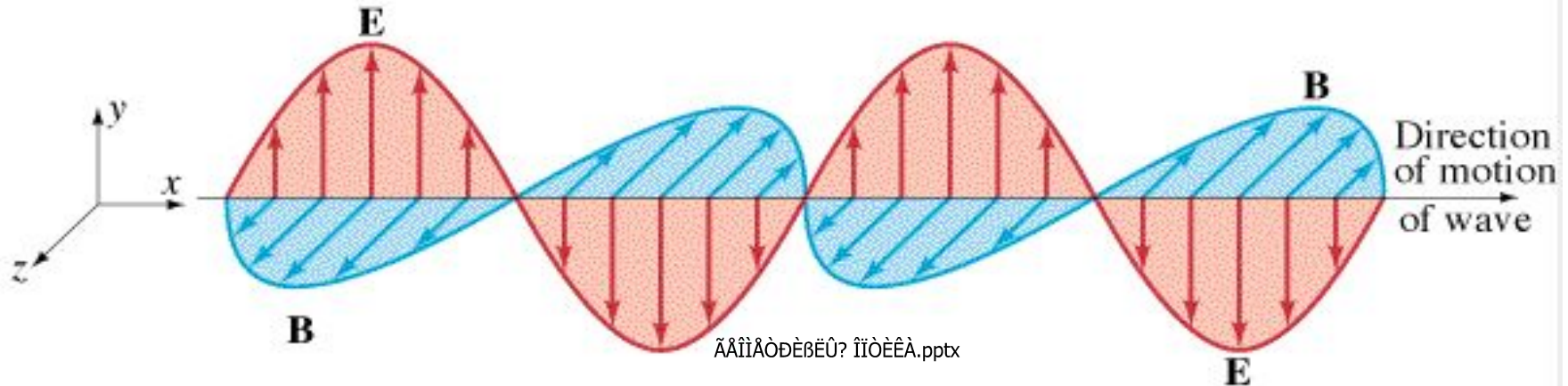


ОПТИКА

Оптика – жарықты зерттейтін физиканың бөлімі. Жарық – көзге көрінетін **электромагниттік** толқын. $\vec{E} \perp \vec{H} \perp \vec{c}$

Электрмагниттік толқын деп электрмагниттік өрістің кеңістікте таралуын айтады.



МАКСВЕЛЛ ТЕҢДЕУЛЕРІ

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

Магнит ағынының өзгерісі электр өрісін тудырады.

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

Электр ағынының өзгерісі магнит өрісін тудырады.

Электрмагниттік толқын жылдамдығы

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

$$B = \mu_0 \varepsilon_0 E \nu$$

$$E = B \nu$$

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

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

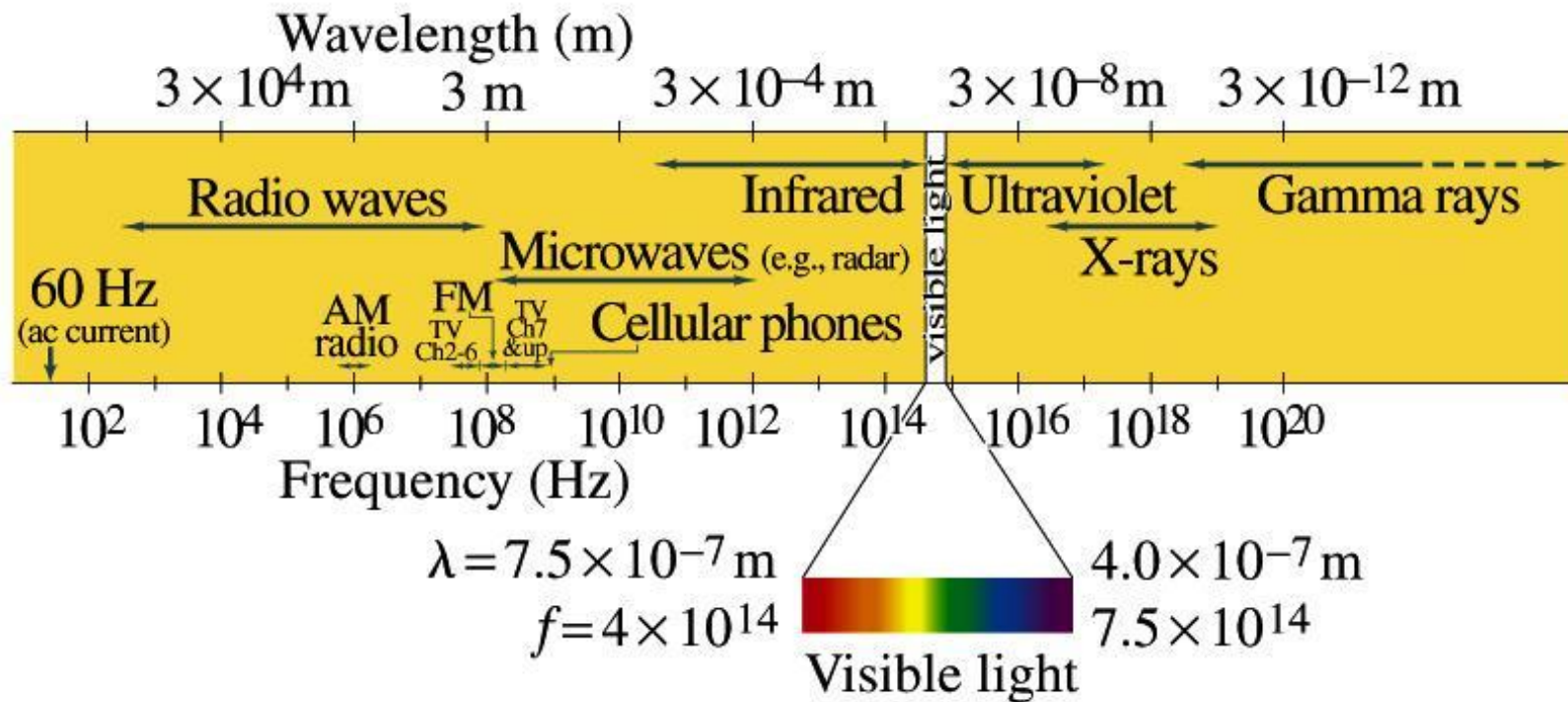
$$\nu = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

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

$$\nu = 3 \times 10^8 \text{ м/с}$$

Электрмагниттік толқынның аумағы

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



Жарықтың вакуумдағы толқын ұзындығы (0,40 ~ 0,76) мкм.

УМОВ-ПОЙТИНГ ВЕКТОРЫ

Электрмагниттік өріс кеңістікте тарала отырып, энергия тасымалдайды.

Электр өрісі энергиясының көлемдік тығыздығы: $w_e = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2$

Магнит өрісі энергиясының көлемдік тығыздығы: $w_m = \frac{1}{2} \mu \mu_0 H^2$

Электрмагниттік өріс энергиясының көлемдік тығыздығы:

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

Вакуумде таралған электрмагниттік өріс энергиясының тығыздығы:

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

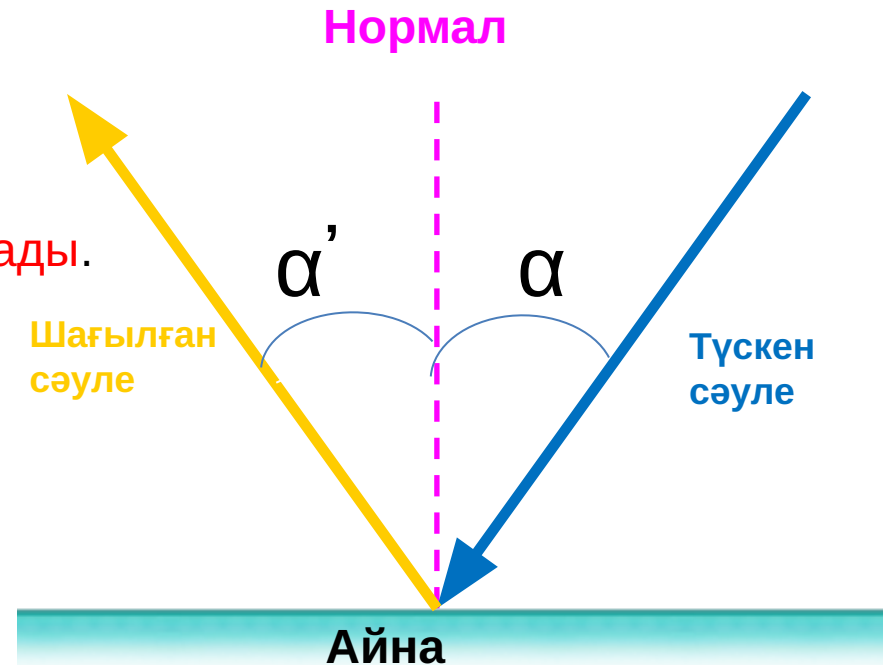
Бұл өрнек — Умов-Пойнтинг векторы деп аталады.

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.

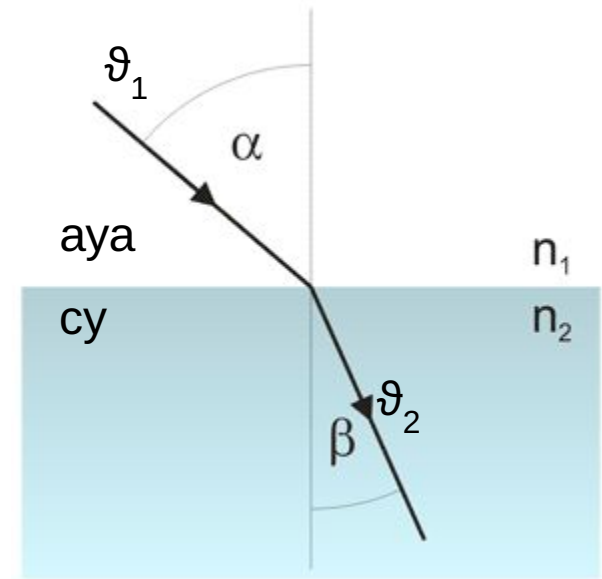
Түсу бұрышы түскен сәуле мен нормал арасындағы бұрыш.
Шағылу бұрышы шағылған сәуле мен нормал арасындағы бұрыш.



ЖАРЫҚТЫҢ СЫНУ ЗАҢЫ

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

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



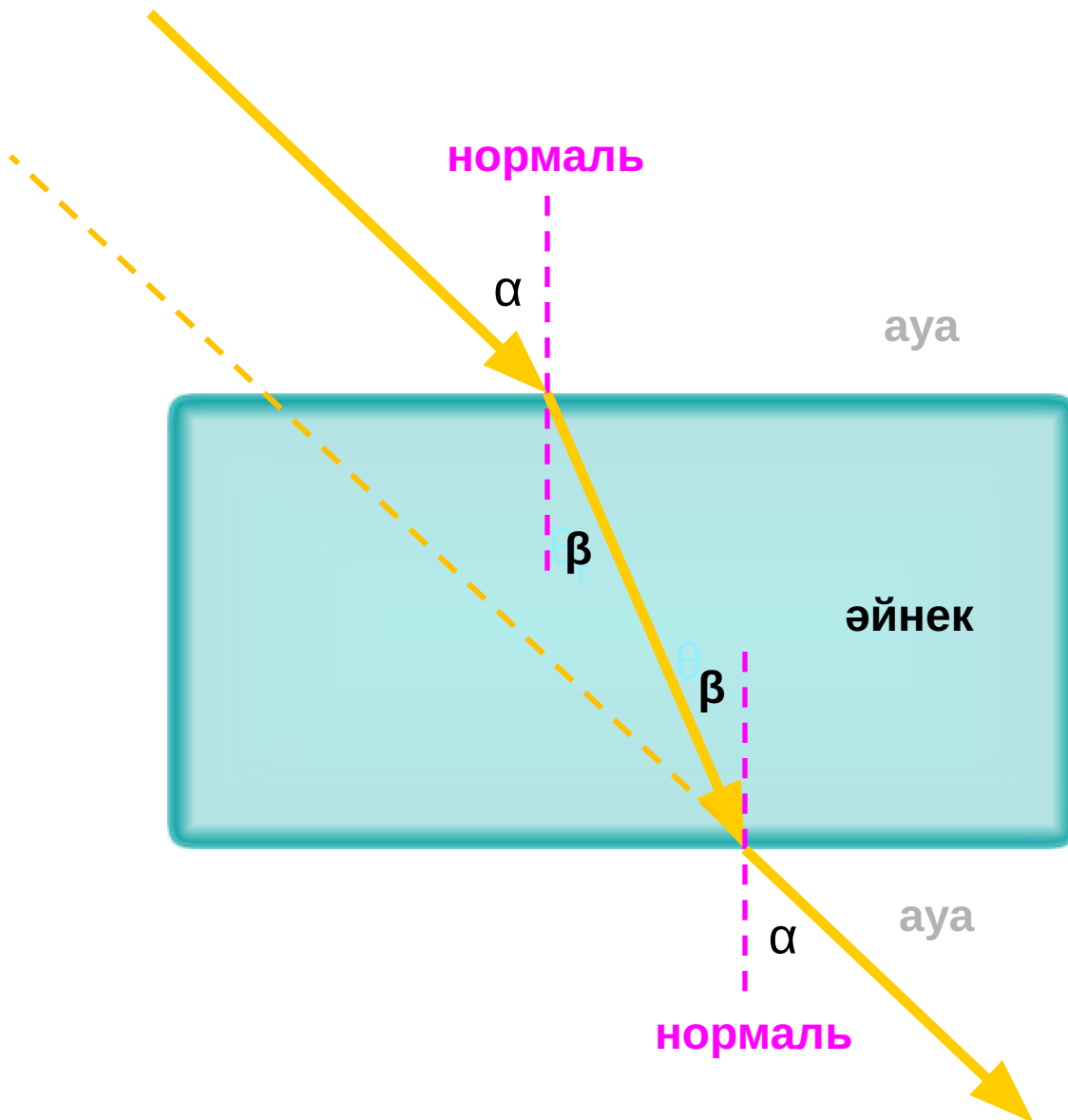
Егер 1-орта ауа, екінші ортаны су деп қарастырақ

$$n_1 = 1, \quad \vartheta_1 = c, \quad n_2 = 1.33$$

$$v = c / n$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Түскен сәуле мен әйнекті тесіп өткен сәуле бір-біріне параллель



