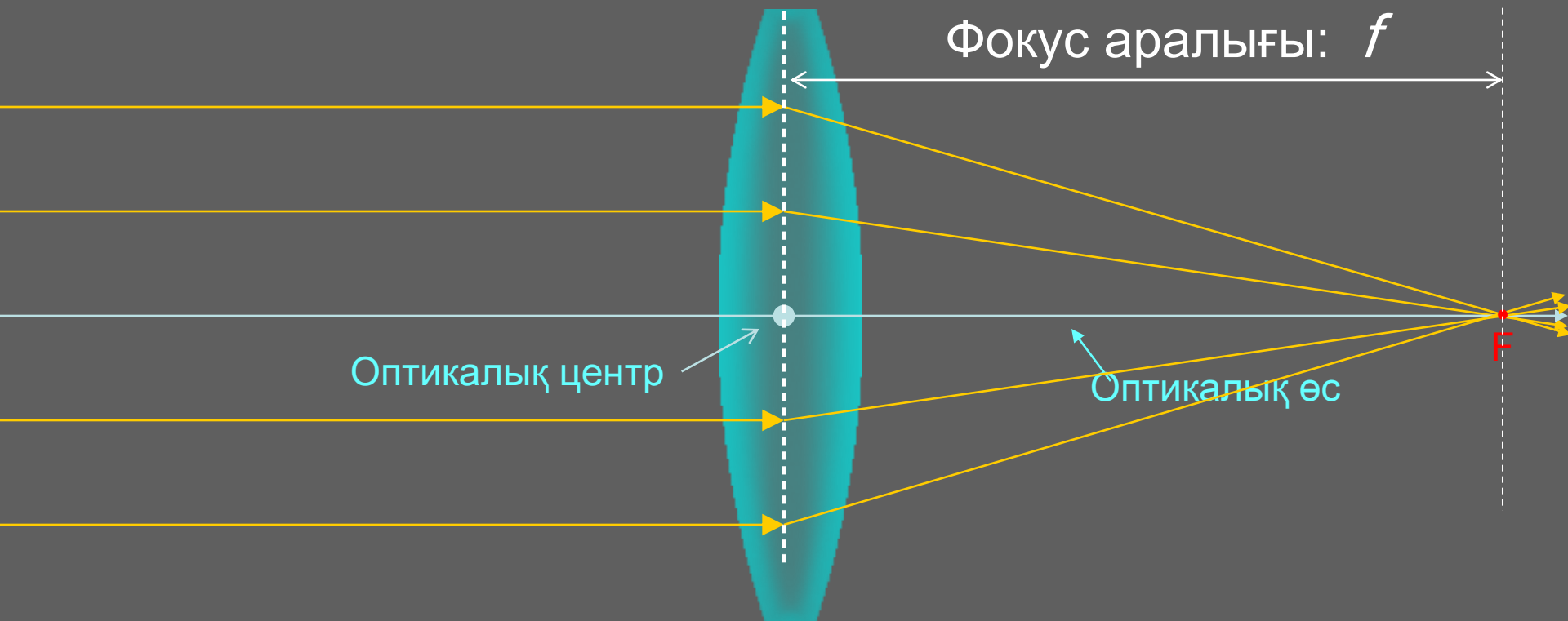
Линзаның пішіні

Жинағыш линзалар: қос дөңес, ойыс дөңес және жазық дөңес.

Шашыратқыш линзалар: қос ойыс, ойыс дөңес және жазық ойыс.



Жинағыш линза

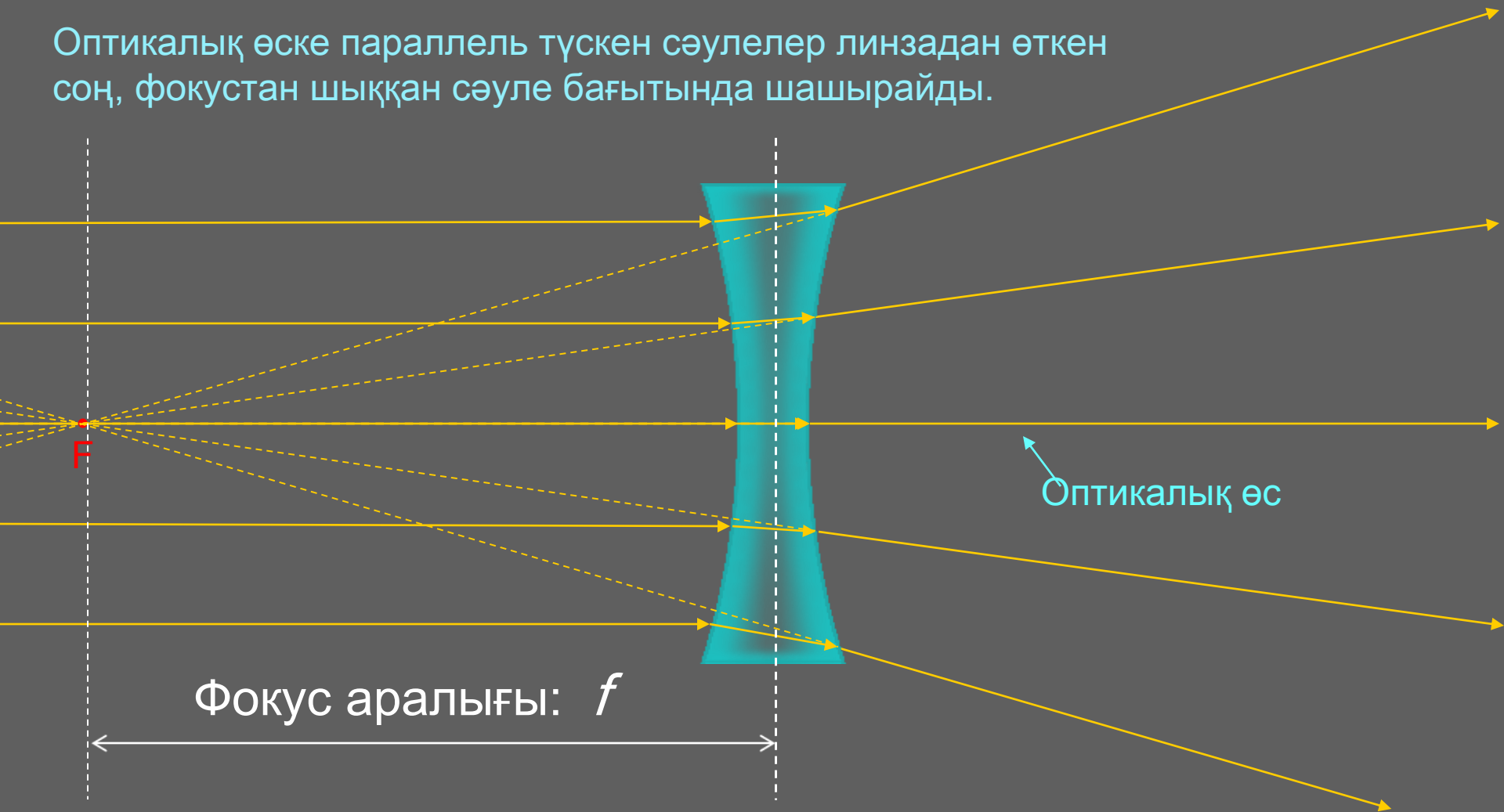


Оптикалық өске параллель түскен сәулелер фокус нүктесінде жиналады.

Линзаның оптикалық центрі арқылы өтетін өтетін сәуленің бағыты өзгермейді.

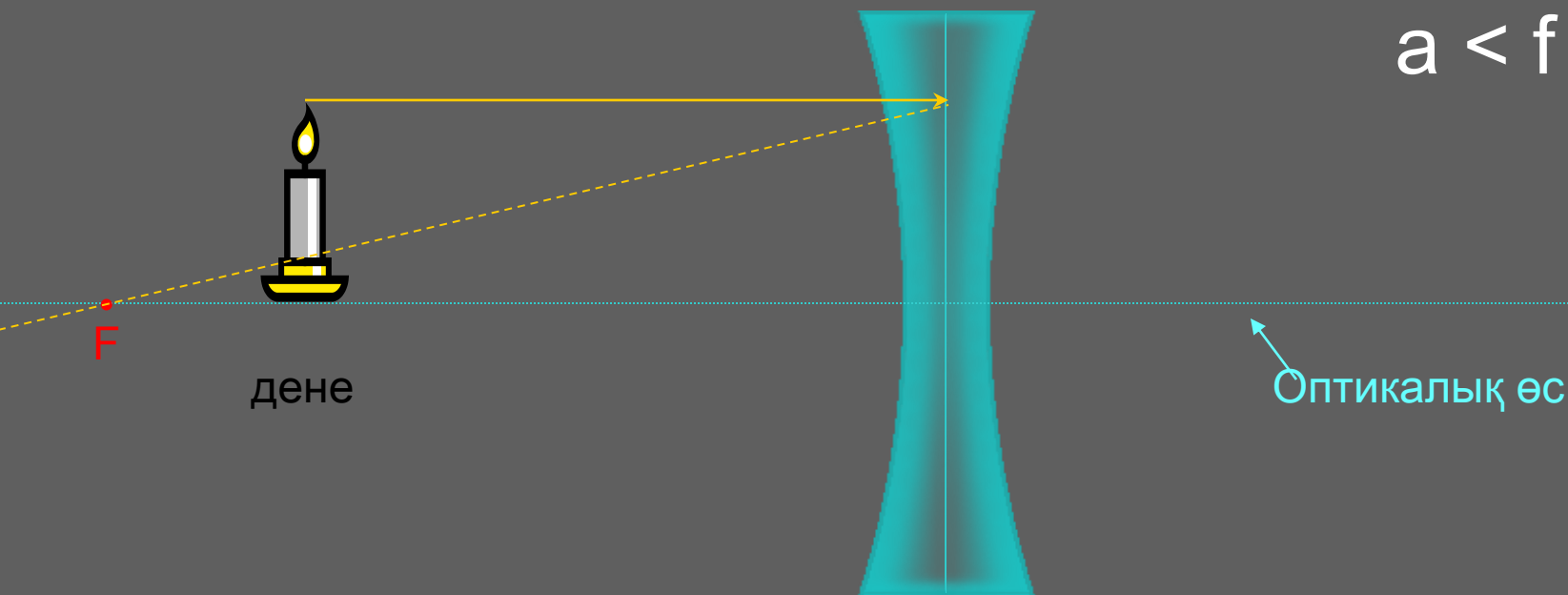
Шашыратқыш линза

Оптикалық өске параллель түскен сәулелер линзадан өткен соң, фокустан шыққан сәуле бағытында шашырайды.



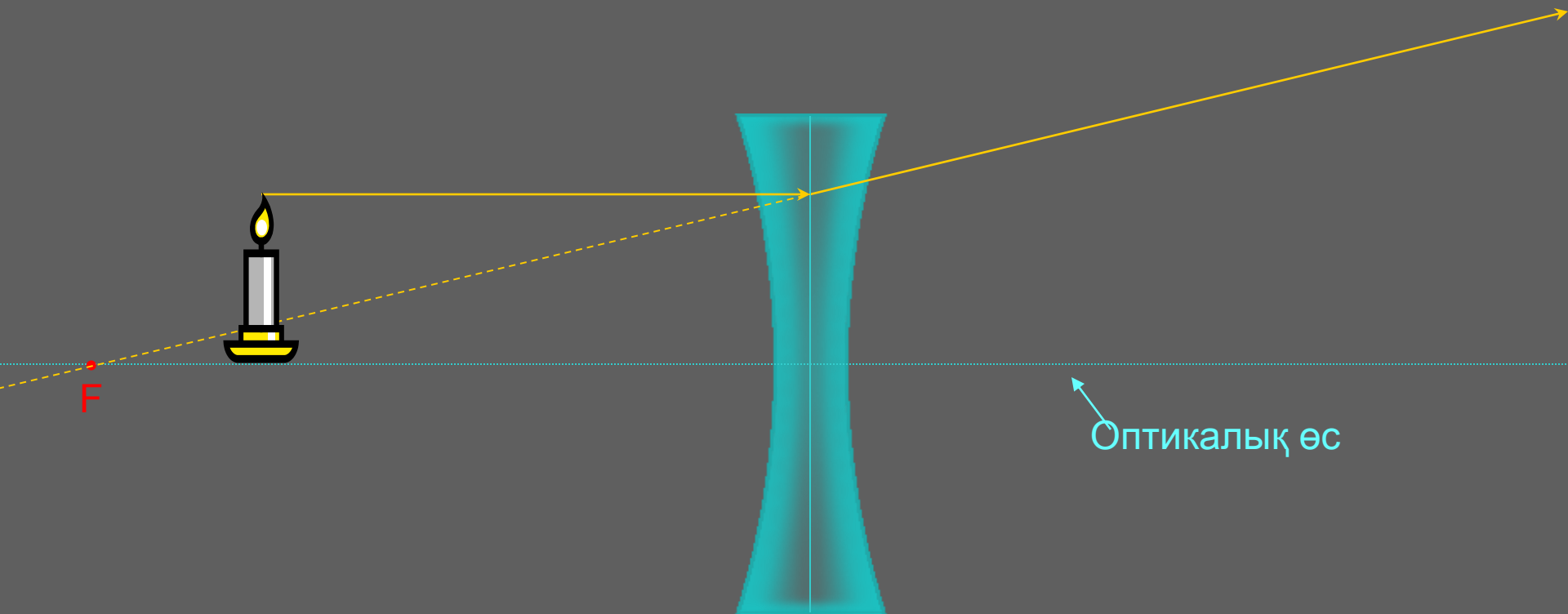
Шашыратқыш линзаның кескіні

Дененің басынан шығатын екі сәуле арқылы кескінді салуға болады.



