

Геометрическая оптика

Геометрическая оптика – это раздел оптики, изучающий законы распространения света в прозрачных средах и его отражения от зеркальных или полупрозрачных поверхностей.

Геометрическая оптика решает задачи при помощи геометрических построений, либо расчетов, использующих законы геометрии.

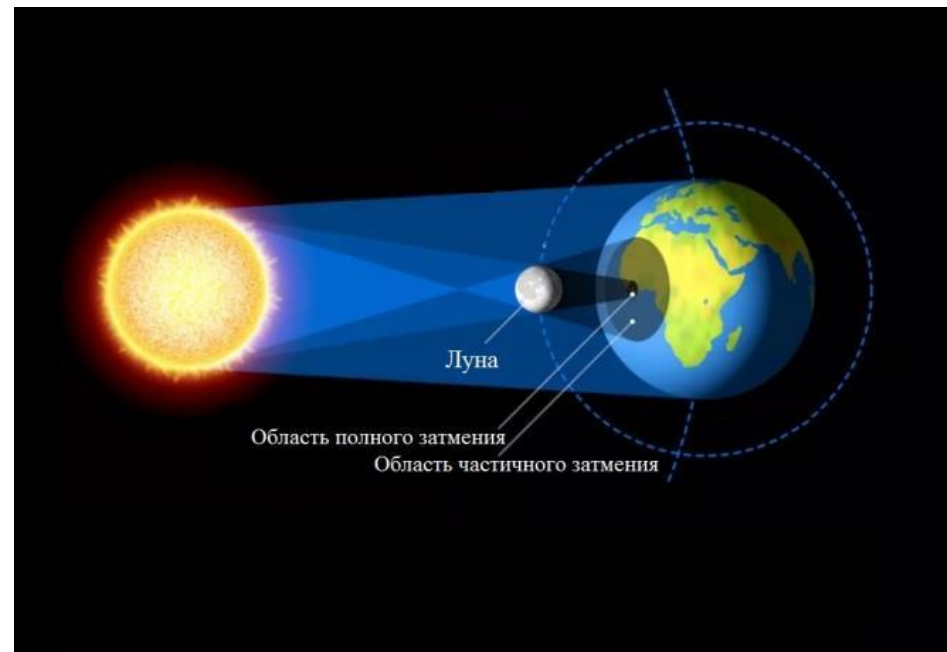
Главное понятие – световой луч, линия, указывающая направление переноса световой энергии.

Закон прямолинейного распространения света

В однородной прозрачной среде свет распространяется прямолинейно.

Принцип Ферма: свет при распространении от одной точки пространства до другой выбирает такой путь, который потребует наименьшее время.

Если скорость света не меняется, то принцип наименьшего времени равносителен принципу наименьшего расстояния.



Примеры решения задач

Задача 1. Человек, рост которого равен h , приближается по прямой со скоростью v_0 к фонарю, висящему на высоте H . Определите 1) скорость, с которой будет уменьшаться размер его тени, и 2) скорость, с которой «бежит» тень от головы человека.

Решение.

$$\Delta A_1 B_1 C_1 \propto \Delta D E B_1$$

$$\frac{H}{h} = \frac{D B_1}{A_1 B_1} \Rightarrow A_1 B_1 = D B_1 \frac{h}{H}$$

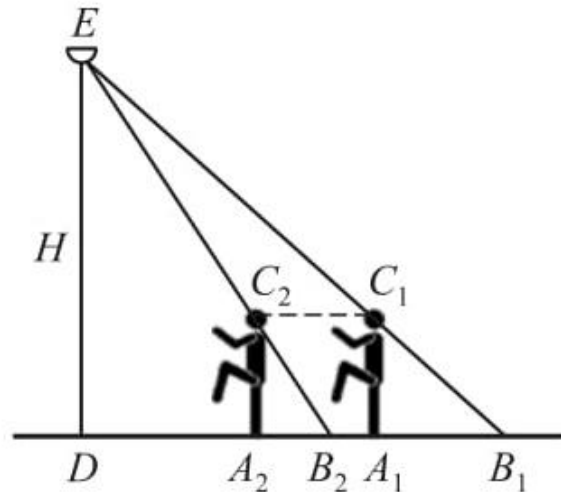
$$\Delta A_2 B_2 C_2 \propto \Delta D E B_2$$