ЖАРЫҚТЫҢ ТҮЗУ СЫЗЫҚТЫ ТАРАЛУ ЗАҢЫ

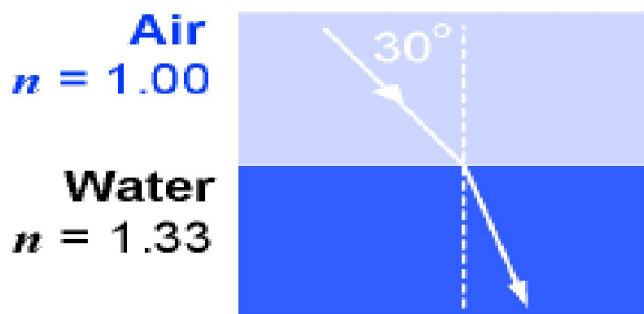
Оптикалық біркелкі ортада жарық сәулесі түзу сызық бойымен таралады. Егер сыну көрсеткіші барлық жерде бірдей болса, ондай орта оптикалық біртекті орта деп аталады.

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.

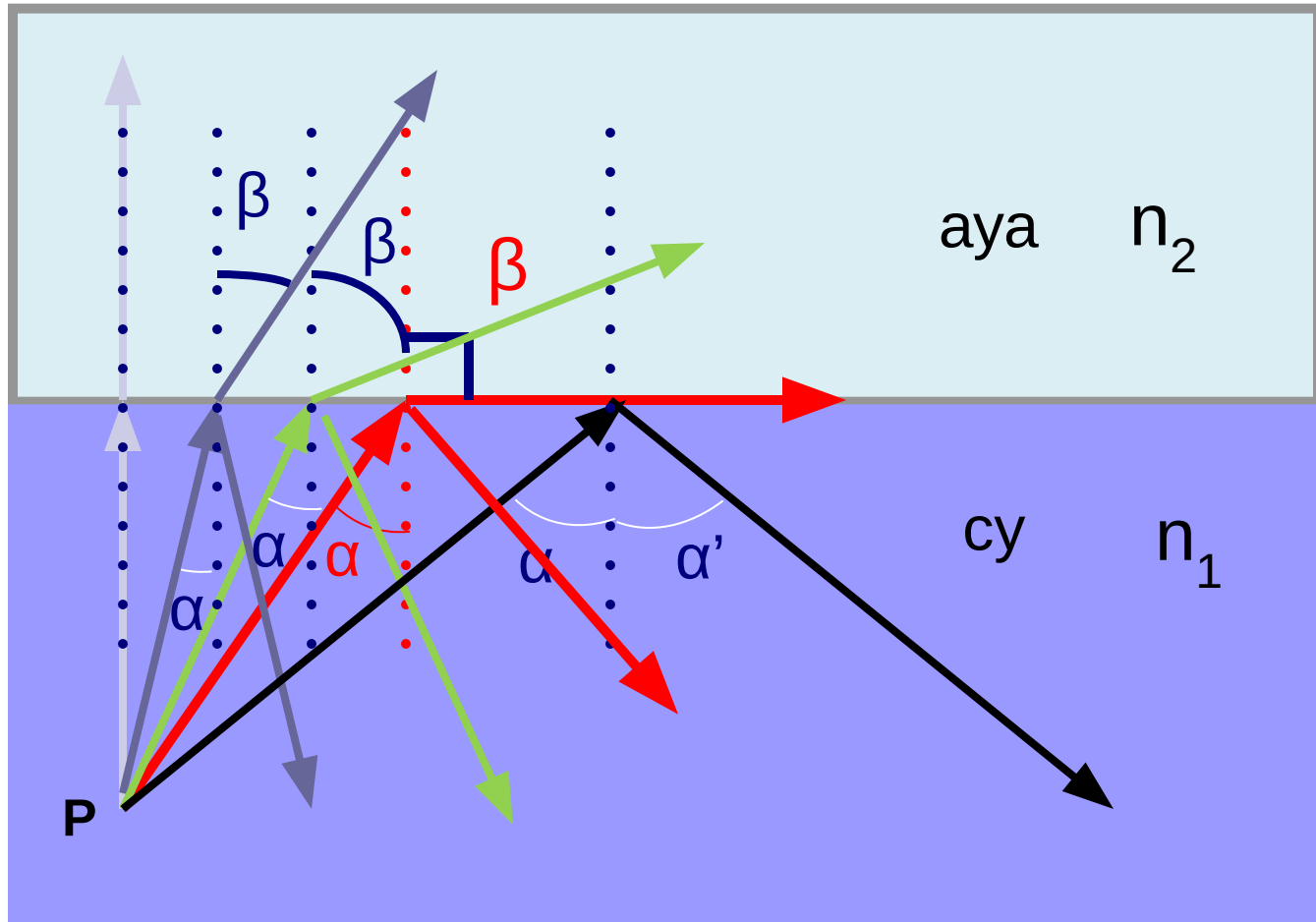


ТОЛЫҚ ІШКІ ШАҒЫЛУ ҚҰБЫЛЫСЫ

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 $\alpha_{ш}$ **шектік бұрыш** деп аталады.

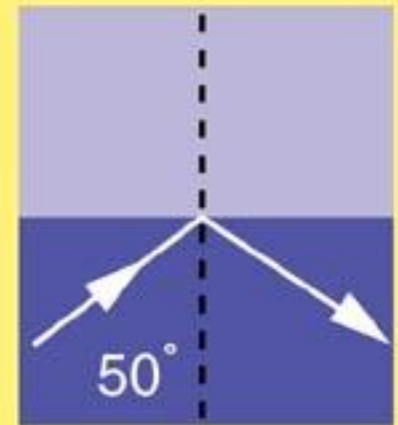
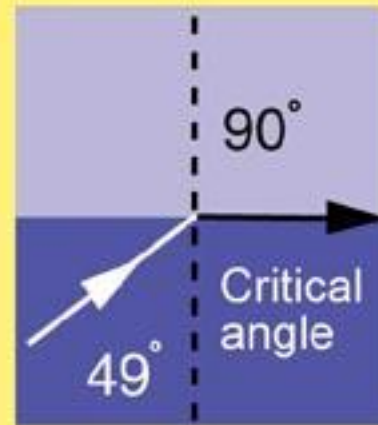
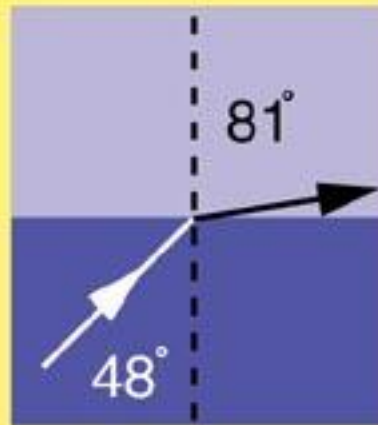
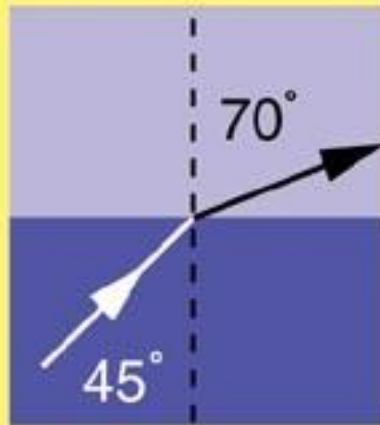
$$\sin \alpha_{ш} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_1 > n_2$$