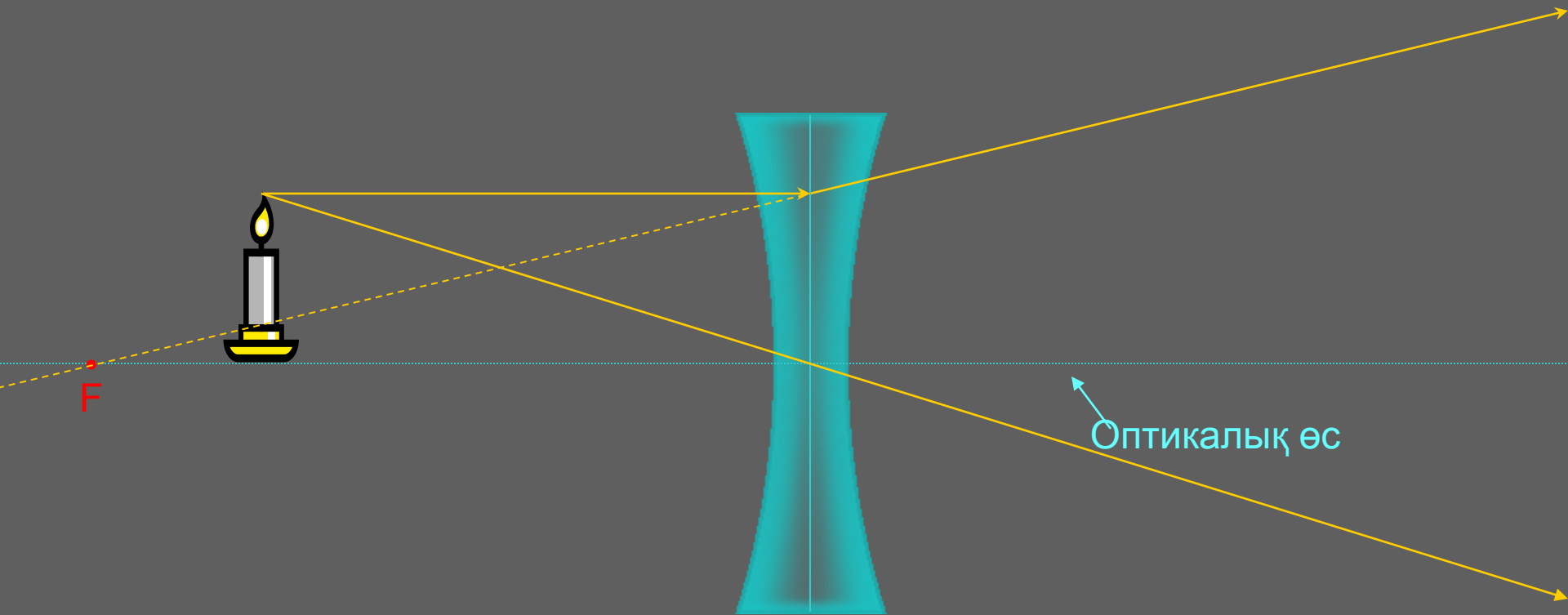
Бірінші сәуле дененің басынан оптикалық өске параллель линзаға түседі.

Шашыратқыш линзаның кескіні



Бірінші сәуле дененің басынан оптикалық өске параллель линзаға түседі,
Линзадан өткен сәуле фокус нүктесі бойынша шашырап шығады.

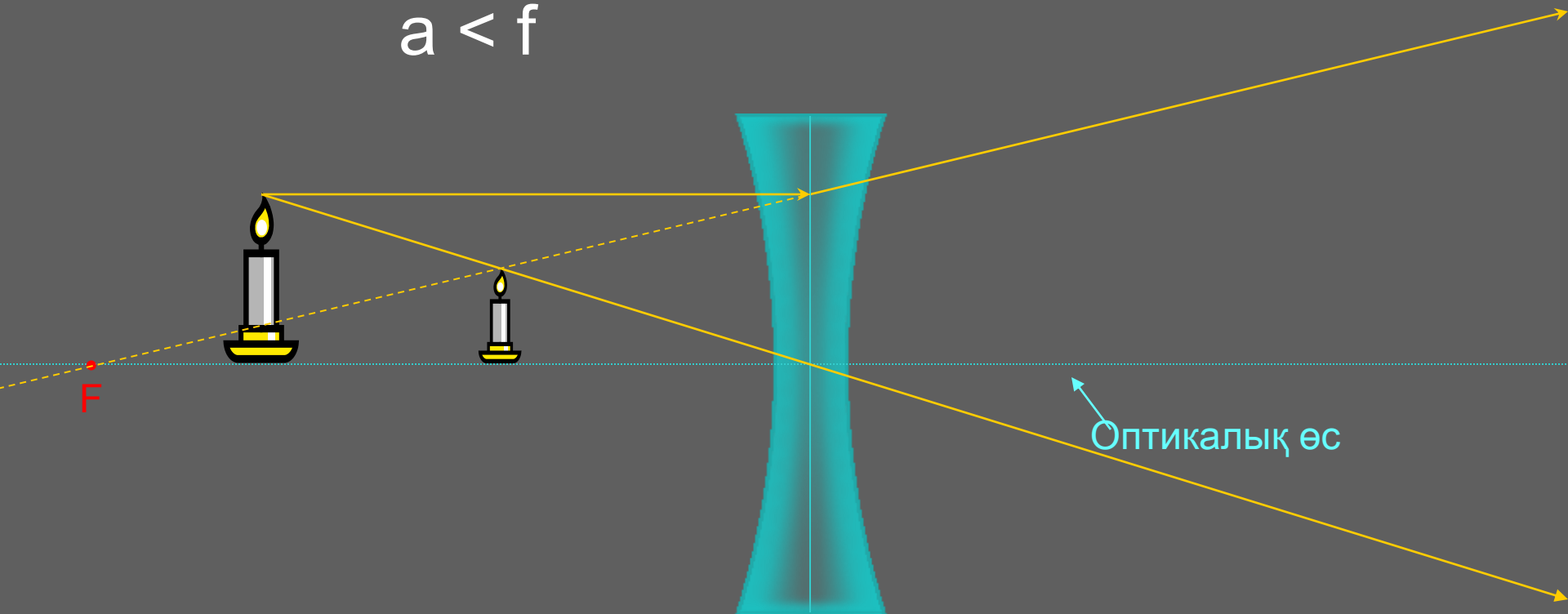
Шашыратқыш линзаның кескіні



Екінші сәуле дененің басынан шығып, оптикалық центр арқылы линзадан өтеді. Оптикалық центр арқылы өткен сәуленің бағыты өзгермейді.

Шашыратқыш линзаның кескіні

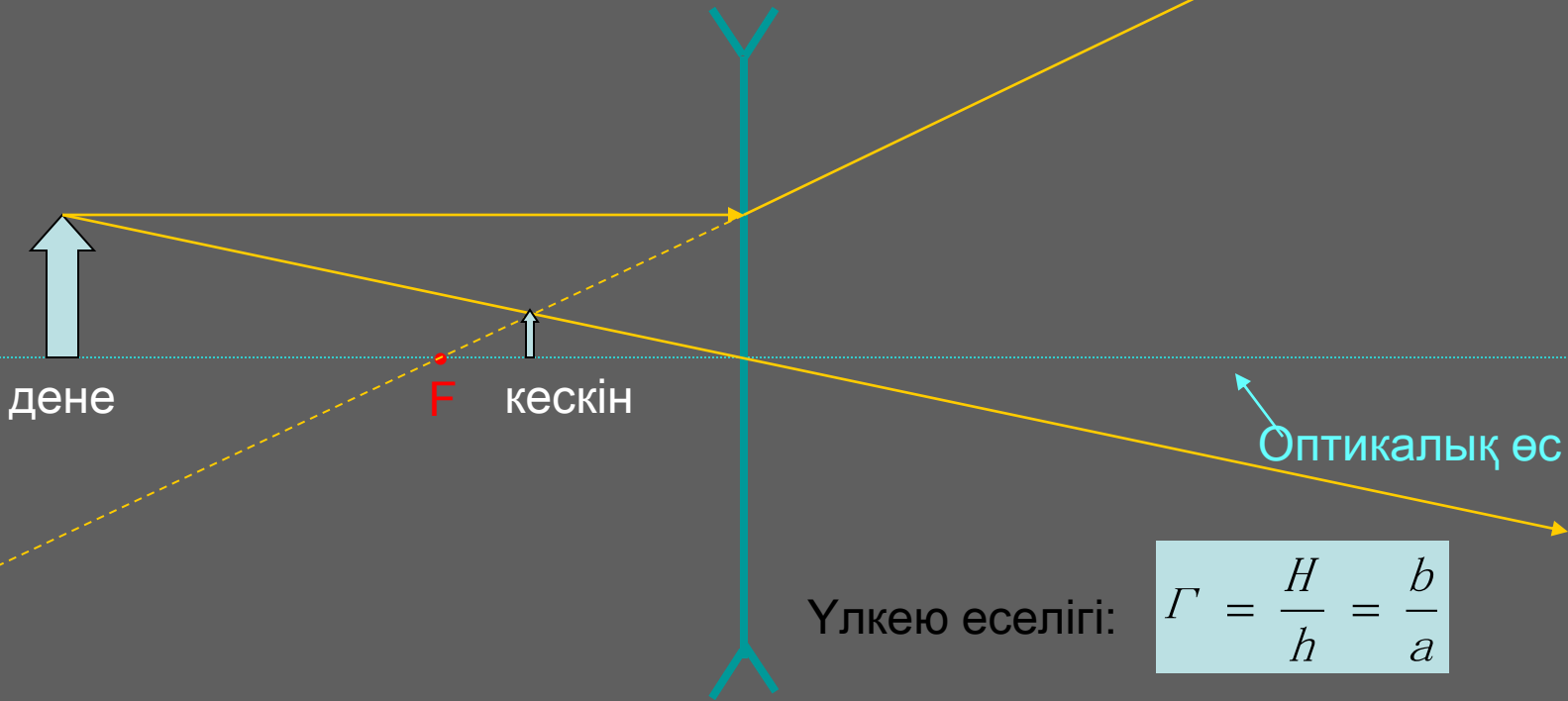
$$a < f$$



Линзаның оң жағындағы екі шын сәуле қилыспайды. Линзаның сол жағындағы жалған (үзік) сәуле мен шын сәуле қилысады. Дәл сол қилысқан нүктеде кескіннің басы болады. Дененің аяғы мен кескіннің аяғы оптикалық өсте жатады.

Шашыратқыш линзаның кескіні

$$a > f$$



Үлкею еселігі:

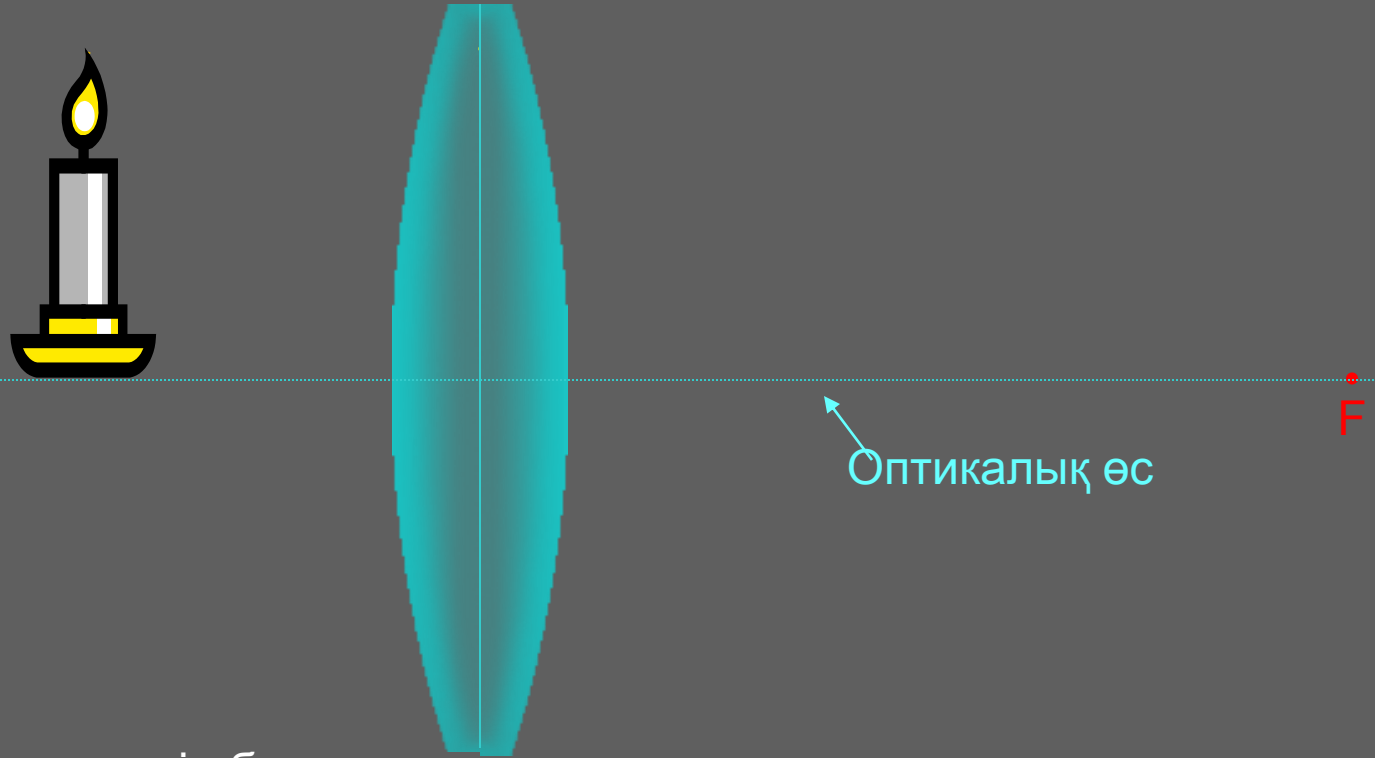
$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{b}{a}$$

Шашыратқыш
линза

Кескін: жалған, оң, кішірейген(үлкею еселігі бірден кіші).