$$\frac{H}{h} = \frac{D B_2}{A_2 B_2} \Rightarrow A_2 B_2 = D B_2 \frac{h}{H}$$

$$D B_1 - D B_2 = v_r \Delta t$$

$$A_1 B_1 - A_2 B_2 = \frac{h}{H} v_r \Delta t = v \Delta t$$

$$v_r = v_0 \frac{H}{H-h} \frac{h}{H} = v_0 \frac{h}{H-h}$$



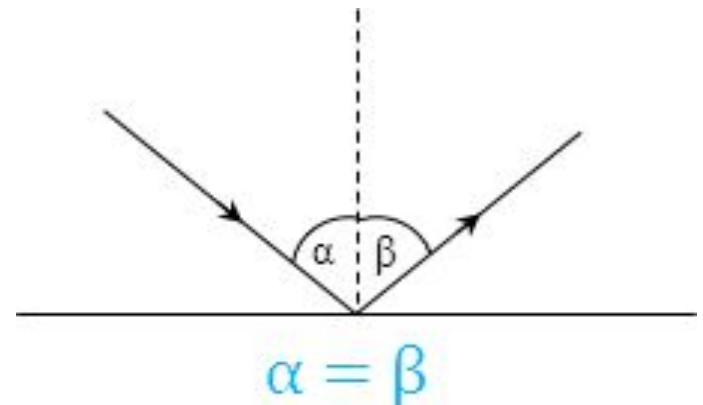
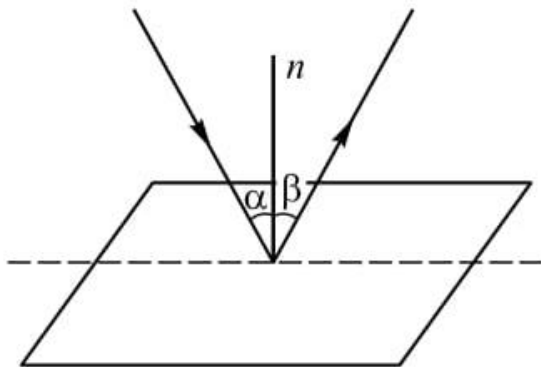
$$\Delta C_1 C_2 E \propto \Delta B_1 B_2 E.$$

$$\frac{B_1 B_2}{C_1 C_2} = \frac{v \Delta t}{v_0 \Delta t} = \frac{H}{H-h} \Rightarrow v_r = v_0 \frac{H}{H-h}$$

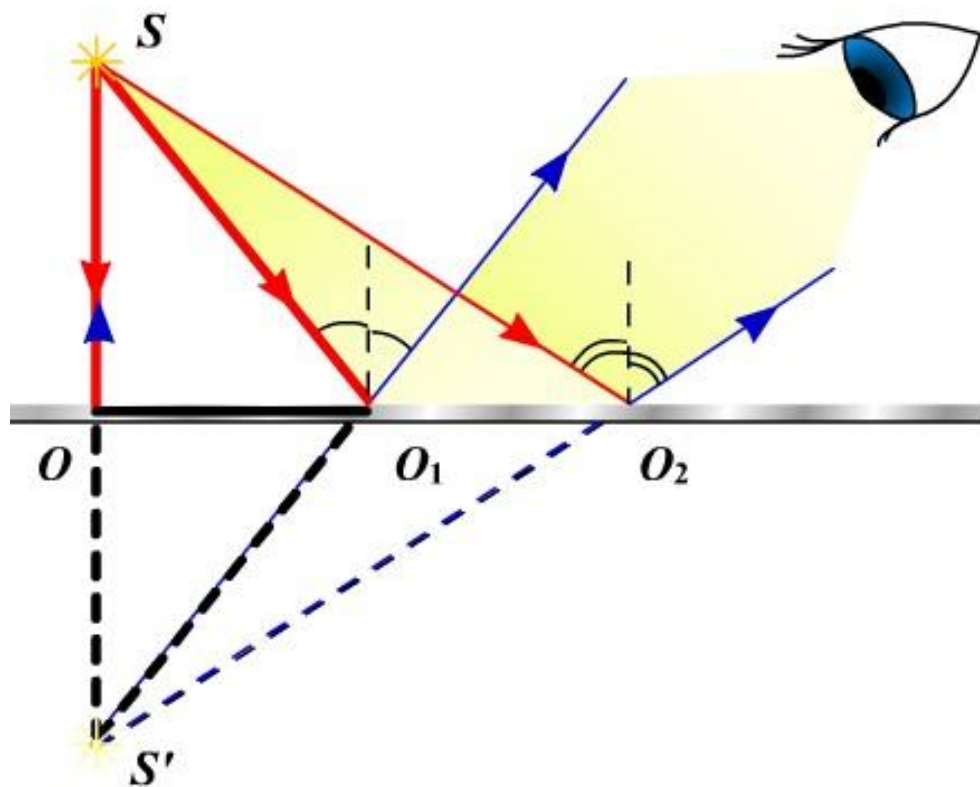
$$(A_1 B_1 - A_2 B_2) = v_r \Delta t$$

Законы отражения света

1. Падающий и отраженный лучи, а также нормаль к отражающей поверхности, восстановленная в точке падения, лежат в одной плоскости.
2. Угол падения α равен углу отражения β , где α – угол между падающим лучом и нормалью, β – угол между отраженным лучом и нормалью. Используя эти законы, мы определяем направления лучей, отраженных от поверхности любой формы.