Reflection and the Critical Angle

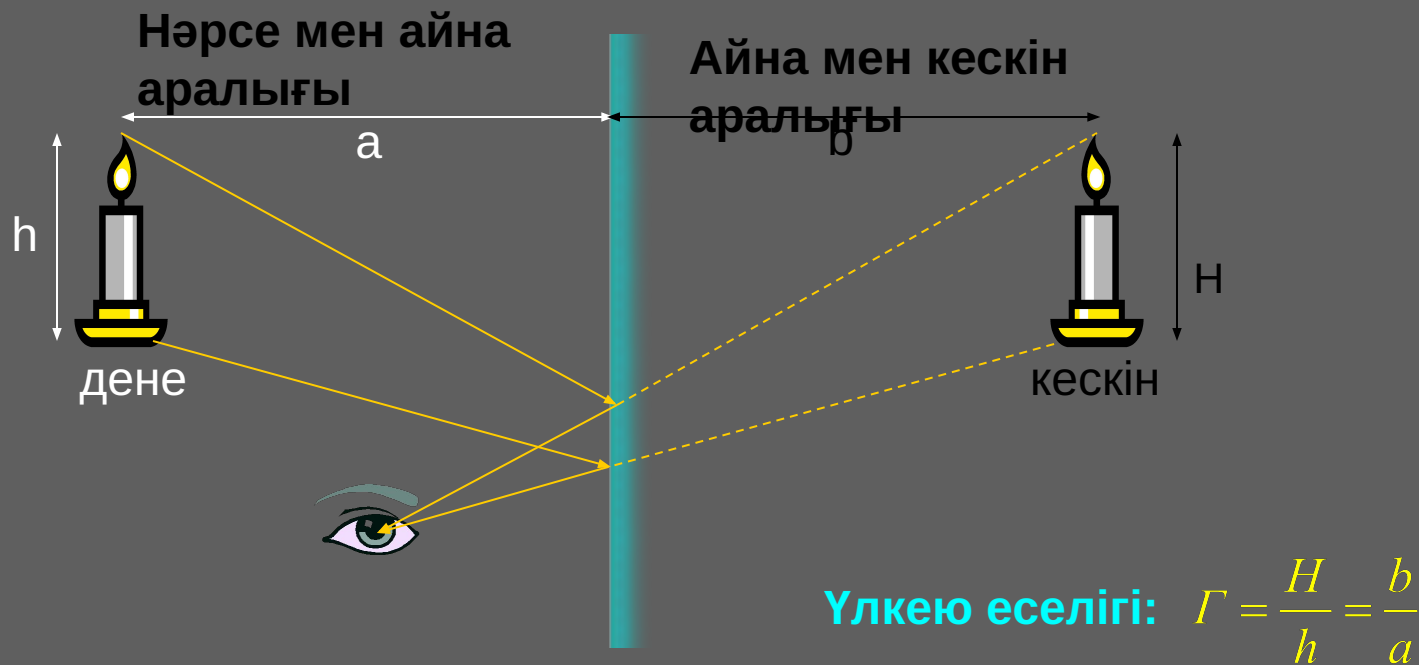
Air



Water

Total internal
reflection

Жазық айнадығы кескін

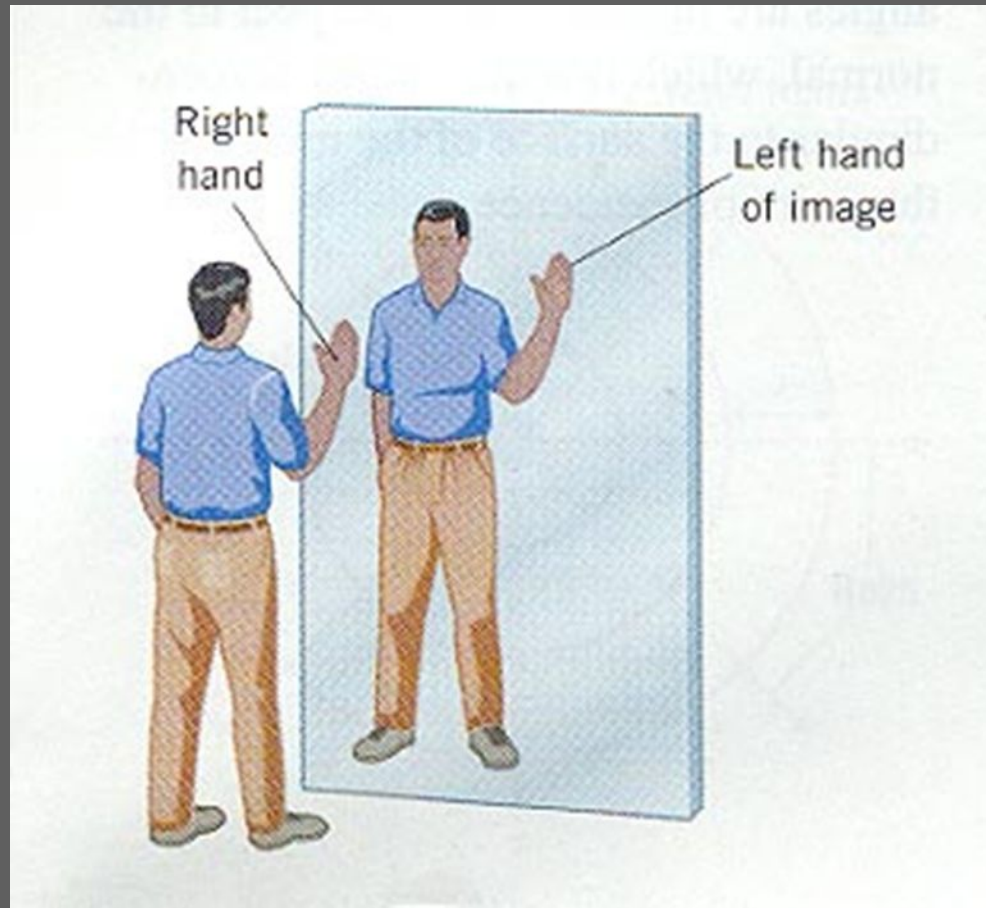


Кескін: жалған кескін (үзік сызық) және оң кескін

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

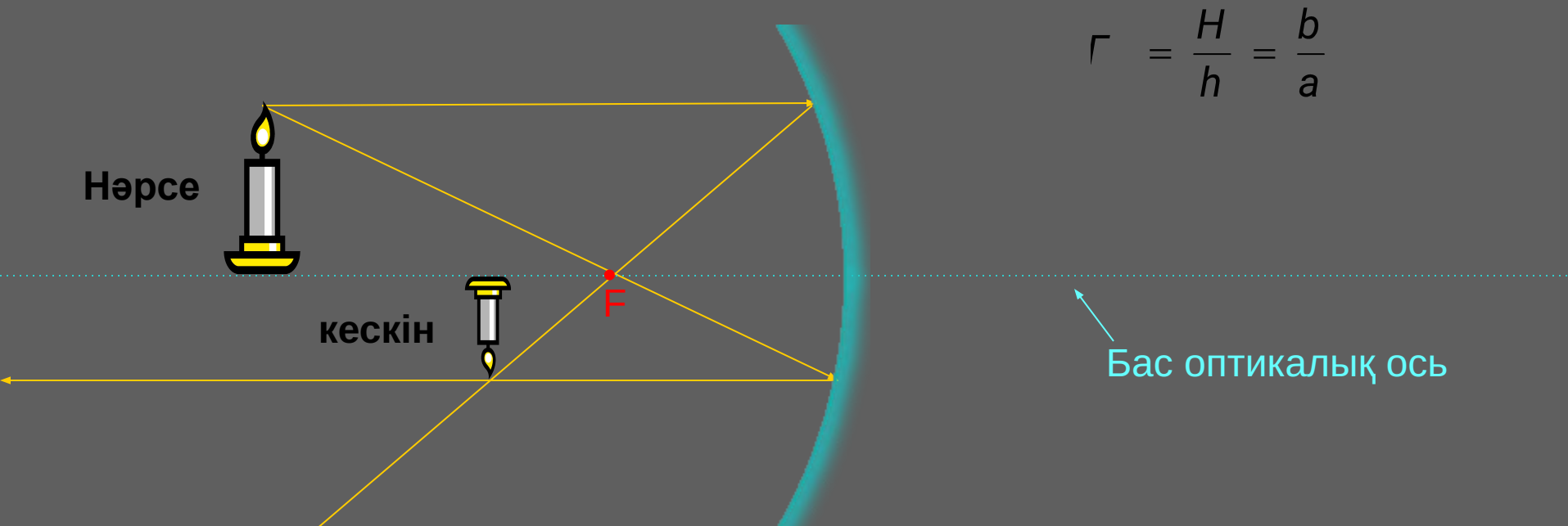
Дене аралығы (a) = кескін аралығы (b).

Дене мен кескіннің оң солы



Жазық айнадағы дене мен кескіннің оң солы алмасады.

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

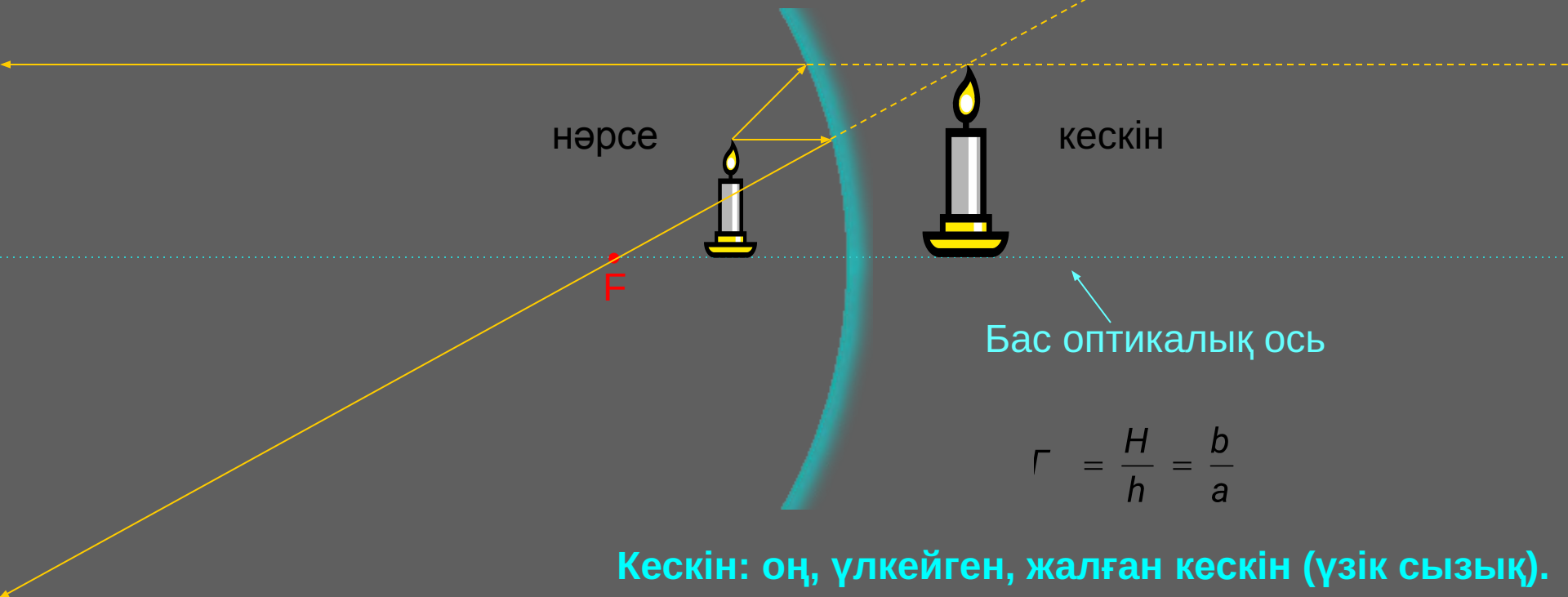


Кескін: теріс, кішірейген, шын (нақты) кескін

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

Екінші сызық фокустан өтіп шағылған соң оптикалық өске параллель таралады.

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

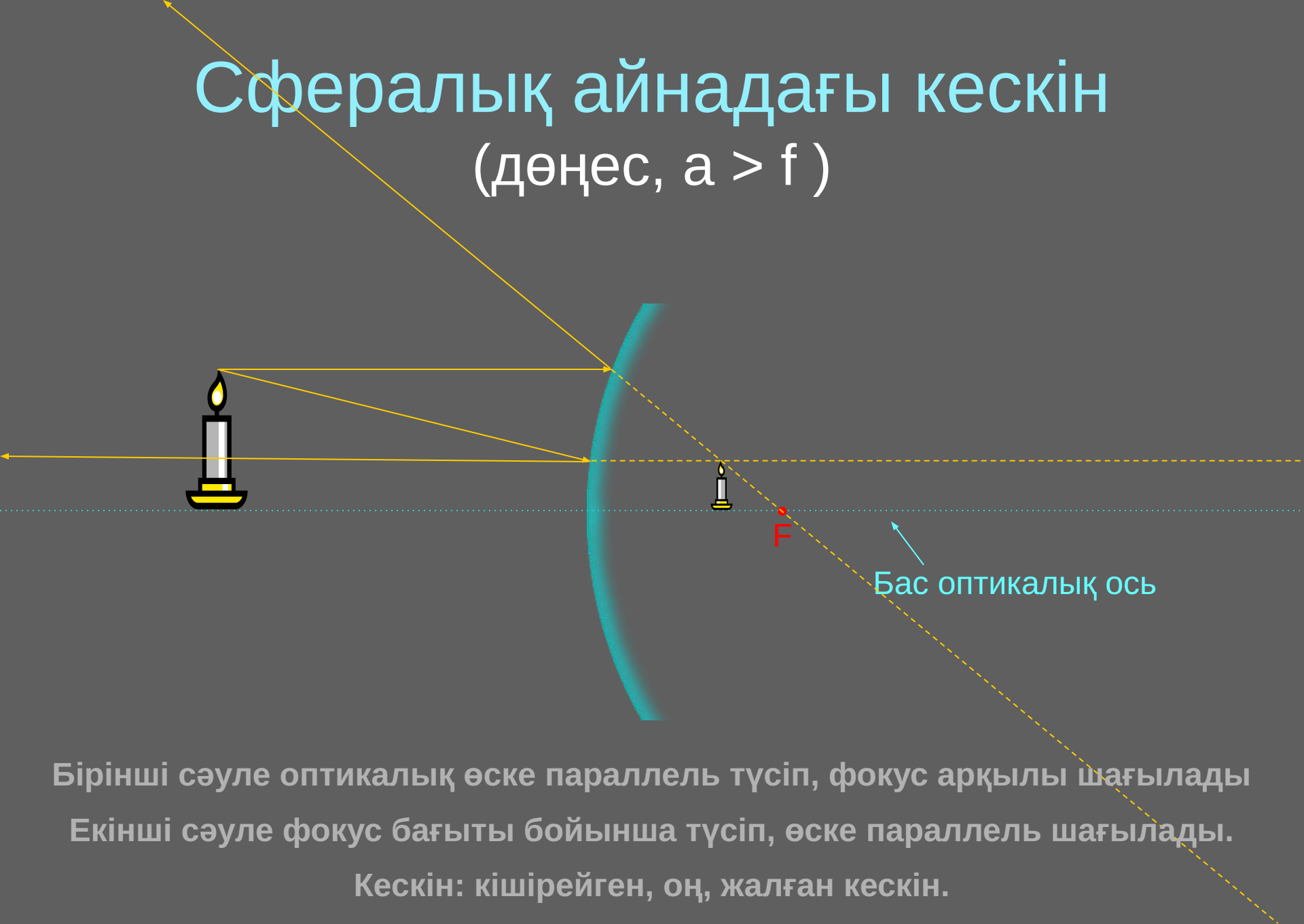


Кескін: оң, үлкейген, жалған кескін (үзік сызық).

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.

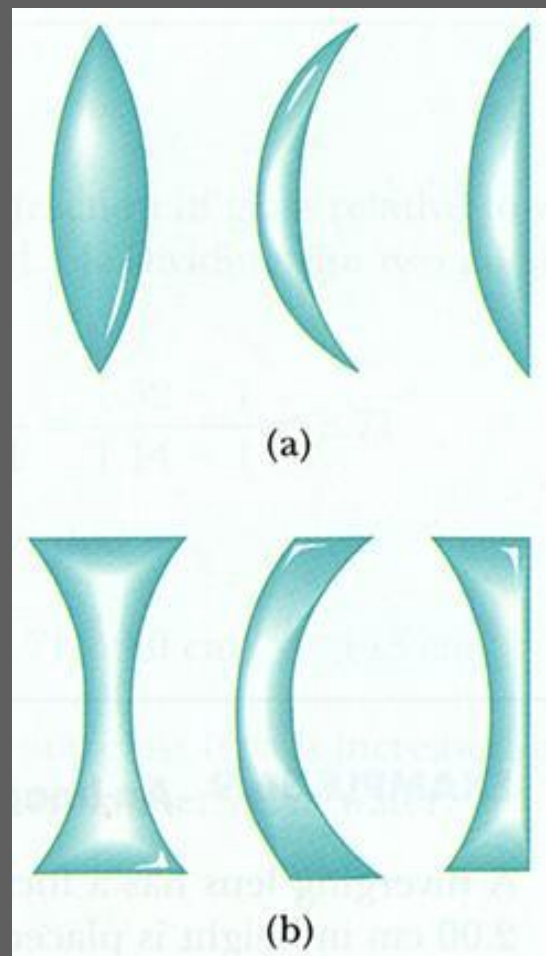
Дөңес және ойыс линзалар

- 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.