Жинағыш линзаның кескіні

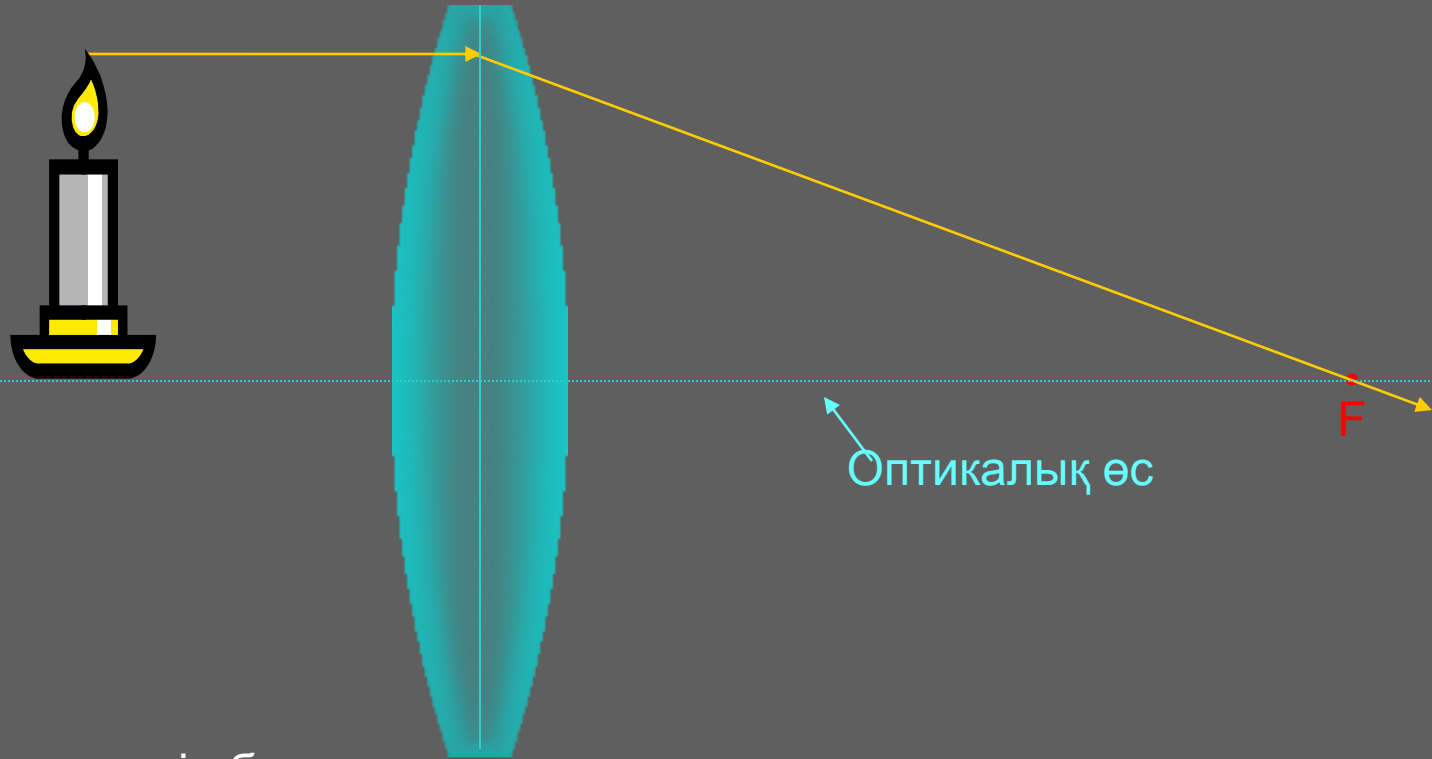
$$a < f$$



Бірінші сәуле дененің басынан оптикалық өске параллель шығып,
линзадан өткен соң фокус нүктесінде жиналады.

Жинағыш линзаның кескіні

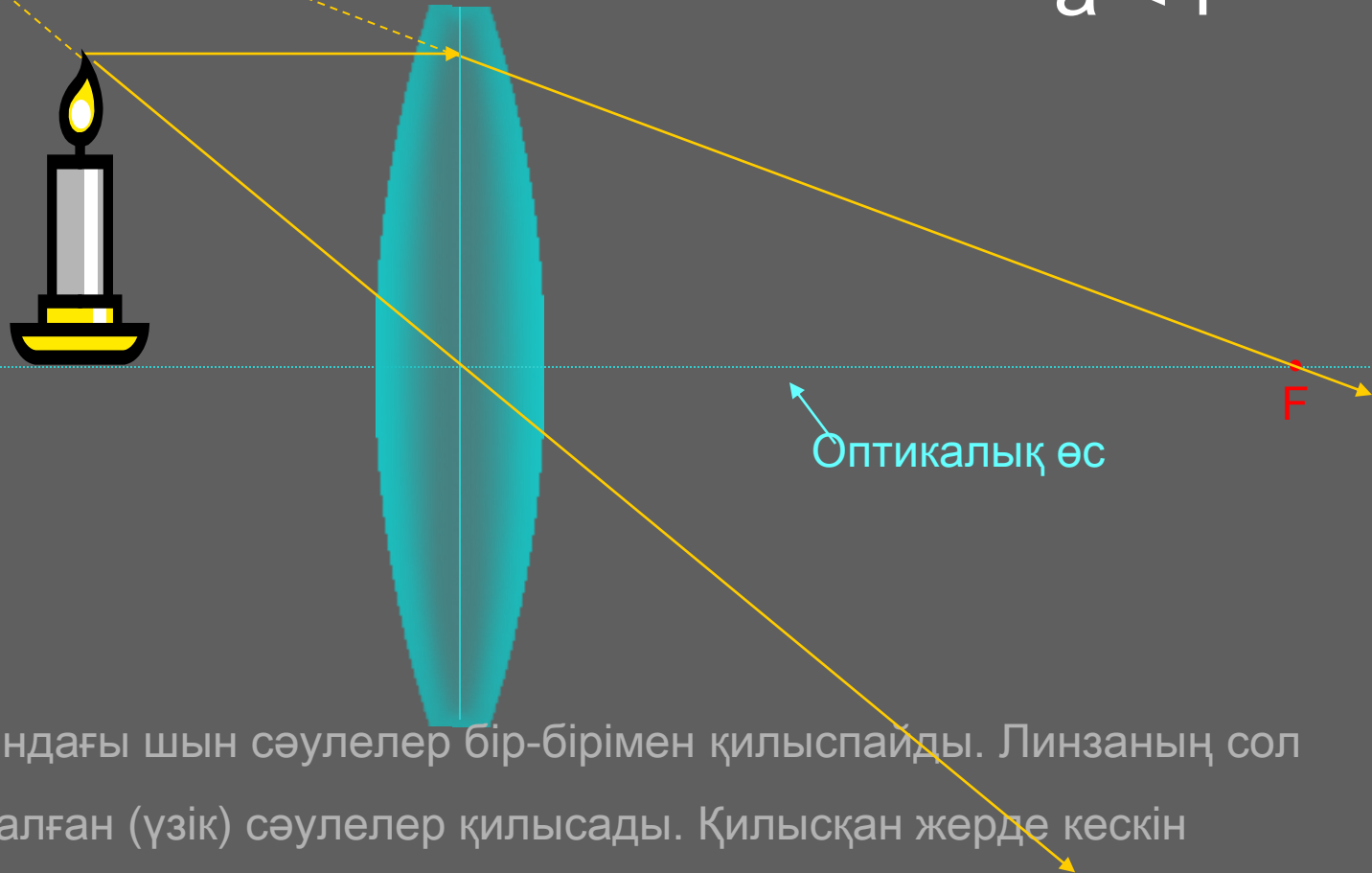
$$a < f$$



Бірінші сәуле дененің басынан оптикалық өске параллель шығып, линзадан өткен соң фокус нүктесінде жиналады. Екінші сәуле оптикалық центр арқылы өтеді, өткен сәуленің бағыты өзгермейді.

Жинағыш линза кескіні

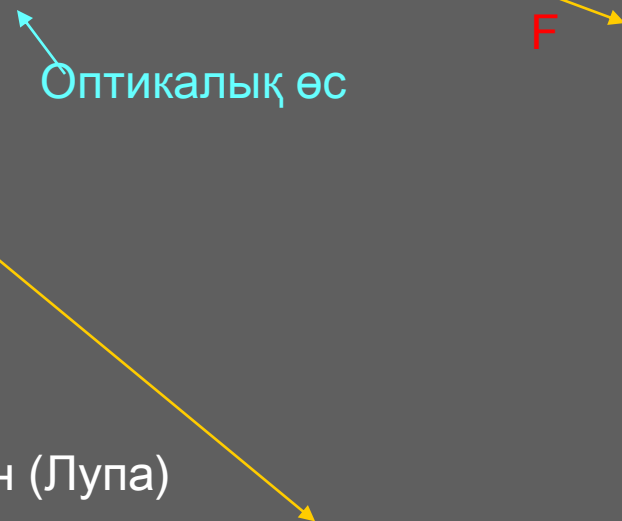
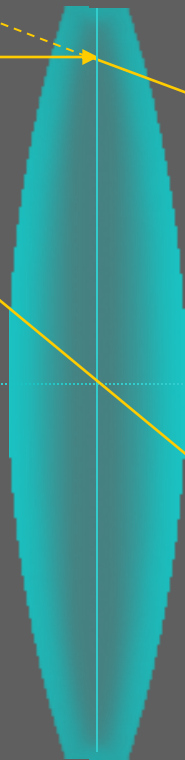
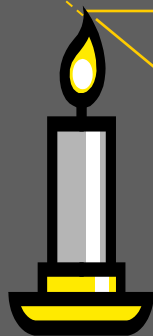
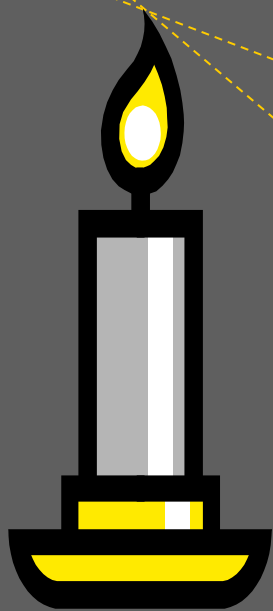
$$a < f$$



Линзаның оң жағындағы шын сәулелер бір-бірімен қилыспайды. Линзаның сол жағындағы жалған (үзік) сәулелер қилысады. Қилысқан жерде кескін пайда болады (жалған кескін).

Жинағыш линза кескіні

$$a < f$$

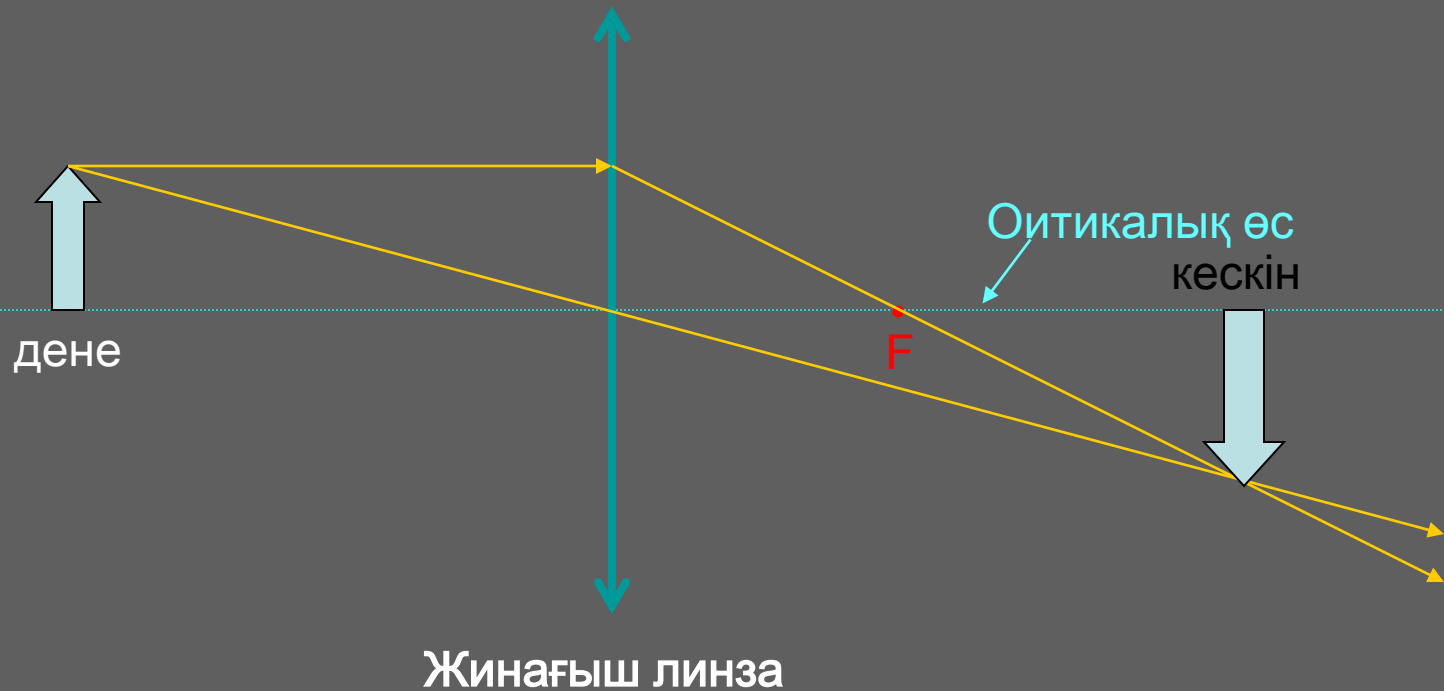


$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{b}{a}$$

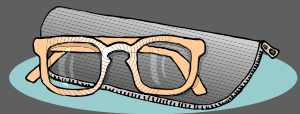
Кескін: Үлкейтілген, жалған, оң кескін (Лупа)

Жинағыш линза кескіні

$$a > f$$



- Кескін: шын кескін, үлкейтілген кескін, теріс кескін.



Линзаның теңдеуі

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$$

f = фокус аралығы

a = дене аралығы

b = кескін аралығы

Жұқа линза теңдеуі

Жұқа линза: қалыңдығы d линзаның R қисықтық радиусынан көп кіші линза.

$$d \ll R$$

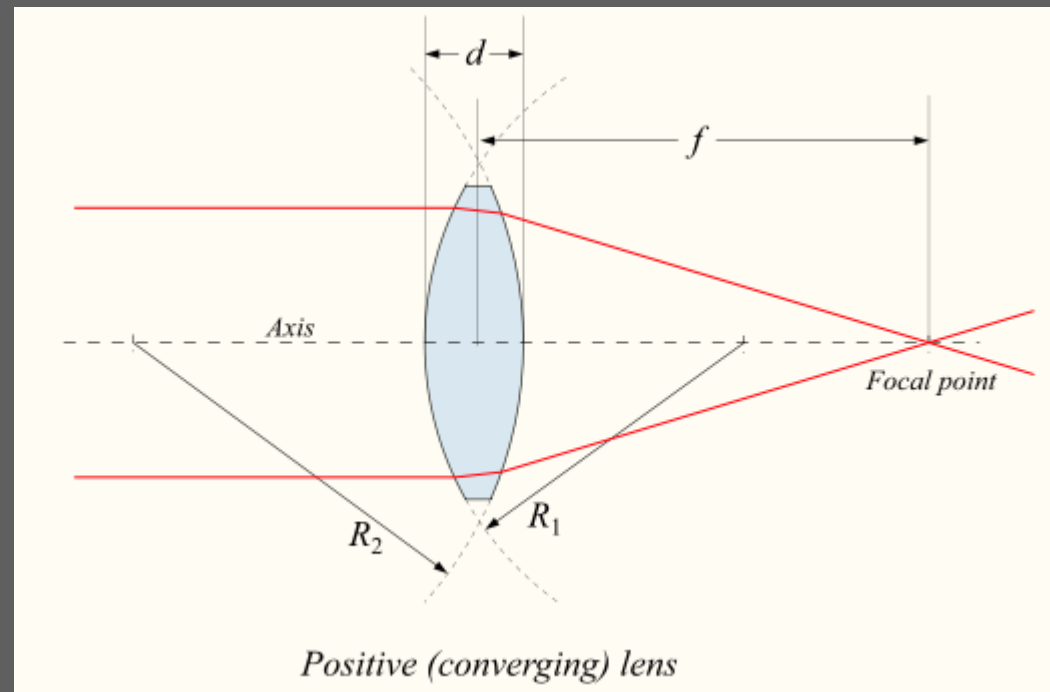
$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

d : линза қалыңдығы

f : фокус аралығы

n : сыну көрсеткіші

R_1, R_2 : линза бетінің қисықтық радиусы.