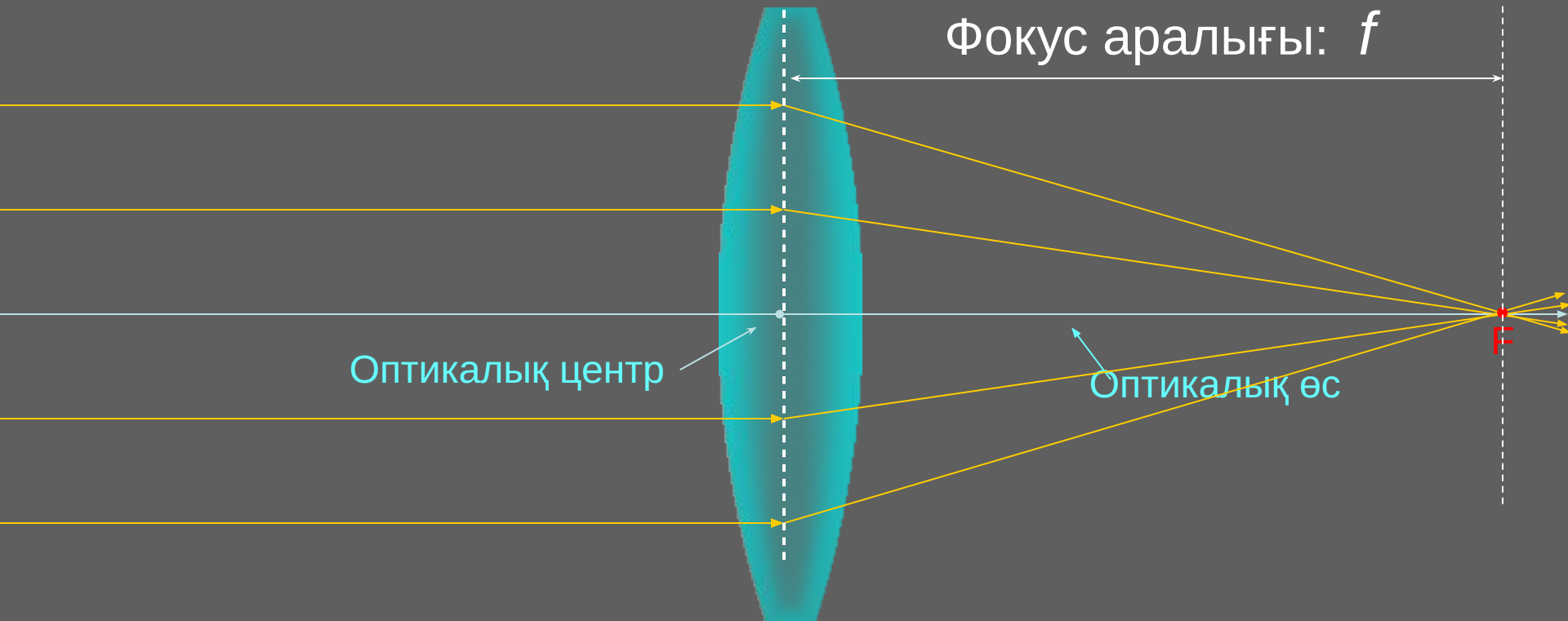
Линзаның пішіні

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

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



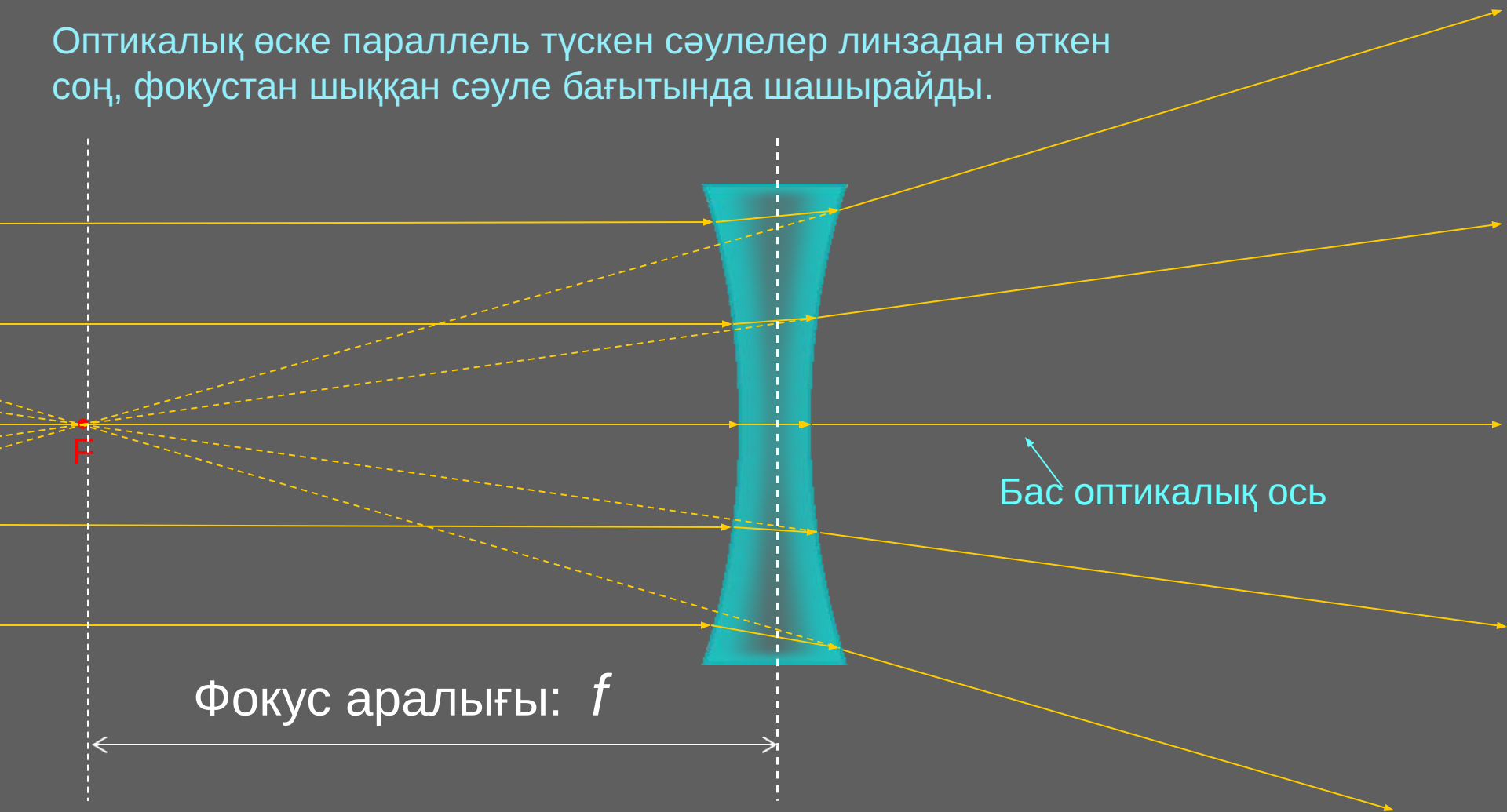
Жинағыш линза



Оптикалық өске параллель түскен сәулелер фокус нүктесінде жиналады.
Линзаның оптикалық центрі арқылы өтетін өтетін сәуленің бағыты өзгермейді.

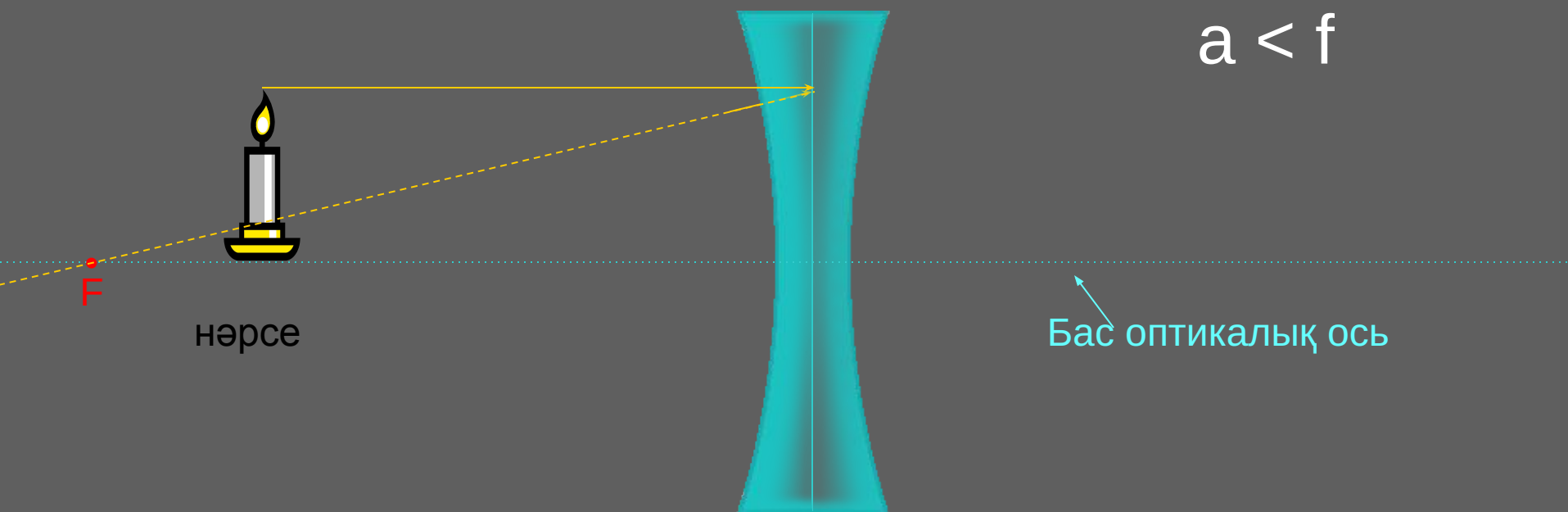
Шашыратқыш линза

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



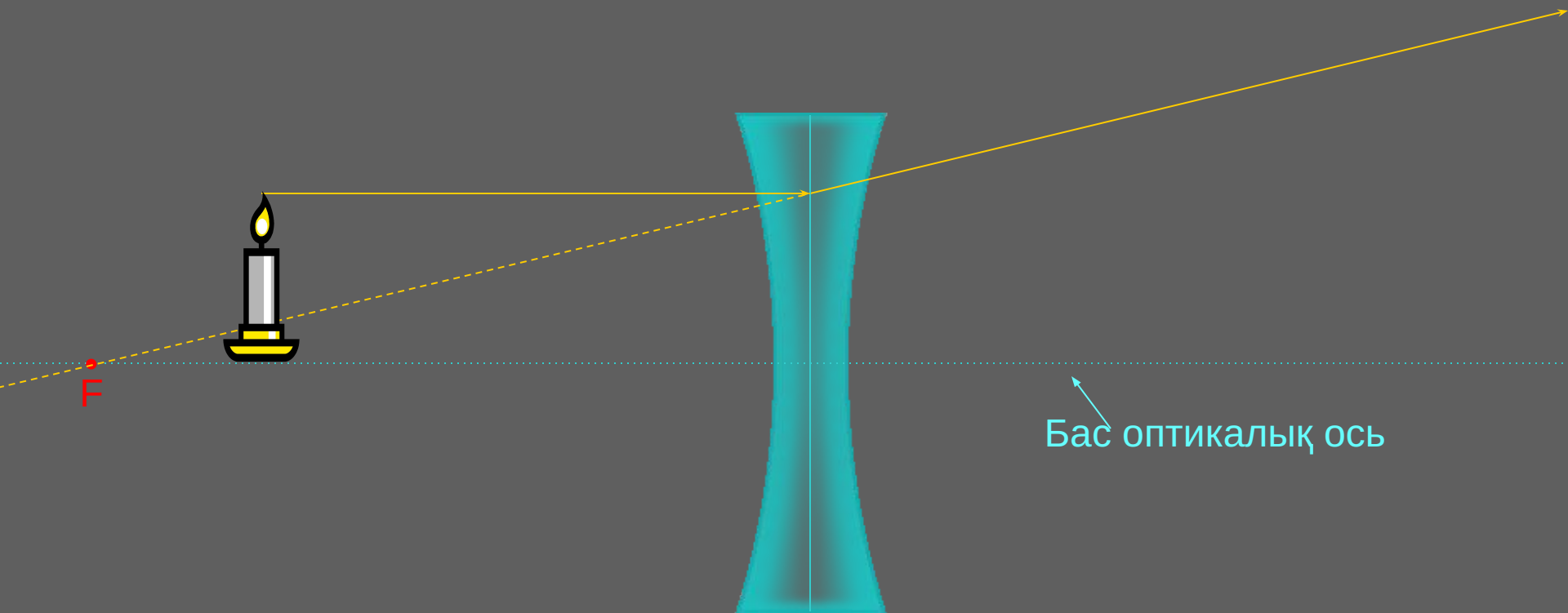
Шашыратқыш линзаның кескіні

Дененің басынан шығатын екі сәуле арқылы кескінді салуға болады.



Бірінші сәуле дененің басынан оптикалық өске параллель линзаға түседі.

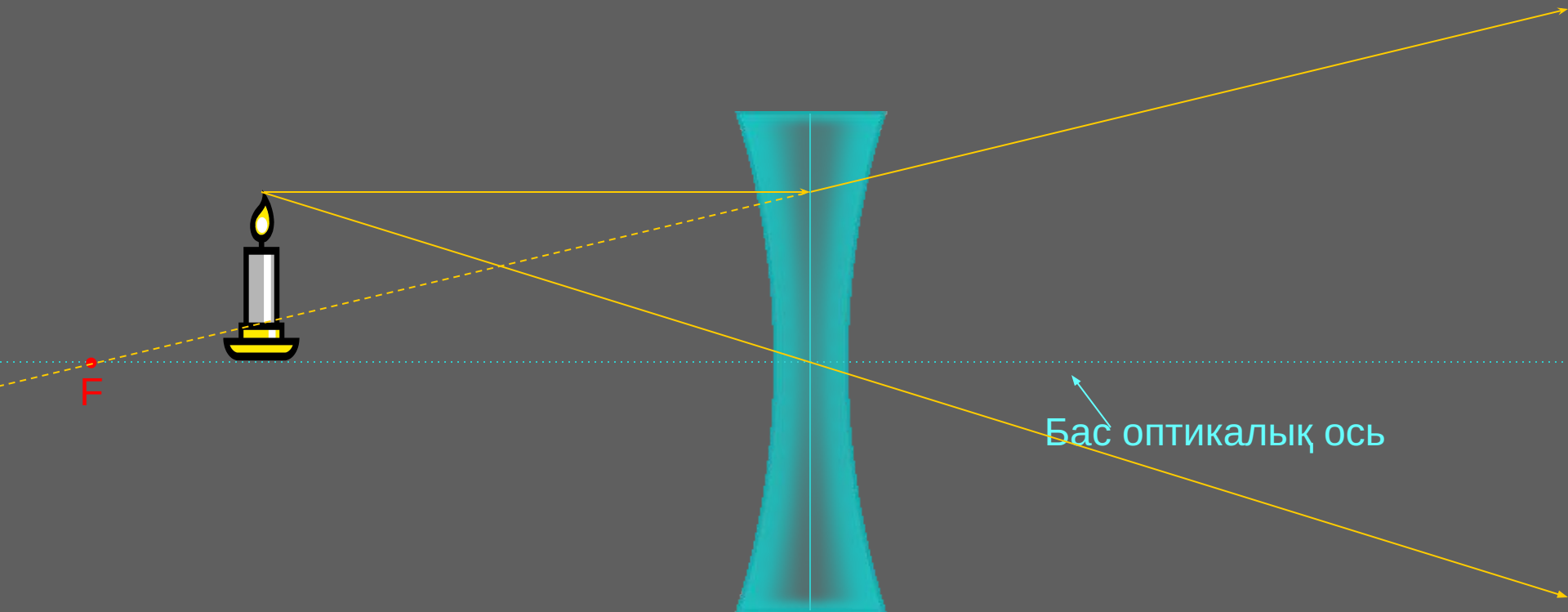
Шашыратқыш линзаның кескіні



Бас оптикалық ось

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

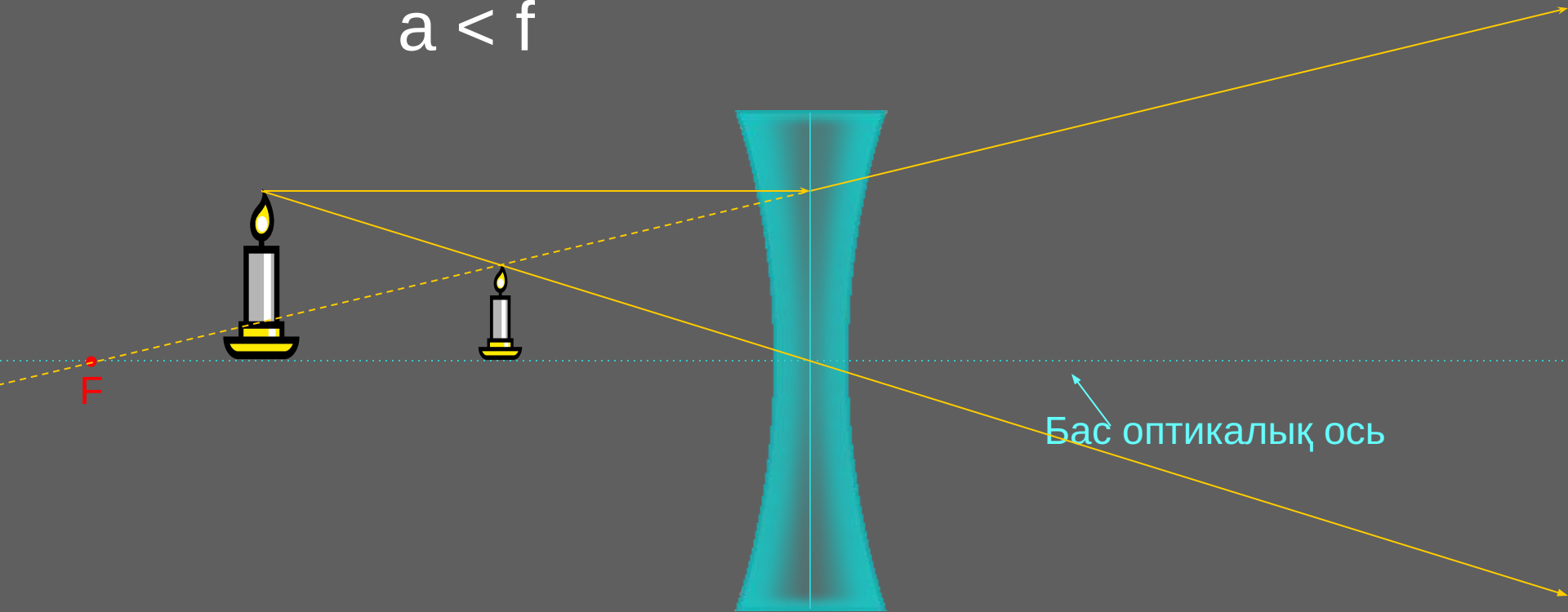
Шашыратқыш линзаның кескіні



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

Шашыратқыш линзаның кескіні

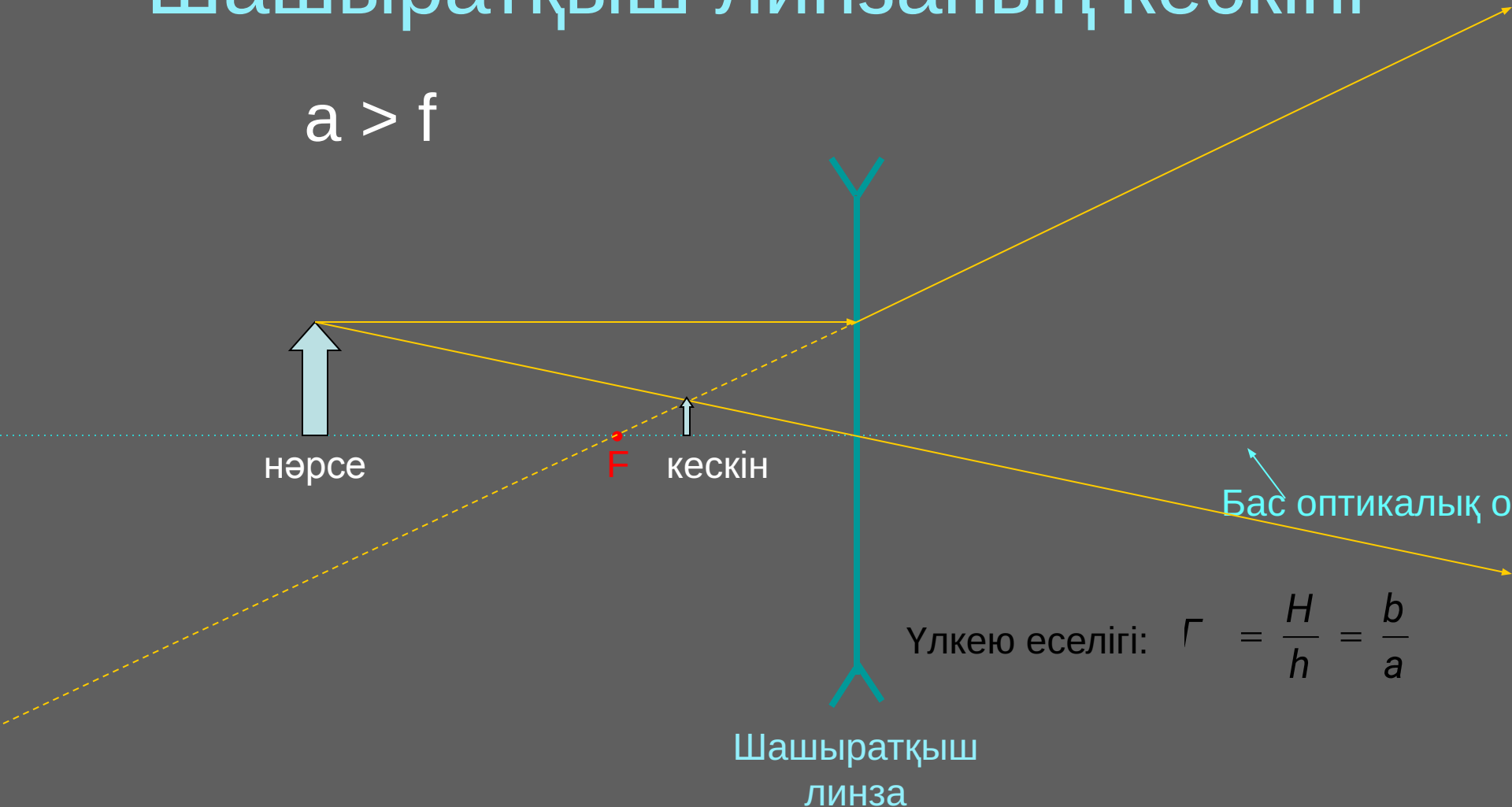
$$a < f$$



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

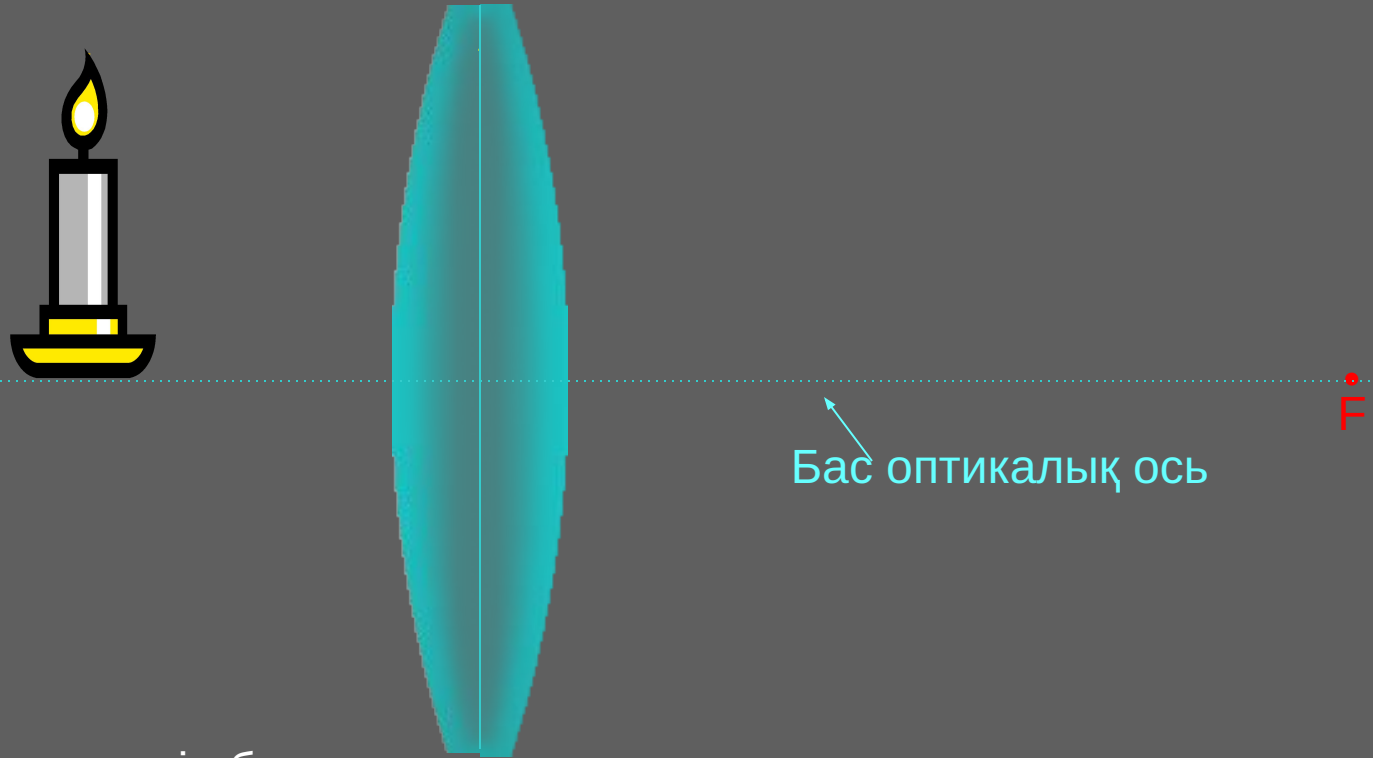
$$a > f$$



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

Жинағыш линзаның кескіні

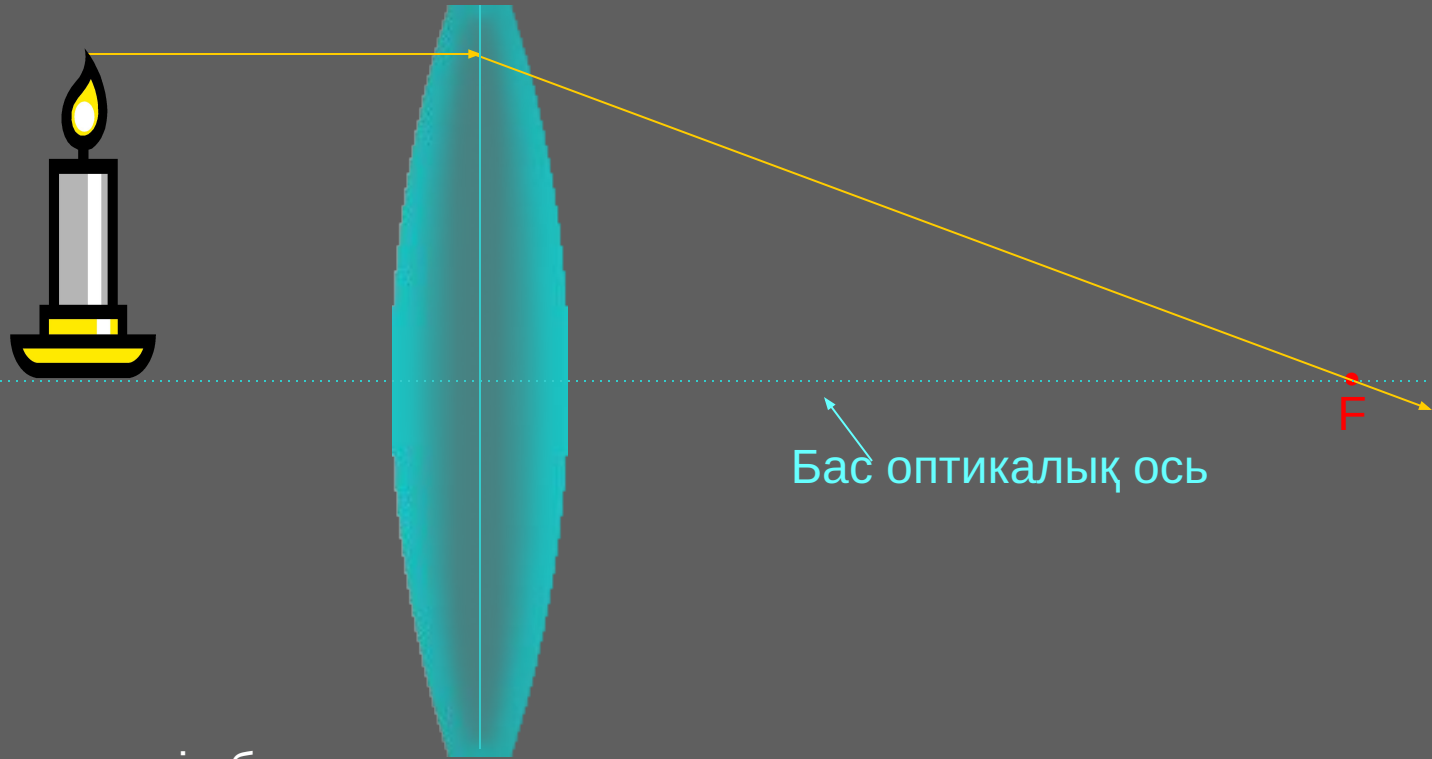
$$a < f$$



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

Жинағыш линзаның кескіні

$$a < f$$

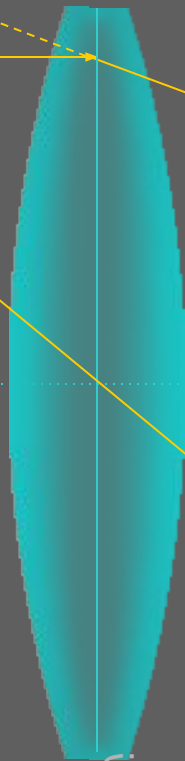
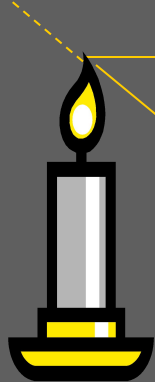


Бас оптикалық ось

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

$$a < f$$

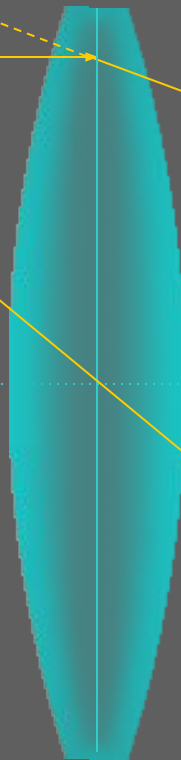
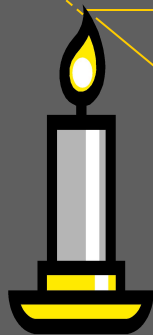
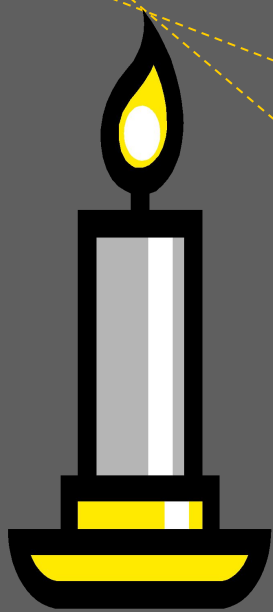


Бас Оптикалық ось