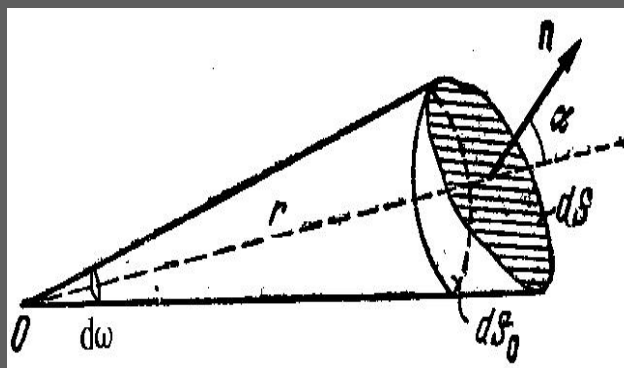
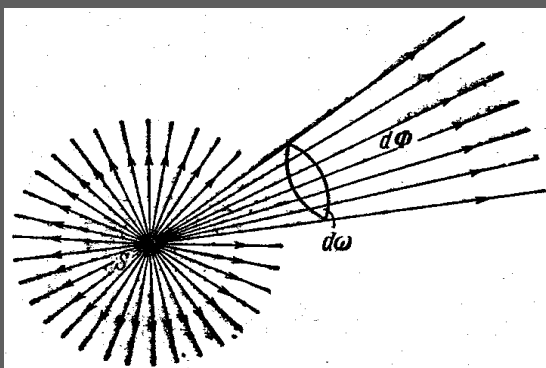


Фотометрлік шамалар және олардың өлшем бірліктері

Жарықтың интенсивтігімен және жарық көзімен немесе жарық ағындарымен және олармен байланысты шамалармен айналысатын оптика бөлімін **фотометрия** деп атайды.

Жарық көзі – өздігінен жарық шығаратын дене.

Нүктелік жарық көзі – бақылау нүктесіне дейінгі қашықтықпен салыстырғандағы мөлшері ескермеуге болатын жарық көзі.



Жарық күші — $d\omega$ денелік бұрышқа келетін Φ жарық ағыны.

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad \text{Жарық күшінің өлшемі бірлігі — кандела (кд)}$$

Денелік бұрыш өлшемі болып, сфера бетінде конус тәрізді кесілген dS_0 аудан бөлігінің r радиус квадратына қатынасын айтады.

$$d\omega = \frac{dS_0}{r^2} \quad \text{Денелік бұрыштың өлшем бірлігі — стередиан (ср)}.$$

Жарық ағыны — бірлік уақытта тасымалданатын жарық энергиясына тең шама.

$$\Phi = \frac{W}{t} \quad \text{Жарық ағынының өлшем бірлігі — люмен.}$$

Жарықталыну – дененің сыртқы бетінің бірлік ауданына түсетін жарық ағынына тең шама.

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad \text{Жарықталыну өлшем бірлігі – люкс (лк).}$$

Нүктелік жарық көзі жасайтын жарықталынуды жарық күші I , қашықтық r және бұрышы α арқылы өрнектеуге болады.

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2}$$

Жарқырау – жарық көзінің сыртқы бетінің бірлік ауданынан шашырап шығатын жарық ағынына тең шама.

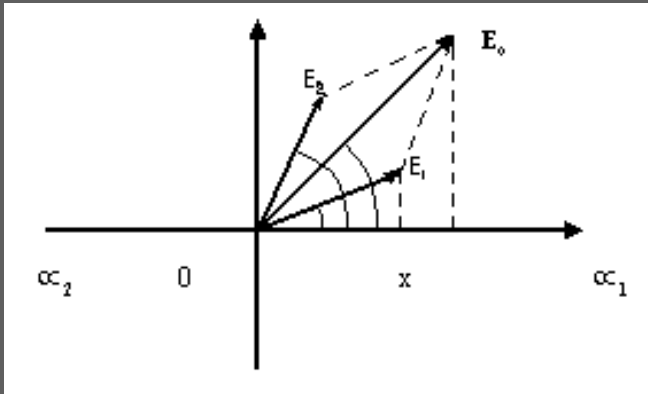
$$R = \frac{d\Phi}{dS} \quad \text{Жарқырау өлшем бірлігі – люкс (лк).}$$

Жарық толқындарының интерференциясы

(Толқындық оптика)

Екі немесе ондан көп когерентті жарық толқындарының өзара тоғысу кезінде пайда болатын жарықтың күшею (max) және әлсіреу (min) құбылысын интерференция деп атайды.

Когерентті жарық толқындары дегеніміз жиіліктері бірдей фазалар айырымы тұрақты жарық толқындары.



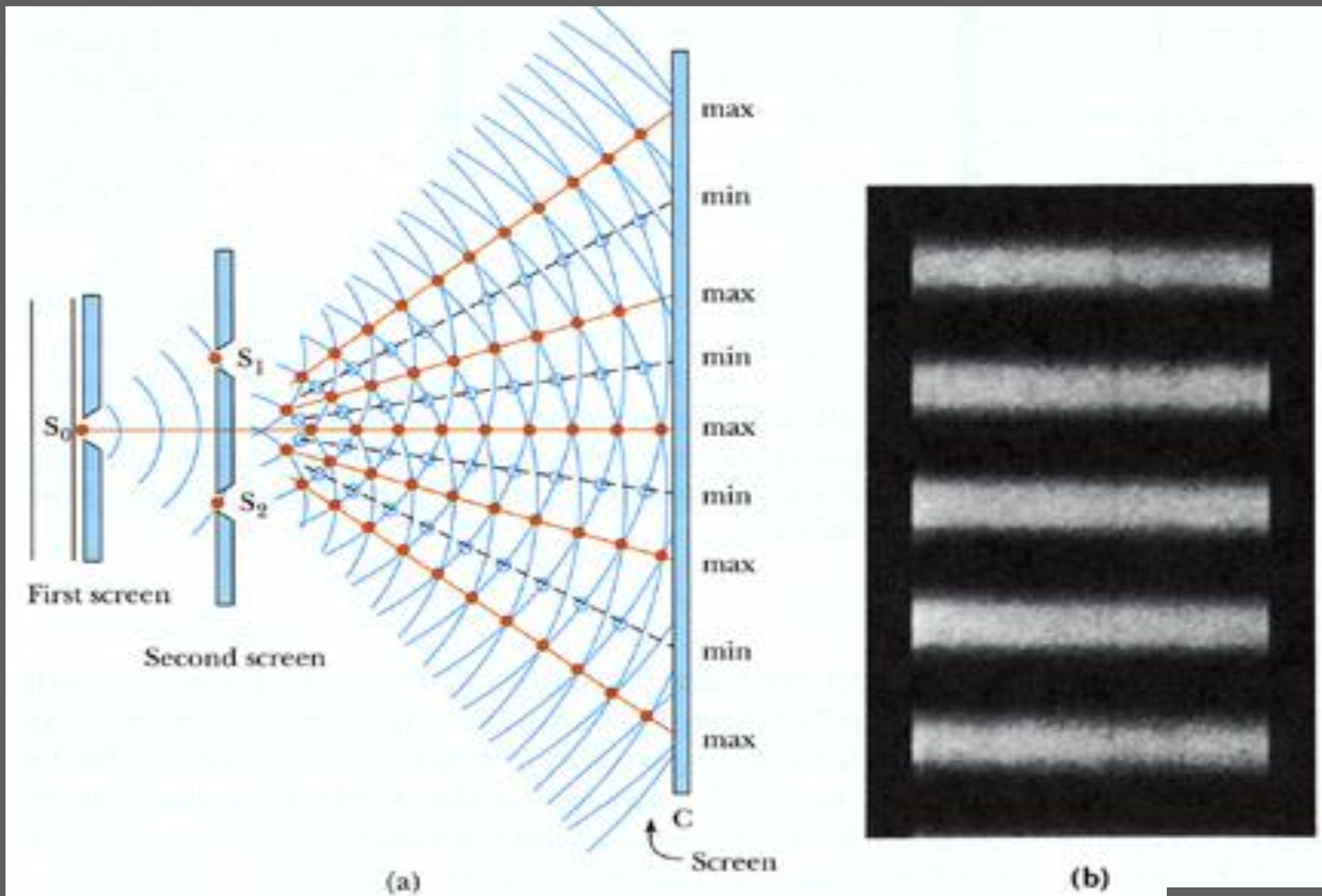
Қортқы кернеулігі : $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

Интенсивтігі : $I = E^2$

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

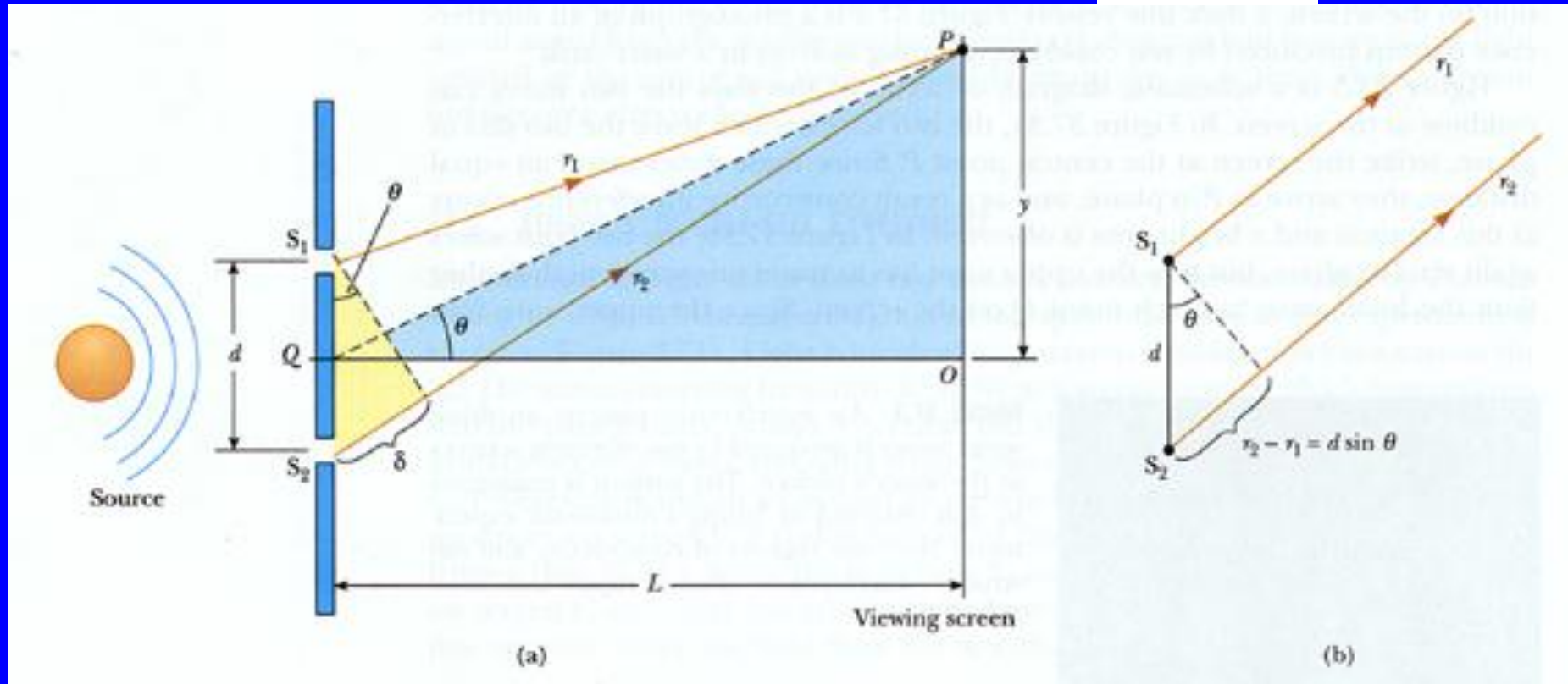
Қортқы интенсивтік $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cdot \langle \cos \sigma \rangle$

Интерференция құбылысының пайда болуы



Юнг интерференциясы

Интерференция шарты : $L \gg y$



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

$$\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{y}{L}$$

$$\delta = d \frac{y}{L}$$

Геометриялық жол айырымы

S_1 және S_2 жарық көздері мен экран орналасқан ортаның сыну көрсеткіші n болса, онда жарық толқындарының оптикалық жол айырымы мынадай болады:

$$\Delta = \delta \cdot n$$

Оптикалық жол айырымы = геометриялық жол айырымы $\cdot n$

$$\Delta = (r_2 - r_1)n = \frac{nd}{L} y$$

P нүктесіндегі жарықталудың максимумдық шарты: $\Delta = m\lambda = 2m \frac{\lambda}{2}$

мұндағы $m = 1, 2, 3, \dots$ (жарты толқынның жұп сан еселігі)

P нүктесіндегі жарықталудың минимумдық шарты: $\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$

мұндағы $m = 0, 1, 2, 3, \dots$ (жарты толқынның тақ сан еселігі)

Максимум және минимум координаталарының анықталуы

$$y_{\max} = \frac{mL}{d} \cdot \frac{\lambda}{n} = m \frac{L\lambda}{d} = 2m \frac{L\lambda}{2d}$$

$$y_{\min} = (2m + 1) \frac{L}{2d} \cdot \frac{\lambda}{n} = (2m + 1) \frac{L\lambda}{2d}$$

Көршілес екі максимум немесе минимумдардың ара қашықтығы

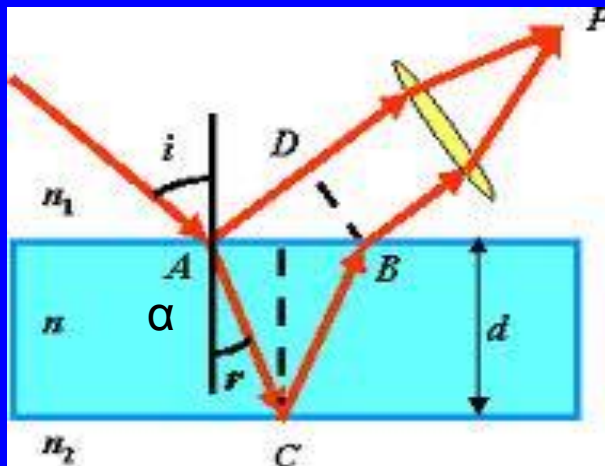
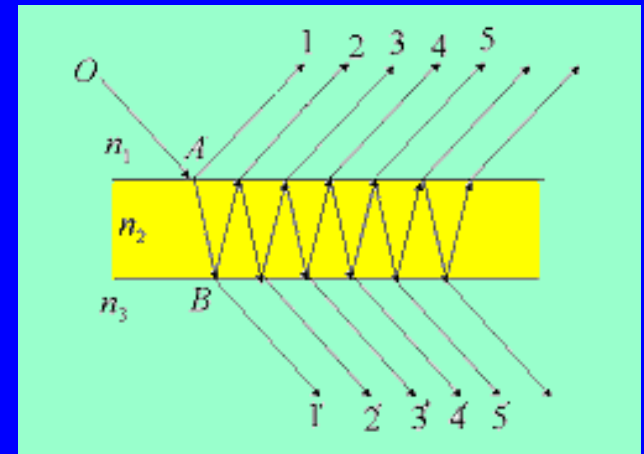
$$\Delta y = \frac{L}{d} \cdot \lambda$$

Интерференциялық жолақтардың ені осы формуламен анықталады.

Жұқа жазық пластинкадағы интерференциясы

Қалыңдығы d пластина бетіне α бұрышпен түскен сәуле пластина беттерінде бірнеше рет шағылып және сынады, сөйтіп жарық ағынының біраз бөлігі пластина арқылы өтеді.

Біз пластинадан бір рет шағылған сәулені қарастырайық, ол түскен жарық ағыны A нүктесінде шағылған және сынған екі сәулеге жіктеледі.



сынған сәуле C нүктесінде шағылып, B нүктесінде сынып пластинкадан ауаға қайта шығады, ол шағылған сәулеге параллель болады. Пластина бетінен шыққан екі сәуленің оптикалық жол айырымы мынаған тең болады.

$$\Delta = (AC + CB)n - AD - \frac{\lambda}{2}$$

Сәуле оптикалық тығыз ортадан шағылғанда жарты толқын жоғалтады.

ACB және ABD үшбұрыштарын қарастыра отырып, α түсу бұрышы мен пластинканың d қалыңдығына оптикалық жол айырымының тәуелділігін төмендегідей қорытып шығаруға болады.

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \frac{\lambda}{2}$$

P нүктесінде байқалатын максимум

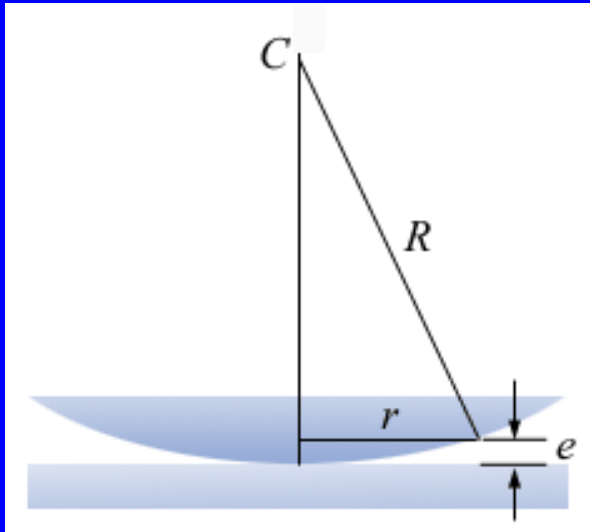
$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \frac{\lambda}{2} = m\lambda_0 = 2m\frac{\lambda}{2}$$

және минимум $2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \frac{\lambda}{2} = (m + \frac{1}{2})\lambda = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}$

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

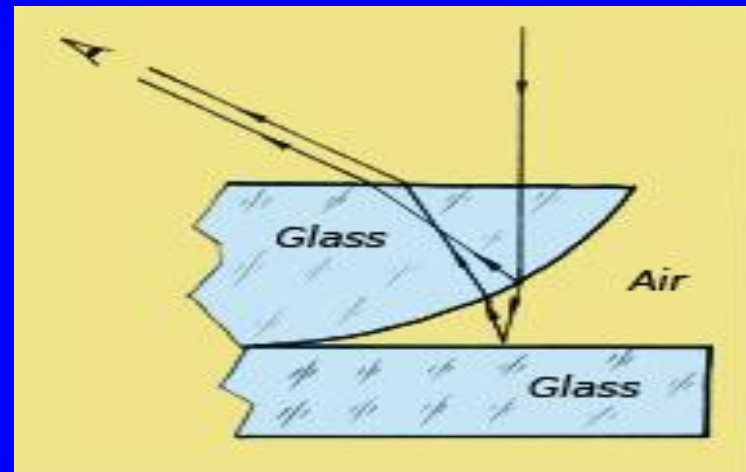
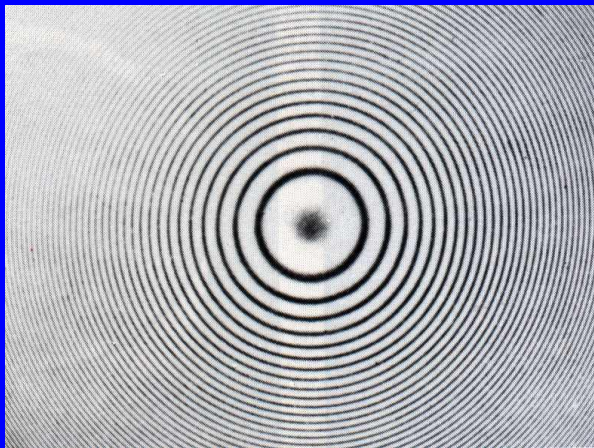
Жұқа пластинкадағы интерференция пластинканың үстіңгі және астыңғы беттерінен шағылып шыққан сәулелердің тоғысуынан пайда болады.

Ньютон сақинасы (интерференциясы)



Дөңес линза және жазық пластина арқылы микроскоптың көмегімен Ньютон сақинасын байқауға болады.

Ньютон сақинасы линзаның төменгі қабатынан және пластинаның жоғарғы қабатынан шағылған когерентті сәулелердің тоғысуынан пайда болады.



Ньютон сақинасының радиусы r мен линза радиусы R арасындағы байланыс

Ақ сақиналардың радиусы (max) :
$$r = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right) R \lambda} = \sqrt{(2m - 1) R \frac{\lambda}{2}}$$

мұндағы $m = 1, 2, 3, \dots$ натурал сандар (сақинанаң рет нөмірі).

Қара сақиналардың радиусы (min) :
$$r = \sqrt{m R \lambda} = \sqrt{2m R \frac{\lambda}{2}}$$

Интерференциялық бейненің центрінде интенсивтік минимумы болуы керек, өйткені ол қара дақ түрінде байқалады.

ЖАРЫҚТЫҢ ДИФРАКЦИЯСЫ

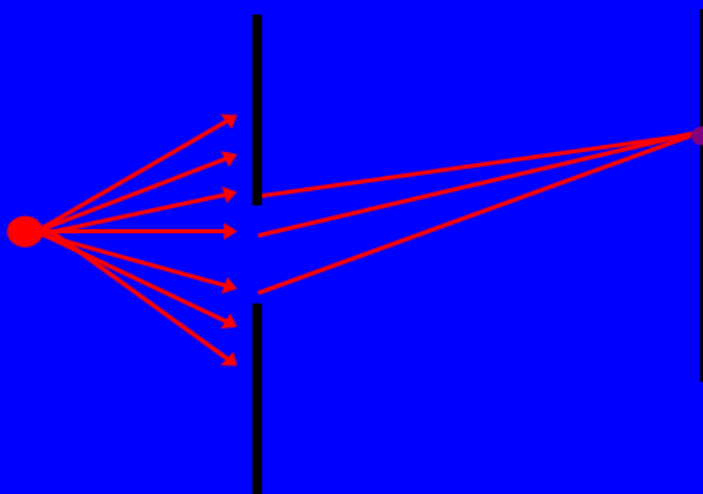
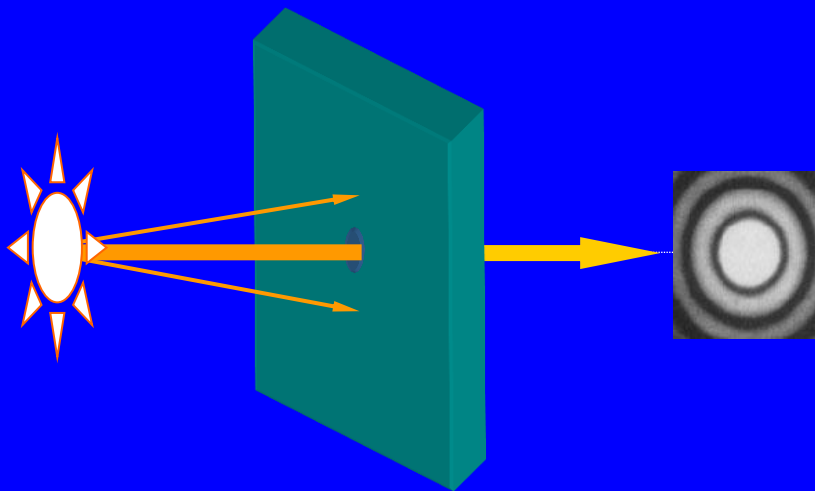
- Дифракция — жарық толқындарының таралу бағытынан ауытқу құбылысы.
- Дифракция — жарық толқындары бөгеттерді айналып өтуі.
- Дифракция — жарық толқындарының геометриялық көлеңке аймағына өтуі.

Френель дифракциясы — нүктелік жарық көзінен шыққан жарық толқындарының дөңгелек тесіктен өтуінен пайда болады.

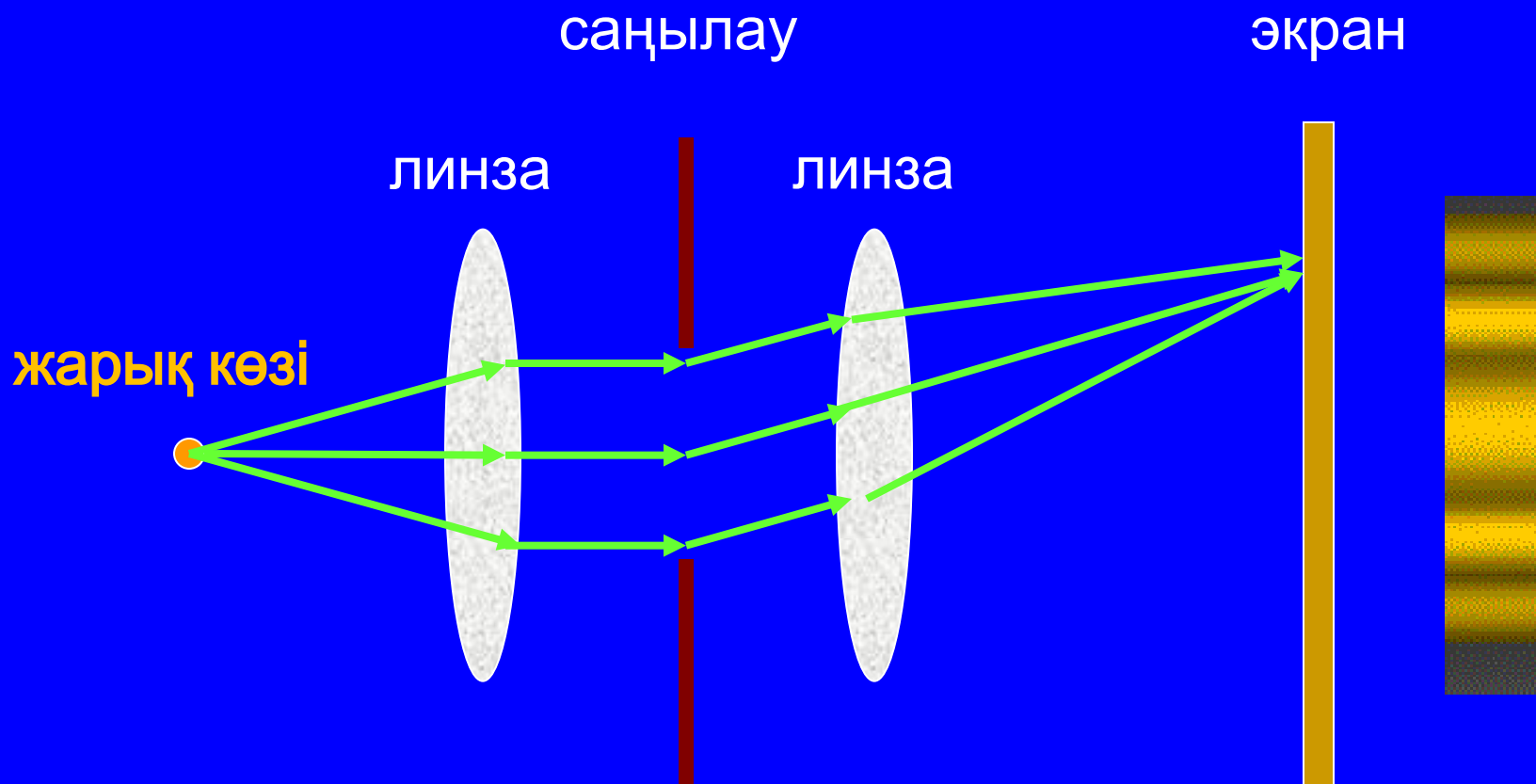
Френель дифракциясы — сфералық жарық толқындарының саңылаудан өтуінен пайда болады.