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

$$a < f$$



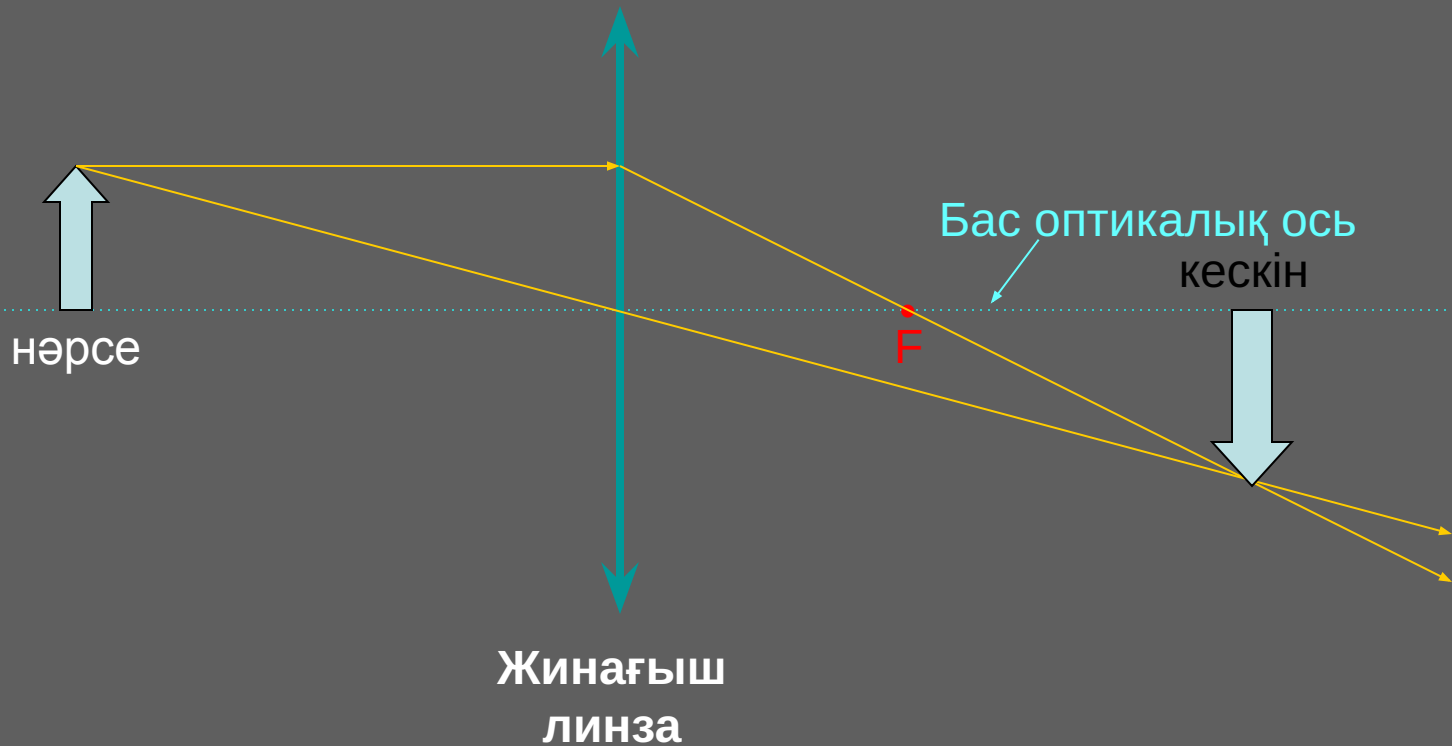
Бас оптикалық ось

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

Кескін: оң, үлкейтілген, жалған кескін (Лупа)

Жинағыш линза кескіні

$$a > f$$



- Кескін: төңкерілген (теріс), үлкейтілген, шын кескін.



Жұқа линзаның теңдеуі

Жұқа линза деп линзаның қалыңдығы d ,
оның қисықтық радиусынан R көп кіші
линзаны айтады.

$$d \ll R$$

d - линза қалыңдығы

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

f = фокус аралығы

a = нәрсе мен линза аралығы

b = линза мен кескін аралығы

Қисықтық радиустары R_1 , R_2 линзаның теңдеуі

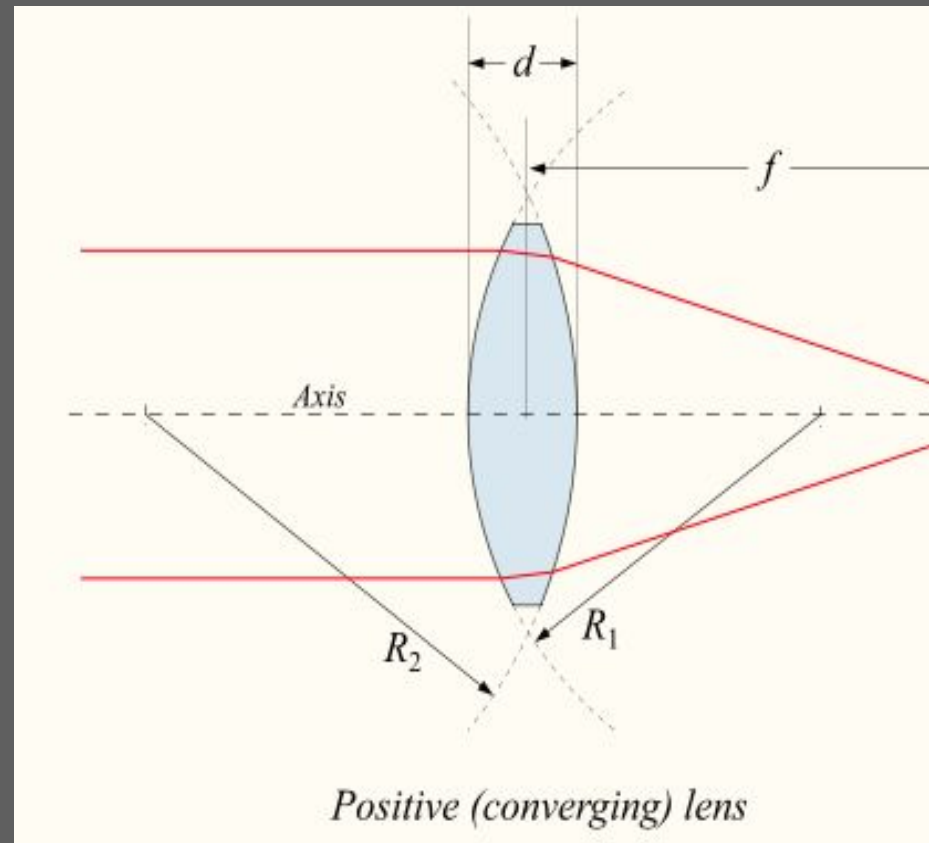
d - линза қалыңдығы

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

f : фокус аралығы

n : сыну көрсеткіші

R_1 , R_2 : линза бетінің
қисықтық радиусы.

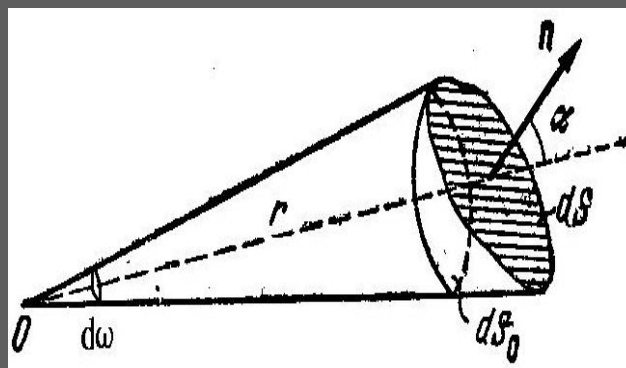
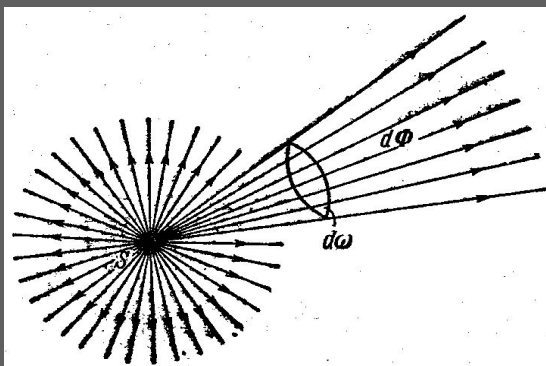


Фотометрлік шамалар және олардың өлшем бірліктері

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.