Френель дифракциясының шарты: жарық көзі мен тар саңылау арасындағы қашықтық шекті болуы керек.

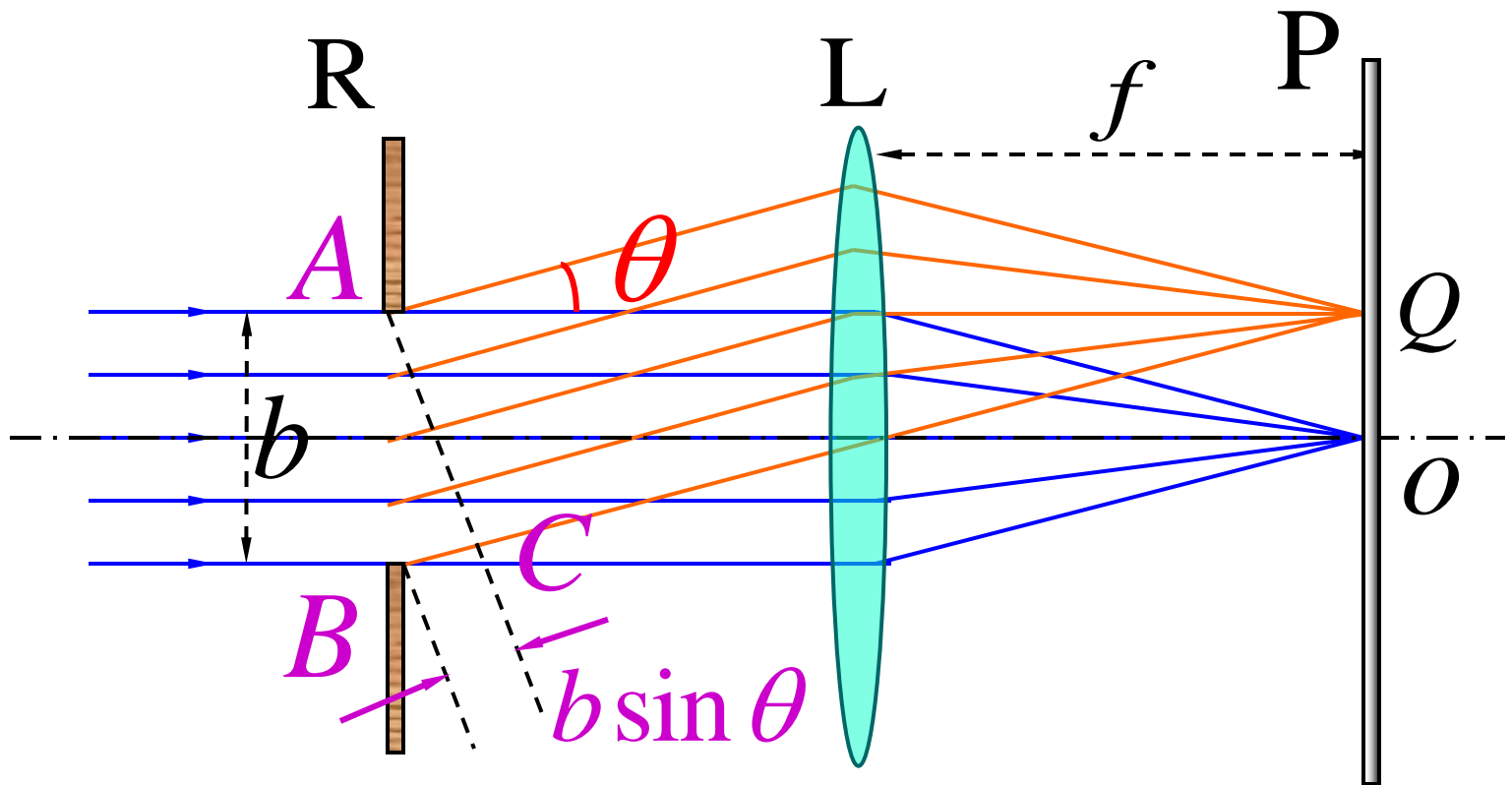
ФРЕНЕЛЬ ДИФРАКЦИЯСЫ



Фраунгофер дифракциясы — шексіз алыстаға нүктелік жарық көзінен немесе параллель жарық толқындарының тар саңылаудың өтуінен пайда болады.



Бір саңылаудан алынатын Фраунгофер дифракциясы



$b \sin \theta$: шеткі сәулелер арасындағы жол айырымы.

Бір саңылаудан алынатын Фраунгофер дифракциясының минимумдар мен максимумдар шарты

Орталық бас максимумдар шарты : $b \sin \theta = 0$

Минимумдар шарты : $b \sin \theta = \pm 2k \frac{\lambda}{2} = \pm k \lambda$

Максимумдар шарты : $b \sin \theta = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$

мұндағы

$(k = 0, 1, 2, 3, \dots)$

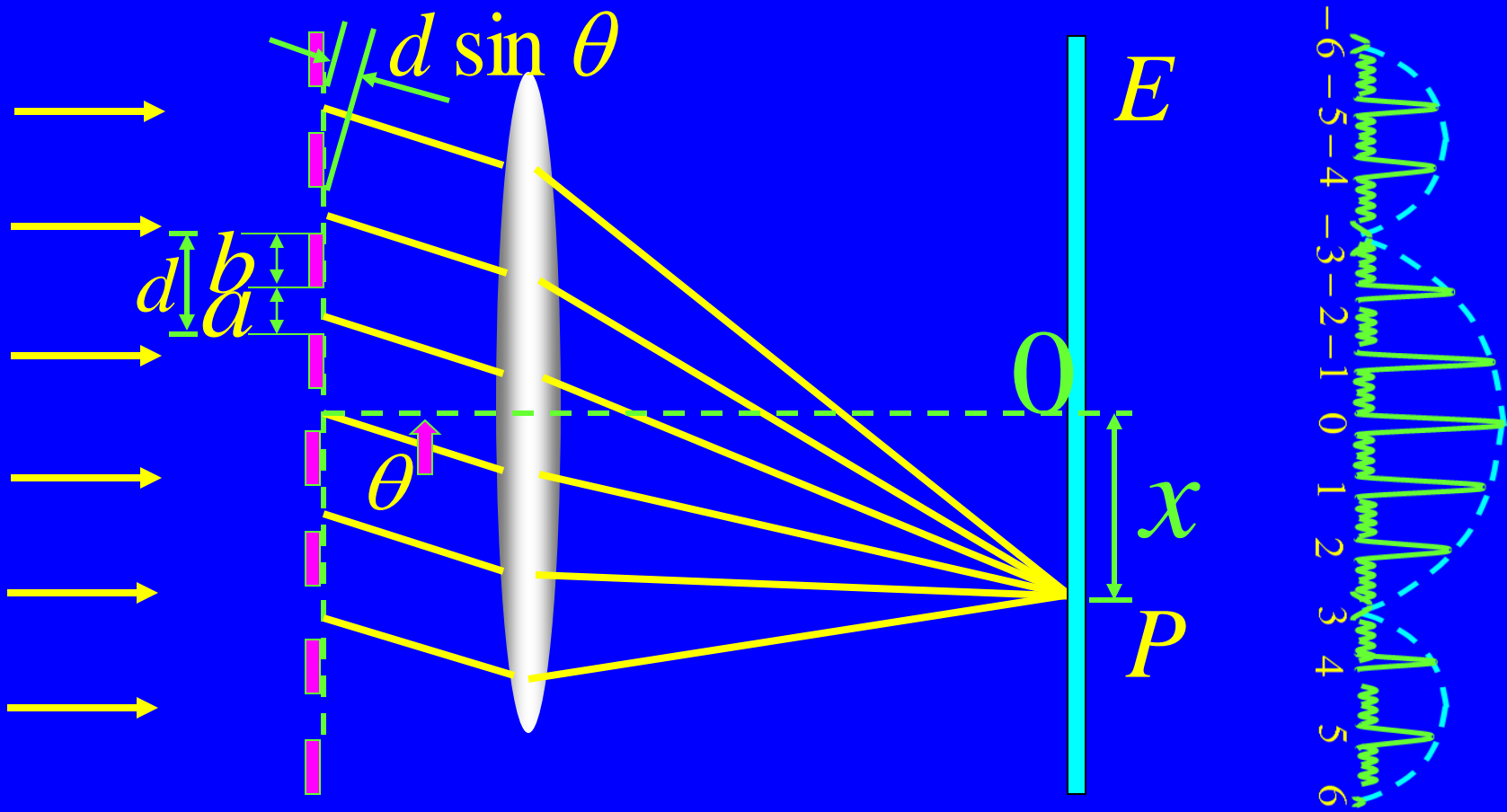
ДИФРАКЦИЯЛЫҚ ТОР

Дифракциялық тор деп ендері бірдей, біріне-біріне параллель, бір жазықтықта орналасқан өте көп N саңылаудан тұратын жүйені айтады.

Саңылау енін a , қара жолақ енін b деп белгілейік. $d = a + b$ мәні *дифракциялық тордың тұрақтысы (периоды)* деп аталады.

Дифракциялық тордың интенсивтігінің бас максимум шарты төмендегі өрнекпен анықталады

$$d \sin \theta = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$$



$d = a + b$ Тор тұрақтысы (периоды)

$d \sin \theta$ Көршілес екі сәуле арасындағы оптикалық жол айырмасы.

Заттағы электрмагниттік толқындар

Жарық дисперсиясы

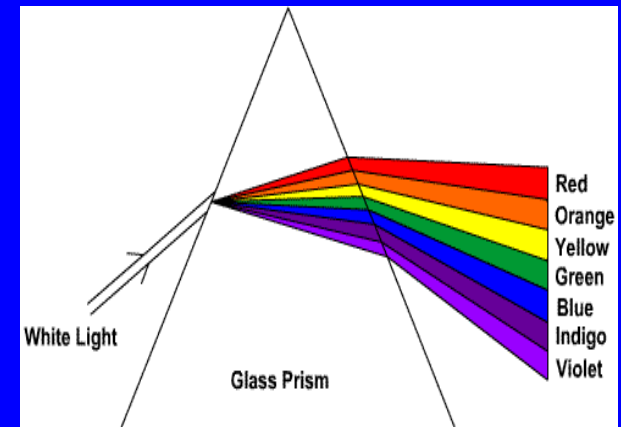
Жарықтың дисперсиясы деп заттың сыну көрсеткішінің толқын ұзындығына тәуелділігін айтады $n = f(\lambda)$.

Заттың дисперсиясы : $D = \frac{dn}{d\lambda}$ толқын ұзындығы бойынша сыну көрсеткішінің өзгеру жылдамдығы

Дифракциялық тор түскен сәулені толқын ұзындықтары бойынша ажыратады. Призма түскен жарық шоғын сыну коэффициенттері бойынша жіктейді.

Қызыл сәулелер дифракциялық торда күштірек ауытқиды.

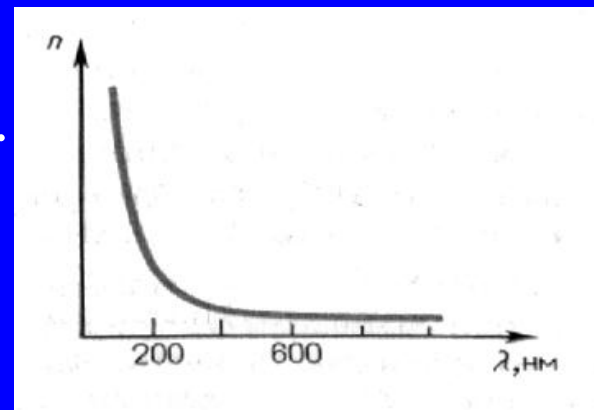
Күлгін сәулелер призмада ең күшті ауытқиды.



Нормаль дисперсия : сыну көрсеткіші
толқын ұзындығы азайған сайын артады.

Нормаль дисперсия шарты: $n \propto \frac{1}{\lambda}$

$$\lambda \uparrow \quad n \downarrow$$

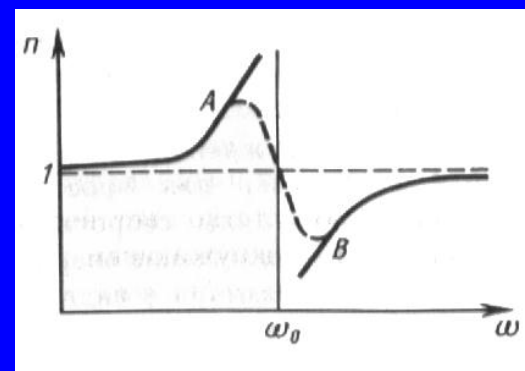


Егер зат сәулелердің бөлігін жұтатын болса,
онда жұту аймағы мен оның маңында
дисперсия жүруі аномальді түрде болады,
сондықтан ол аномаль дисперсия деп
аталады.

n - нің сыртқы өріс жиілігі ω - ға тәуелділігі
оң жақтағы суретте көрсетілген. мұнда
 AB – аномаль дисперсия аумағы.

$$\omega \uparrow \quad n \downarrow$$

$$n \propto \lambda$$
$$\lambda \downarrow \quad n \downarrow$$



Жарықтың жұтылуы

Жарықтың жұтылуы (адсорбциясы) деп зат арқылы өткен жарық толқынының толқын энергиясының басқа түрге түрлену салдарынан, энергия жоғалту құбылысын айтады. Нәтижесінде жарық арқылы өткенде интенсивтілік азаяды.

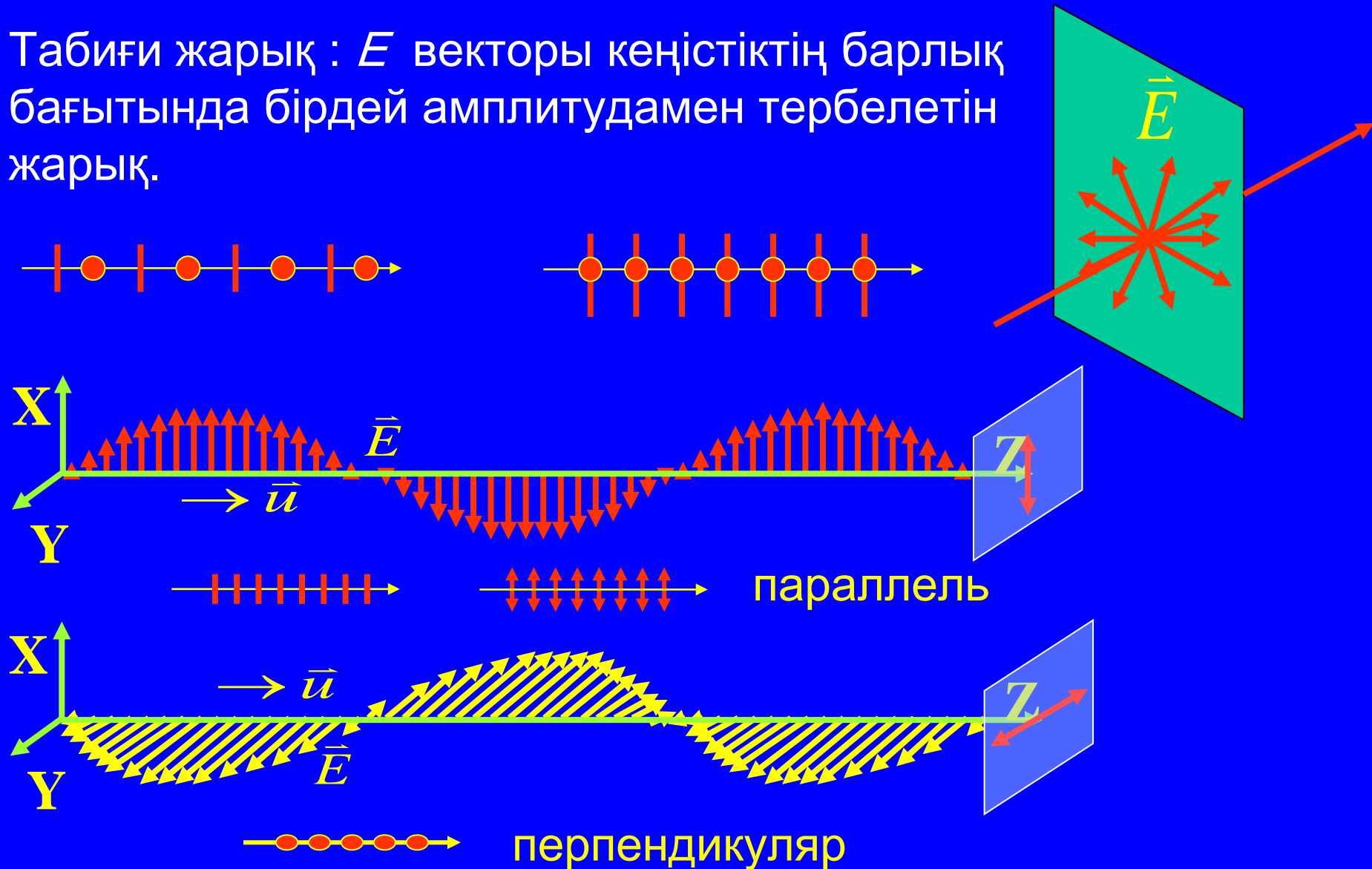
Заттағы жарық жұтылуы **Бугер заңымен** бейнеленеді

$$I = I_0 e^{-\alpha x}$$

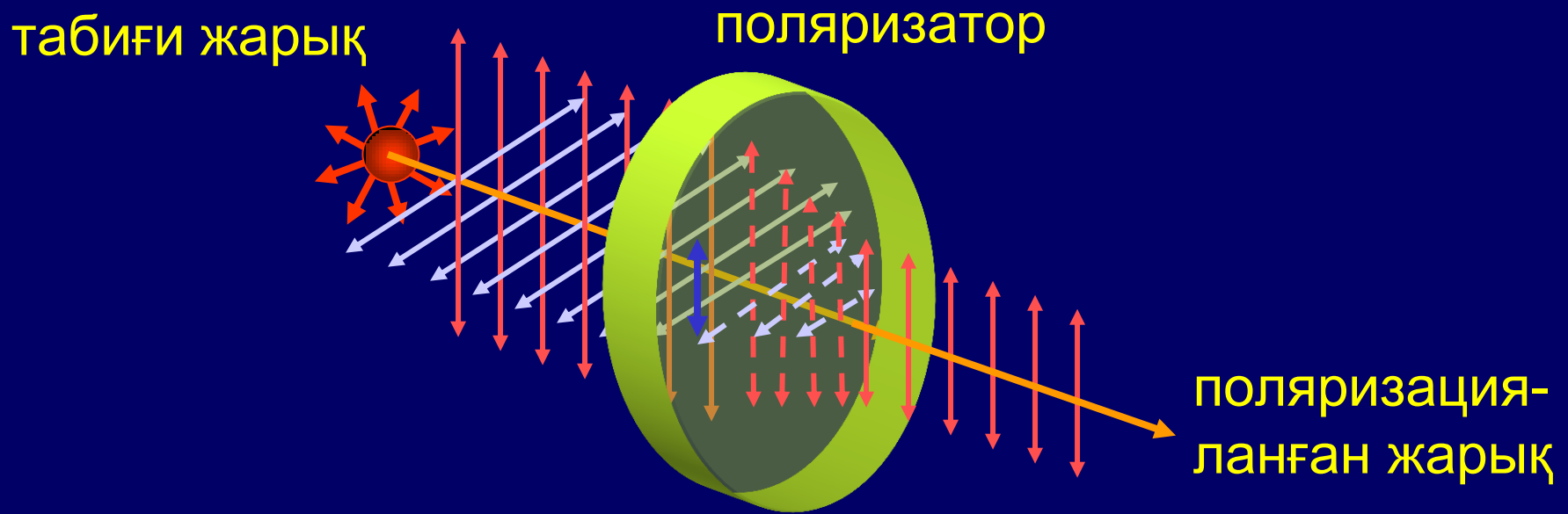
мұндағы I_0 мен I – жазық монохромат жарық толқынының, қалыңдығы x жұту затына кірудегі және шығудағы интенсивтіліктері, α - жарық толқынының ұзындығына, химиялық табиғатына және зат күйіне тәуелді жұту коэффициенті; ол жарық интенсивтілігіне тәуелді емес.

Жарықтың поляризациясы

Табиғи жарық : E векторы кеңістіктің барлық бағытында бірдей амплитудамен тербелетін жарық.



Поляризацияланған жарықты қалай алуға болады?



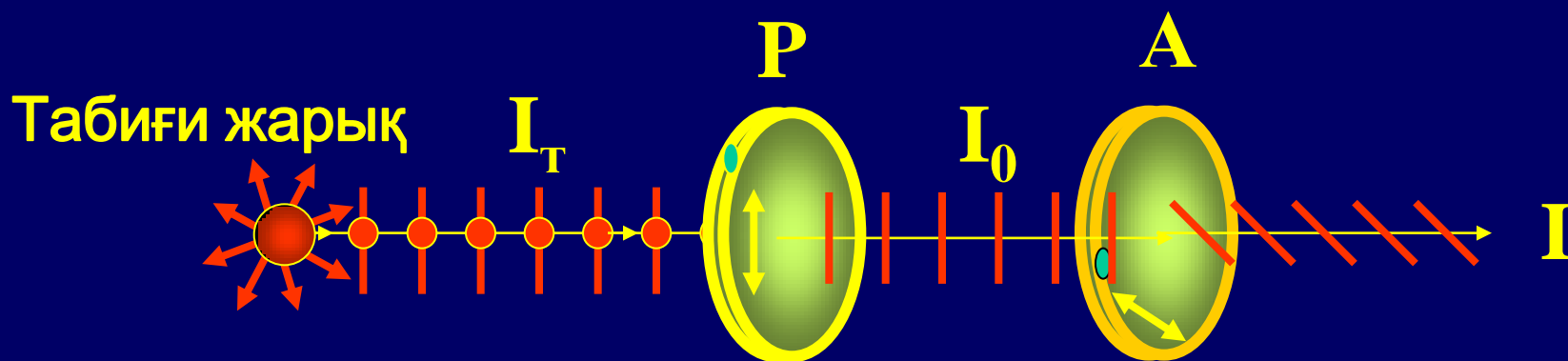
Поляризатор : табиғи жарықты поляризацияланған жарыққа айналдыратын оптикалық құрал.

Поляризацияланған жарық деп жарықтың электр векторы тек бір жазықтықта ғана тербелетін жарықты айтамыз.

МАЛЮС ЗАҢЫ

Табиғи жарықтың интенсивтілігі I_T және поляризатор мен анализатор жазықтықтарының араларындағы бұрышы α берілген болса, анализатордан өткеннен кейінгі жарық интенсивтілігін I Малюс заңы арқылы анықтауға болады.

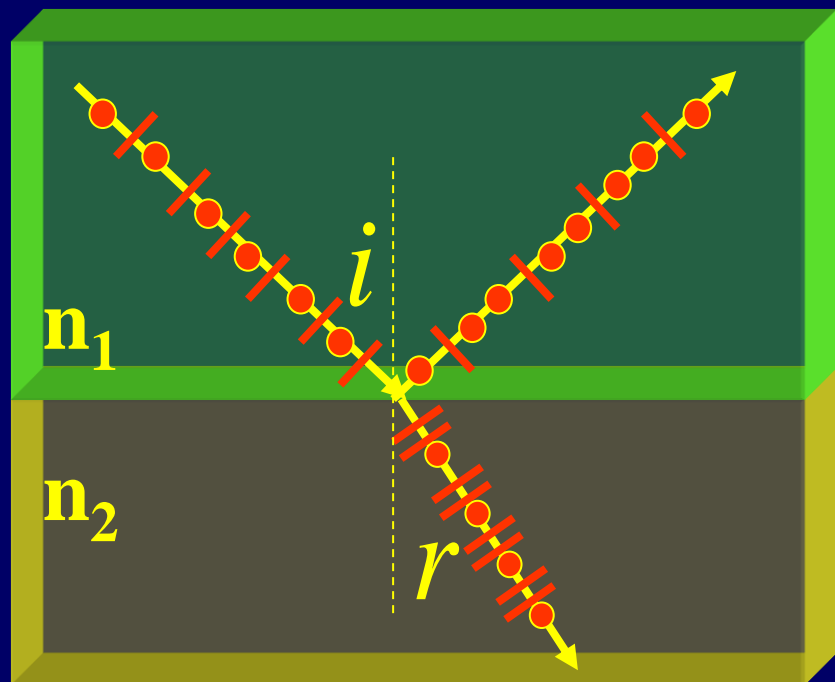
$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$



Шағылу мен сыну кезіндегі поляризация

Жарық толқыны екі орта шекарасынан өткенде сынған және шағылған жарық жартылай поляризацияланады.

Бұл жарықтардың поляризациялану дәрежесі түсу бұрышы i -ге тәуелді болады.



Шағылған сәуледе тербелістің тақта бетіне перпендикуляр бөлігі параллель бөлігінен көп, ал сынған сәуледе тербелістің параллель бөлігі перпендикуляр бөлігінен көп болады.

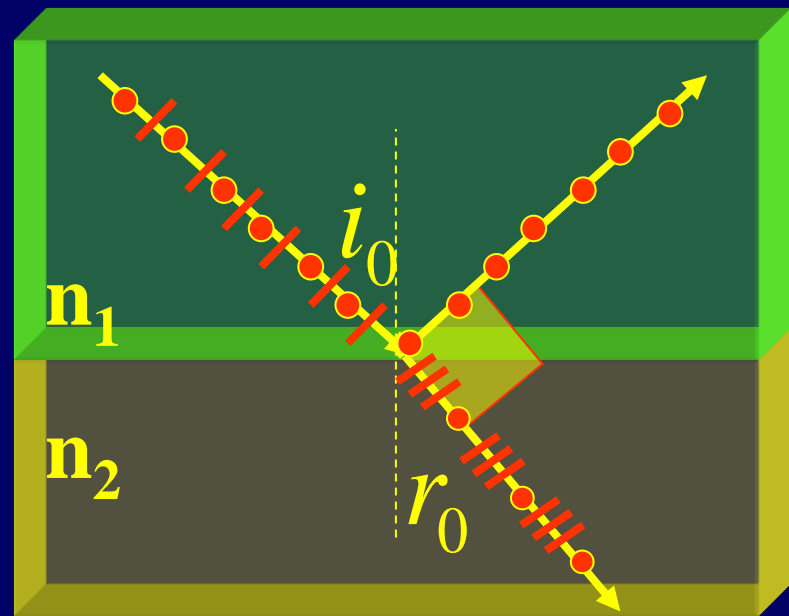
БРЮСТЕР ЗАҢЫ

Белгілі диэлектрик үшін түсу бұрышының бір мәнінде шағылған жарықта тек қана тақта жазықтығына перпендикуляр тербелістер болады. Шағылған толқын толық поляризацияланды. Бұл жағдайда шағылған сәуле мен сынған сәуле арасындағы бұрыш 90° -қа тең болады.

$$i_0 + r_0 = 90^\circ$$

Брюстер заңы:
$$\operatorname{tgi}_0 = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

Түсу бұрышының тангенсі диэлектриктің сыну көрсеткішіне тең.



ЖЫЛУЛЫҚ СӘУЛЕНЕНУ (Кванттық оптика)

Сәулеленуші дененің ішкі энергиясы есебінен пайда болатын және тек дененің температурасы мен химиялық қасиеттеріне байланысты электромагниттік сәулелену жылулық сәулелену деп аталады.

Денелердің сәуле шығарғыштық, қабілеттілігі деп уақыт бірлігі ішінде дене бетінің аудан бірлігіне келетін жиіліктері – ν ден $\nu+d\nu$ аралығында шығарылатын электромагниттік сәулеленудің $dW_{\text{сәулелену}}$ энергиясын айтады.

$$E(\nu, T) = dW_{\text{сәу}} / d\nu$$

СИ жүйесінде, сәуле шығарғыштық қабілеттілігі Дж/м² пен өрнектеледі.