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

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.

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

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

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

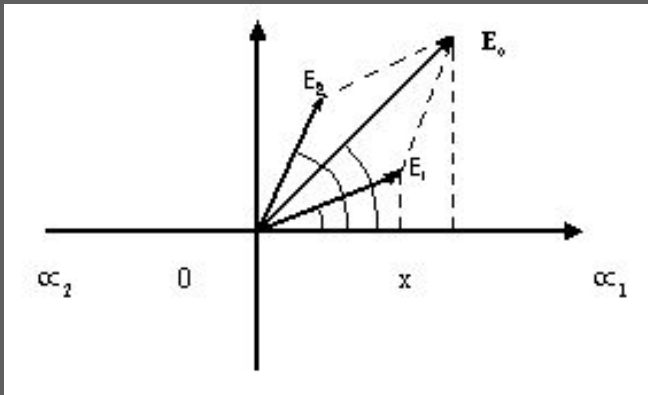
Жарқырау – жарық көзінің сыртқы бетінің бірлік ауданынан шашырап шығатын жарық ағынына тең шама.

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

Жарық толқындарының интерференциясы

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.



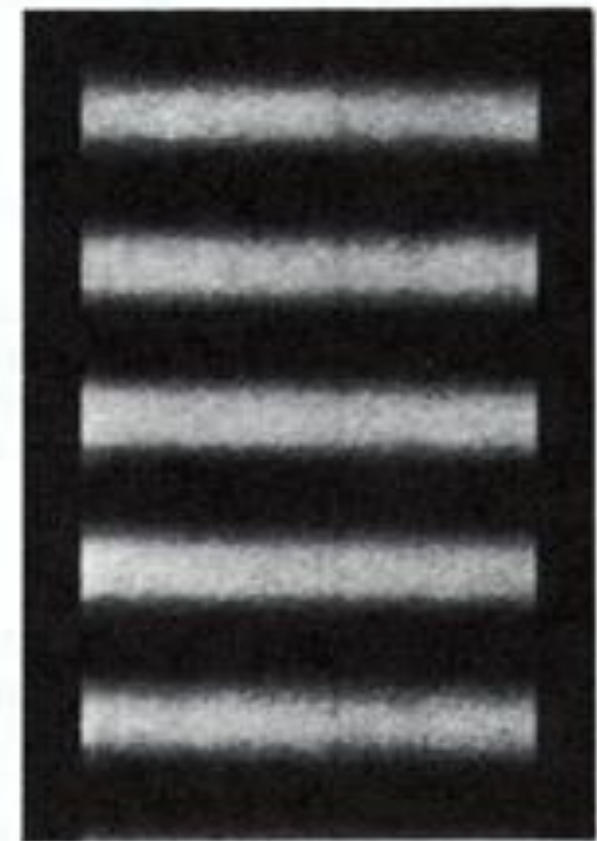
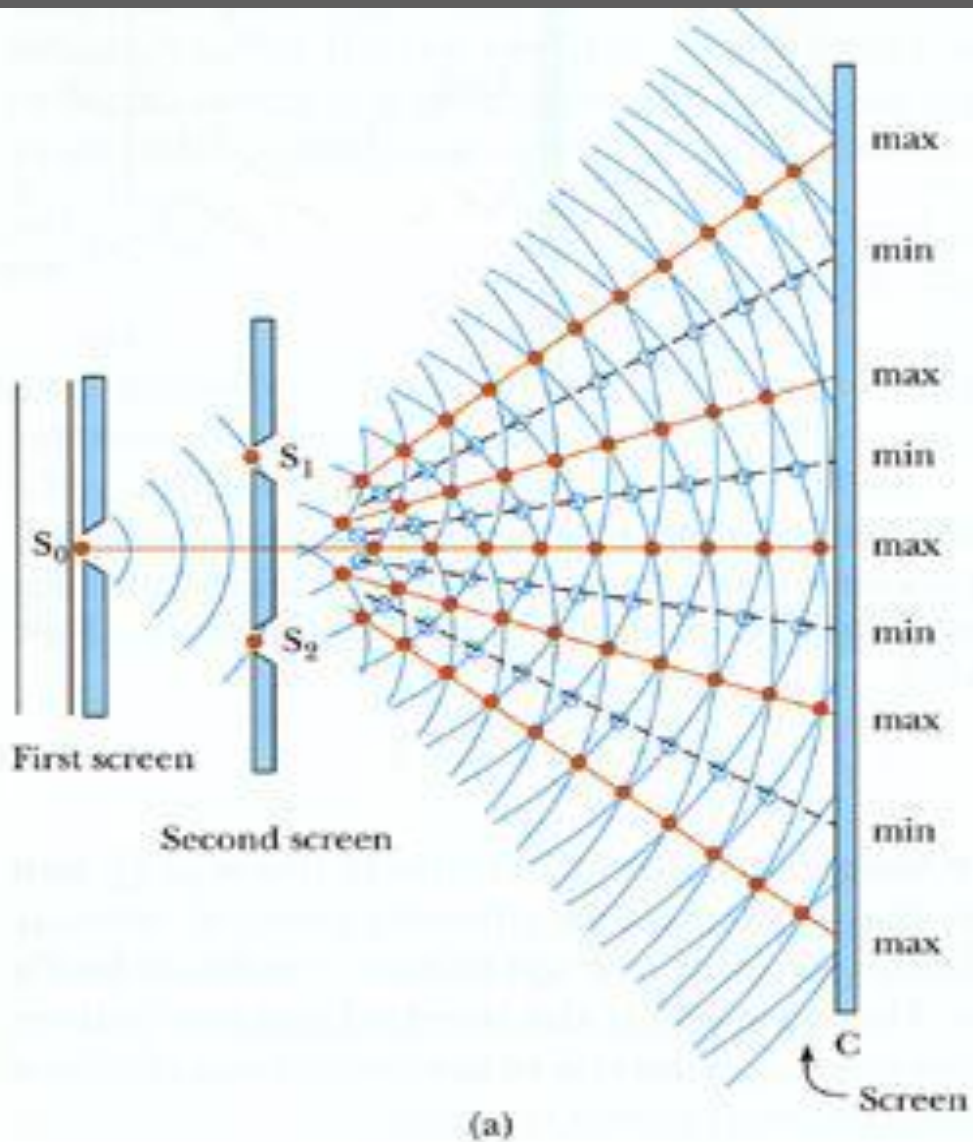
Қортқы кернеулігі : $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

Интенсивтігі : $I = E^2$

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

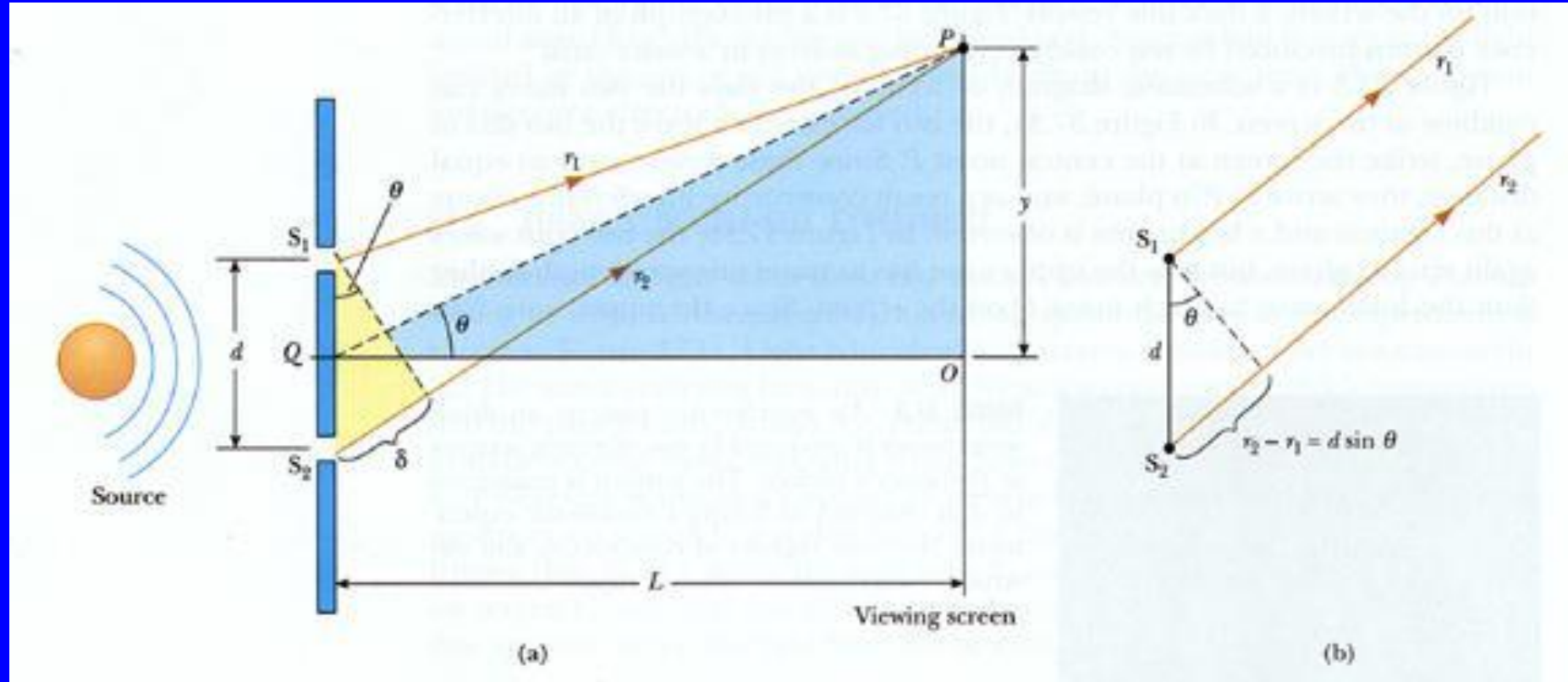
Қортқы интенсивтік $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cdot \langle \cos \sigma \rangle$

Интерференция құбылысының пайда болуы



Юнг интерференциясы

Интерференция шарты : $L \gg y$



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

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

Геометриялық жол
айырымы

S_1 және S_2 жарық көздері мен экран орналасқан ортаның сыну көрсеткіштері n_2, n_1 болса, онда жарық толқындарының оптикалық жол айырымы мынадай болады:

$$\Delta = L_2 - L_1 = l_2 \cdot n_2 - l_1 \cdot n_1$$

Оптикалық жол ұзындығы: $L = l \cdot n$

мұндағы l - геометриялық жол ұзындығы, **n** – **ортаның абсолют сыну көрсеткіші.**

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

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

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

P нүктесіндегі жарықталудың минимум 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

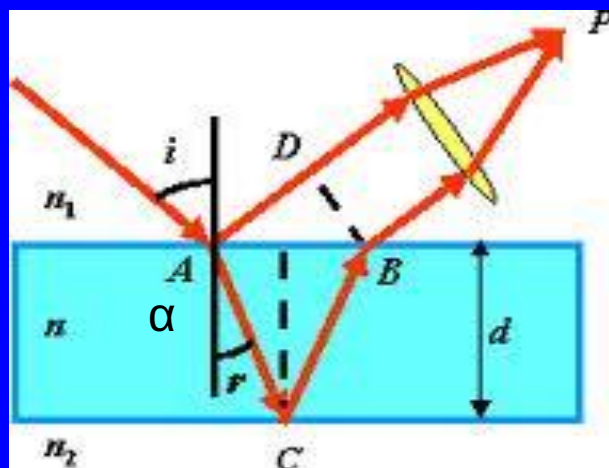
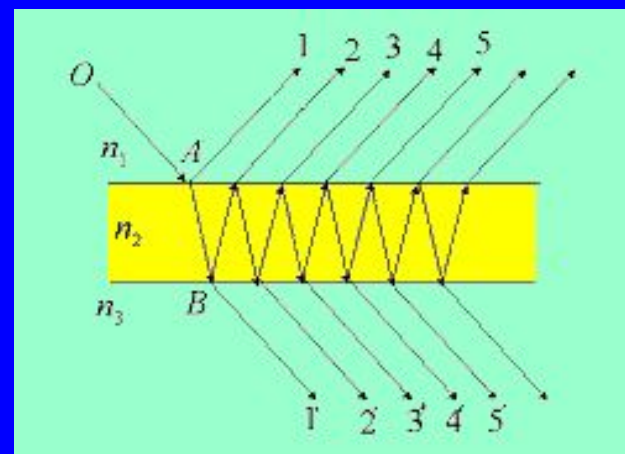
$$\Delta y = \frac{L}{d} \cdot \lambda$$

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 А нүктесінде шағылған және сынған екі сәулеге жіктеледі.



сынған сәуле С нүктесінде шағылып, В 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.