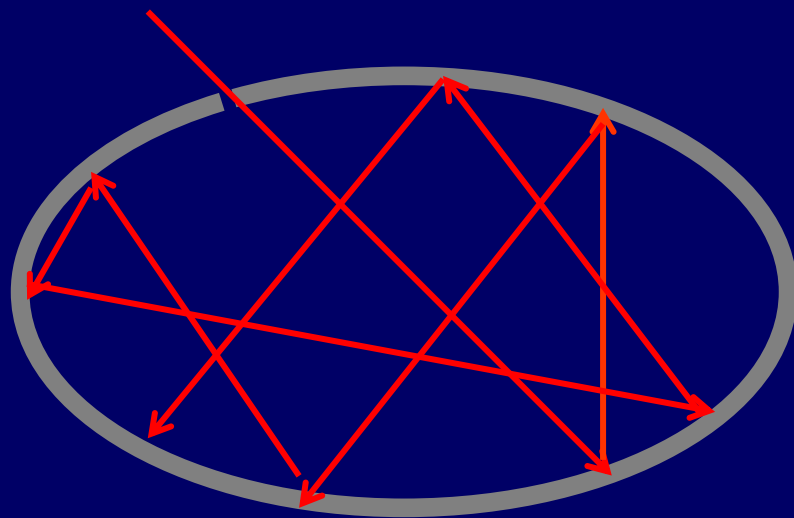
Жұтылу қабілеттілігі, уақыт бірлігі ішінде дене бетінің аудан бірлігіне жиіліктері ν ден $\nu+d\nu$ аралығында түсетін dW энергиясының қандай бөлігін дене жұта алатындығын көрсетеді.

$$A(\nu, T) = dW_{\text{жұт}} / dW$$

- Абсолют қара дене : кез-келген температурада, дене бетіне келіп түскен барлық жиіліктегі сәулелерді толығымен жұтатын дене.
- Абсолют қара дене үшін жұтылу қабілеті $A(\nu, T)=1$ болады.
- Абсолют қара дененің сәуле шығарғыштық қабілеттілігін $\varepsilon(\nu, T)$ деп белгілейміз. Ол дененің сәулелену жиілігіне және абсолют температурасына тәуелді.

Абсолют қара дененің идеалды үлгісі ретінде мөлдір емес қуыс бетіндегі кішкене тесікті алуға болады.

Кішкене тесік арқылы қуыс ішіне түсетін жарық сәулесі қуыс қабырғаларынан көп рет шағылылады. Әрбір шағылылу кезінде жарық толқыны энергиясының біраз бөлігі жұтылатын болады.



Сондықтан, тесіктен шығатын сәуленің интенсивтілігі, оған келіп түскен сәуле энергиясына қарағанда көп шамаға азаяды. Қуыс бетінің ауданының тесік бетінің ауданына қатынасы үлкен болған сайын, тесік беті өзінің қасиеті бойынша абсолют қара денеге соншама жақын келеді.

Кирхгоф заңы

Дененің сәуле шығарғыштық қабілеттілігінің оның жұтқыштық қабілеттілігіне қатынасы дененің химиялық құрамына тәуелді болмайды және ол абсолют қара дененің сәуле шығарғыштық қабілеттілігі болып, ол температура мен жиіліктің $f(\nu, T)$ функциясы болып табылады.

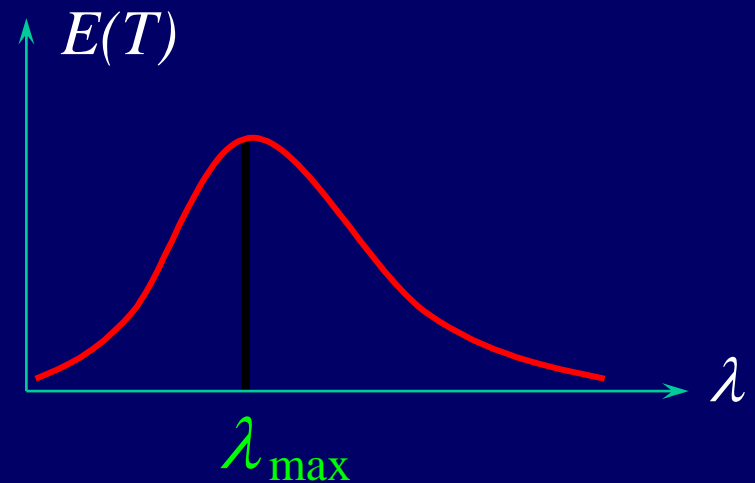
$$E(\nu, T) / A(\nu, T) = \varepsilon(\nu, T)$$

Абсолют қара дененің жұтқыштық қабілеті $A(\nu, T)=1$,
Абсолют қара дене үшін $E(\nu, T) = \varepsilon(\nu, T)$ болады.

Энергетикалық жарқырау

0-ден ∞ -ке дейінгі жиіліктегі барлық спектр бойынша толық сәулелену қуаты дененің энергетикалық жарқырауы немесе интегралды сәуле шығарғыштық қабілеттілігі $E(T)$ деп аталады. Ол сандық мәні жағынан төмендегі қисық сызықпен қоршалған ауданға тең.

$$E(T) = \int_0^{\infty} \varepsilon(\nu, T) d\nu$$



Больцман заңы

Абсолют қара дененің энергетикалық жарқырауы абсолют температураның төрт дәрежесіне пропорционал болады.

Абсолют қара дененің энергетикалық жарқырауы $E(\nu, T) = \varepsilon(\nu, T)$ сәуле шығарғыштық қабілеттілігіне тең болады.

$$\varepsilon(T) = \sigma \cdot T^4$$

мұндағы $\sigma = 5,67 \cdot 10^8$ (Вт/м²к⁴) — пропорционалдық коэффициенті Стефан-Больцман тұрақтысы деп аталады.

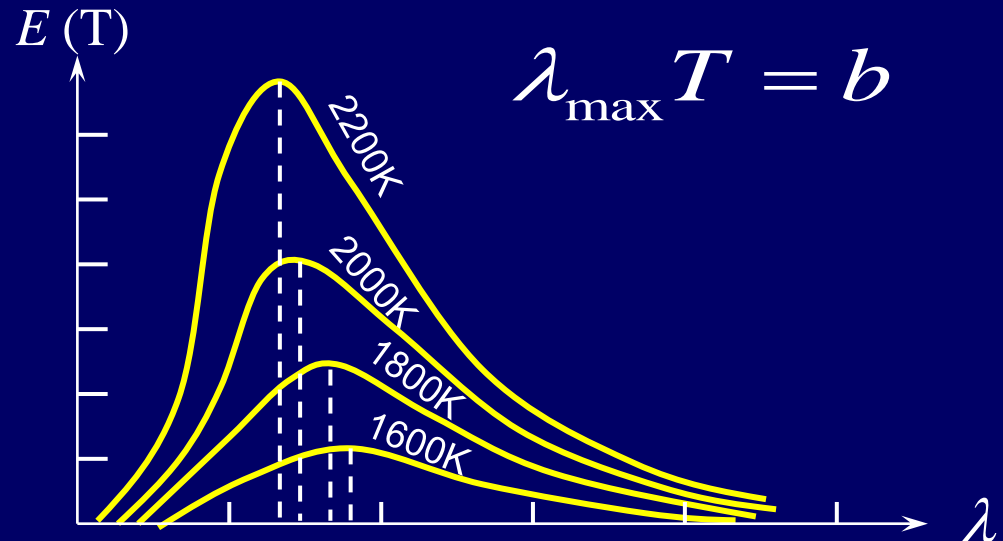
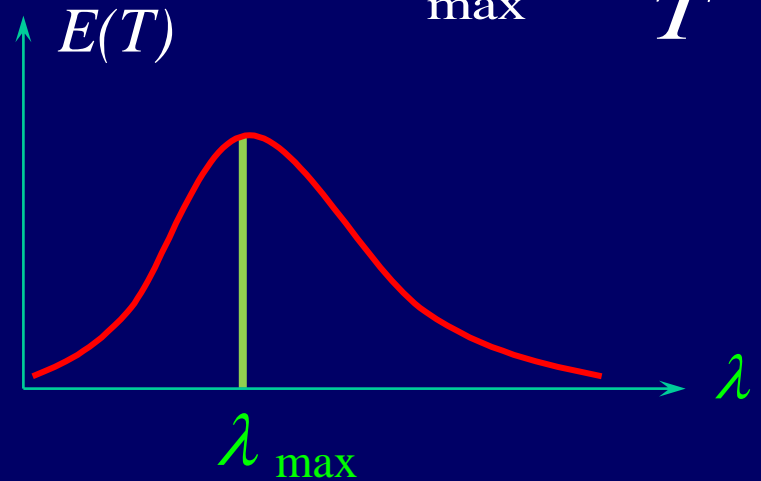
Виннің ығысу заңы

Абсолют қара дененің сәуле шығарғыштық қабілеттілігінің максимум мәніне келетін жиілік оның абсолют температурасына тура пропорционал болады.

$$\left(\frac{\nu_{\max}}{T}\right) = b \quad (b = 2,898 \cdot 10^{-3})$$

Абсолют қара дененің сәуле шығарғыштық қабілеттілігінің максимум мәніне келетін толқын ұзындығы, ол температураның өсуіне байланысты қысқа толқын ұзындығына қарай ығысады.

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

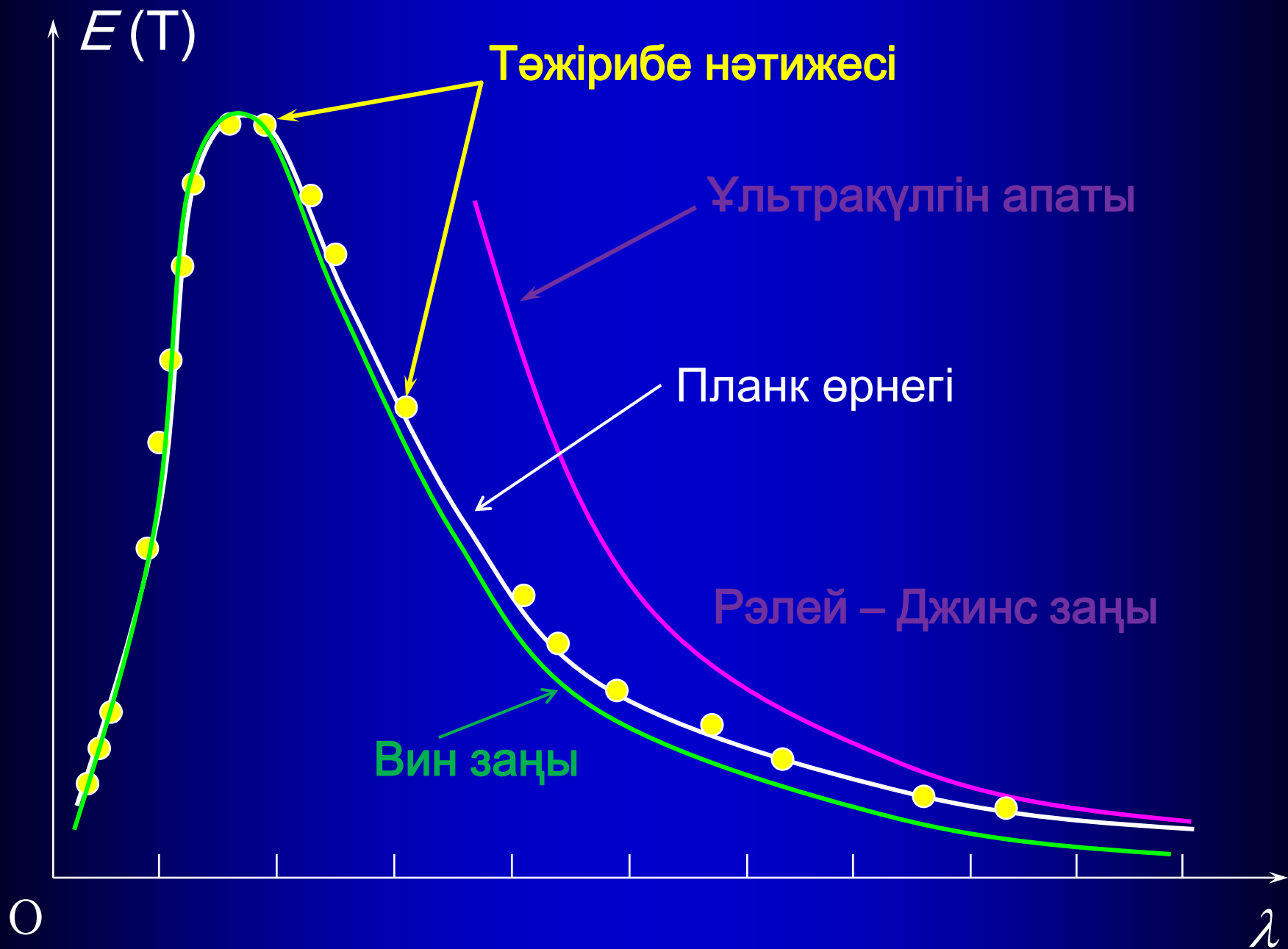


Рэлей және Джинс өрнегі

$$\varepsilon(\nu, T) = (2\pi\nu^2/c^2) kT$$

Абсолют қара дененің сәуле шығарғыштық қабілеті үшін Рэлей және Джинс өрнегі тек төменгі жиілік немесе ұзын толқын аумақ үшін ғана дәл келеді. Ал, жоғары жиіліктегі аумақ (қысқа толқын аумағы) үшін Рэлей және Джинс өрнегі тәжірибелік мәндерінен көп алшақ кетеді. Қысқа толқын аумағында теория мен практиканың алшақтауы “**ультракүлгін апаты**” деп аталады.

Вин заңы бойынша алынған абсолют қара дененің сәуле шығарғыштық қабілеті қысқа толқын аумағында тәжірибе нәтижесімен сәйкес келгенімен, ұзын толқын аумағында тәжірибеден алшақтайды.



Планк өрнегі

$$\varepsilon(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \cdot \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

Абсолют қара дененің сәуле шығарғыштық қабілеттілігі үшін алынған Планк өрнегі әртүрлі температуралар кезінде тәжірибемен өте жақсы сәйкес келеді. Сонымен, сәулеленудің кванттық сипаты туралы Планктың гипотезасына сәйкес, жарық дискретті, үзілістік құрылымды түрге ие болады, яғни жарық корпускулалық қасиеттерге ие. Электромагниттік сәулеленудің кванттары, кейіннен бөлшектердің жаңа қасиеттеріне ие болатын — фотондар деп аталды.

Фотон массасы және импульсы

Егер электромагниттік сәулеленуді жарық жылдамдығымен қозғалатын фотондардың ағыны ретінде қарастырсақ, онда фотон массасы мен импульсын табу қиынға соқпайды. Планк бойынша фотон энергиясы $\varepsilon = h \cdot \nu$ Релятивистік механика көз қарасы бойынша фотон энергиясын $\varepsilon_0 = m \cdot c^2$ түрінде беруге болады. Бұл екі өрнекті салыстыра келіп, фотон массасын табамыз:

$$m_{\phi} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{\lambda \cdot c}$$

Фотон массасы тек жарық толқынының жиілігіне байланысты.

Фотон импульсы :

$$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Атомдық физика