АСВ 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

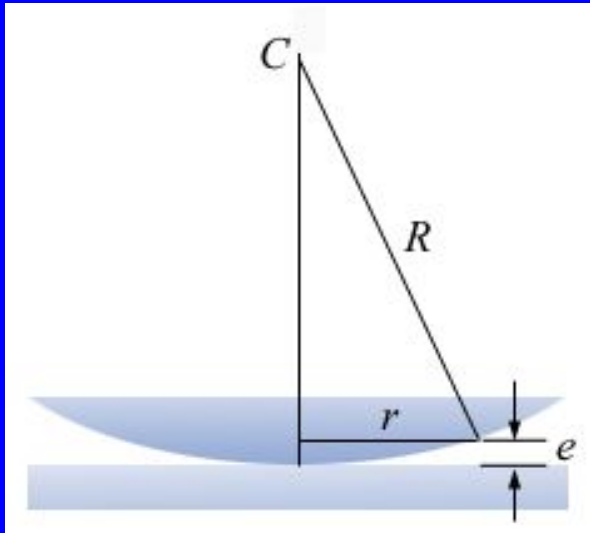
$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \frac{\lambda}{2} = m\lambda_0 = 2m\frac{\lambda}{2}$$

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.

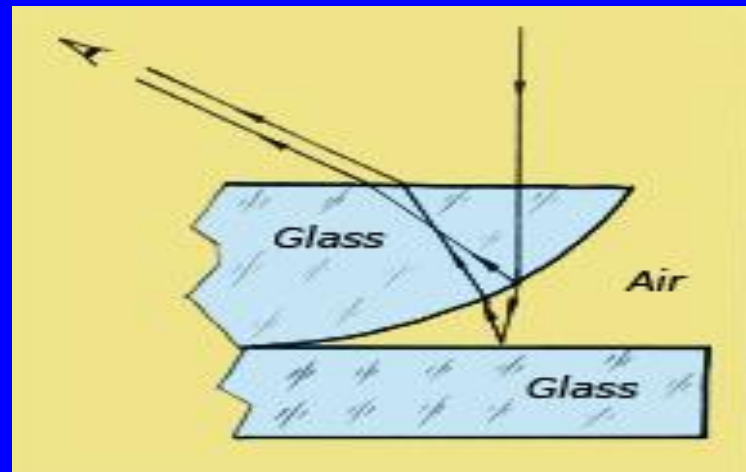
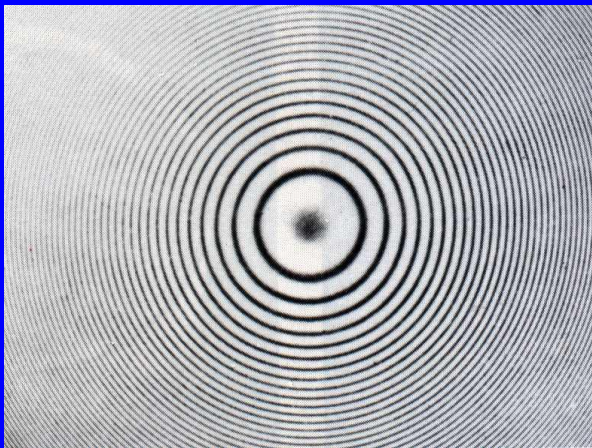
Жұқа пластинкадағы интерференция пластинканың үстіңгі және астыңғы беттерінен шағылып шыққан сәулелердің тоғысуынан пайда болады.

Ньютон сақиналары (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 (сақинаның 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.

ЖАРЫҚ ДИФРАКЦИЯСЫ

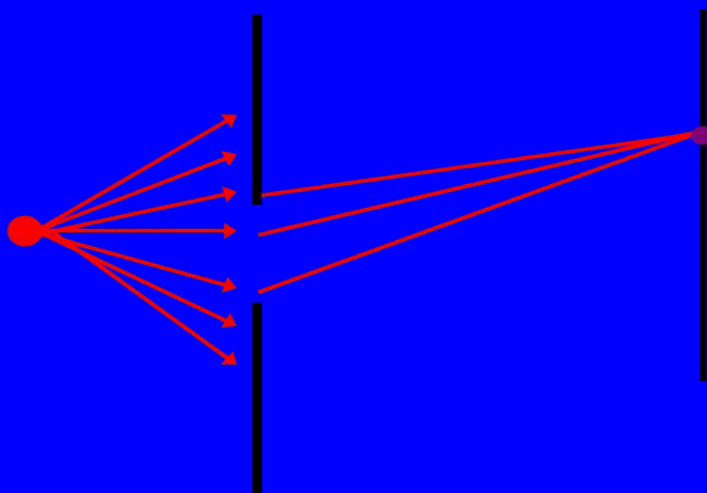
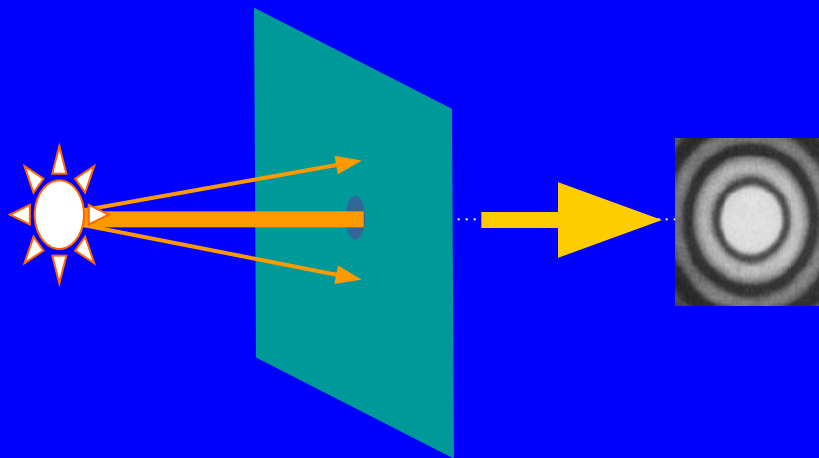
- Дифракция — жарық толқындарының таралу бағытынан ауытқу құбылысы.
- Дифракция — жарық толқындары бөгеттерді айналып өтуі.
- Дифракция — жарық толқындарының геометриялық көлеңке аймағына өтуі.

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

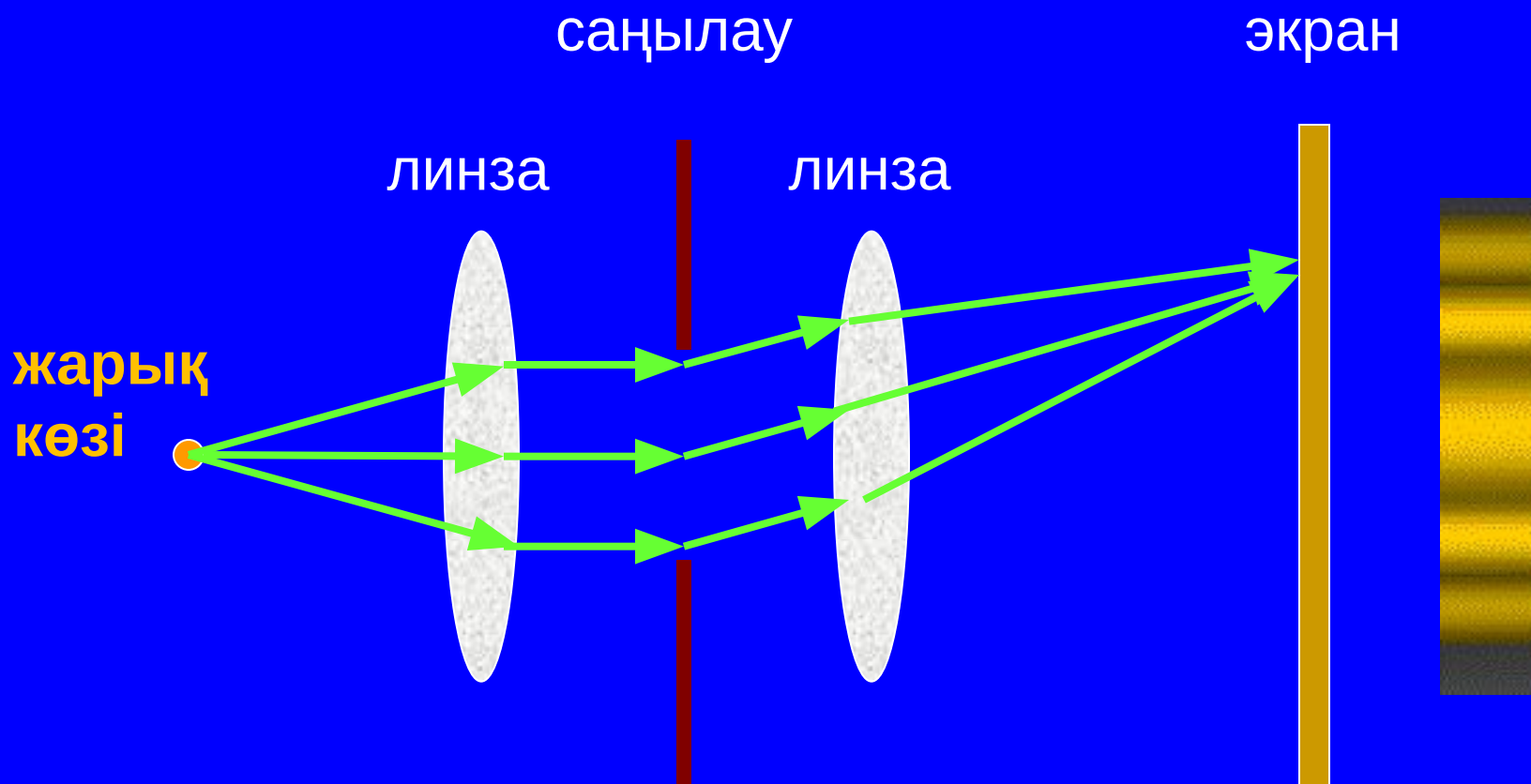
Френель дифракциясы — сфералық жарық толқындарының саңылаудан өтуінен пайда болады.

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

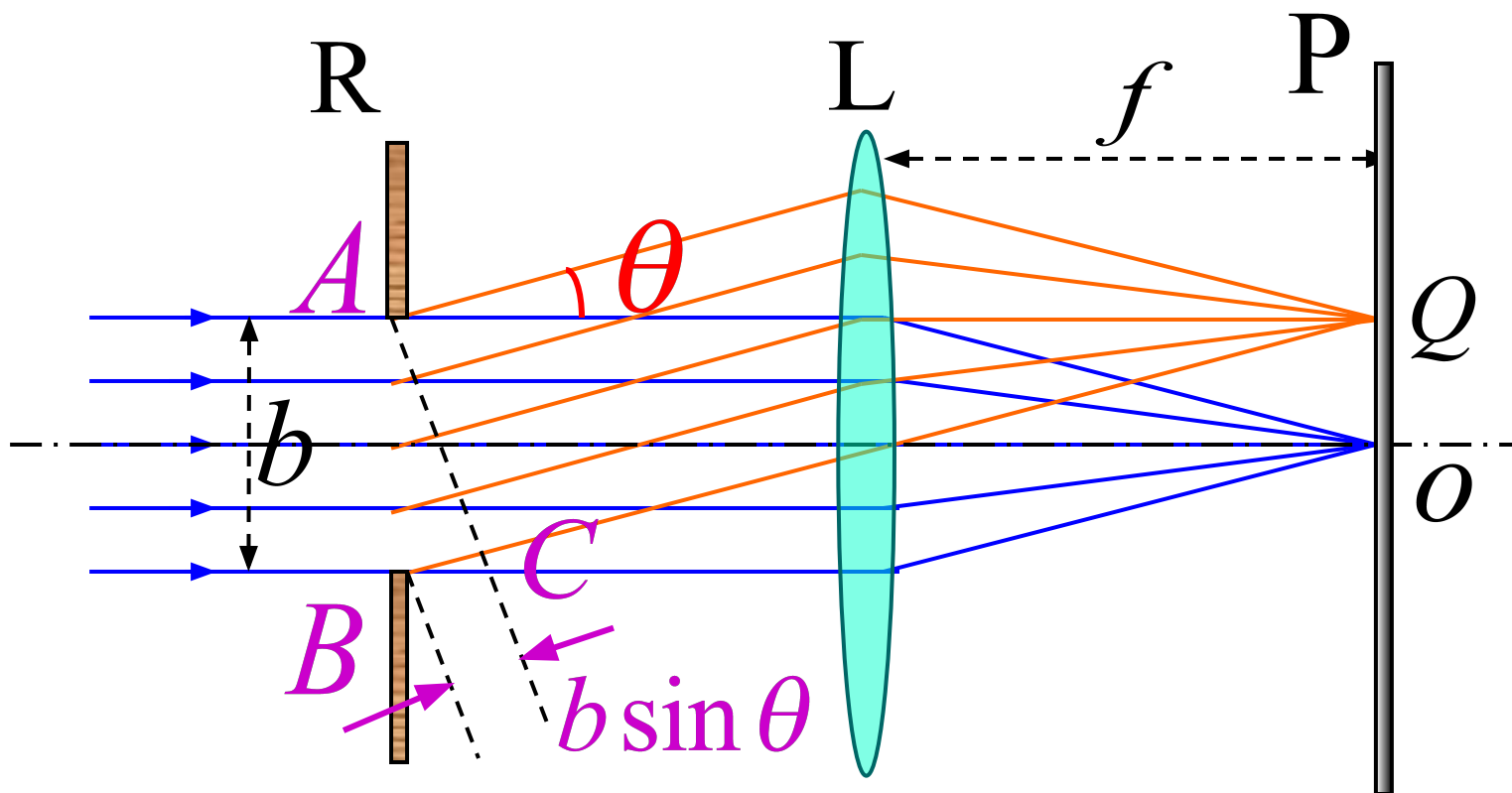
ФРЕНЕЛЬ ДИФРАКЦИЯСЫ



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