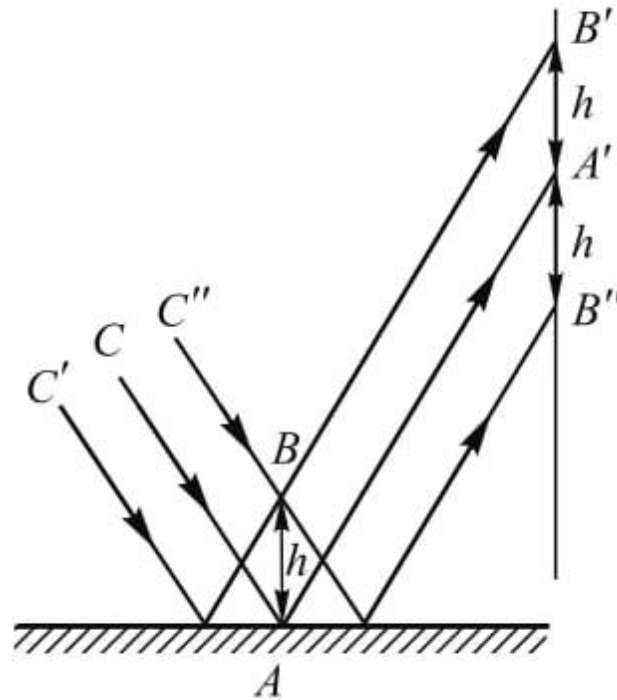
Построение изображения в плоском зеркале



Задача 2. На предмет AB высотой h , стоящий на плоском зеркале, падает параллельный пучок лучей. Определите размер геометрической тени на экране.

Решение.

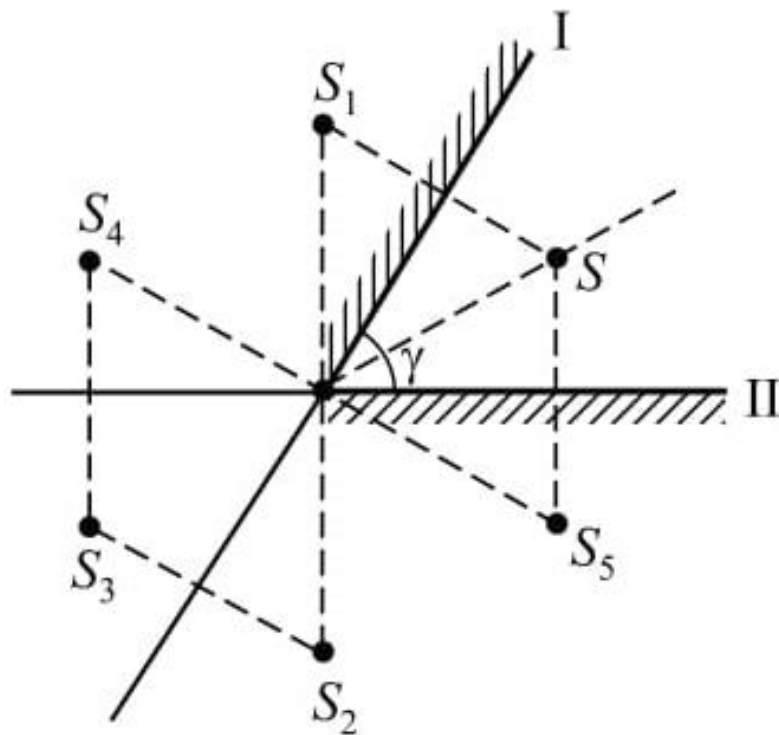
$$h' = B'B'' = 2h$$



Задача 3. Найдите число изображений N точечного источника света S , полученных в двух плоских зеркалах, образующих друг с другом угол $\gamma = 60^\circ$. Источник находится на биссектрисе угла.

Решение.

$$N = \frac{2\pi}{\gamma} - 1$$

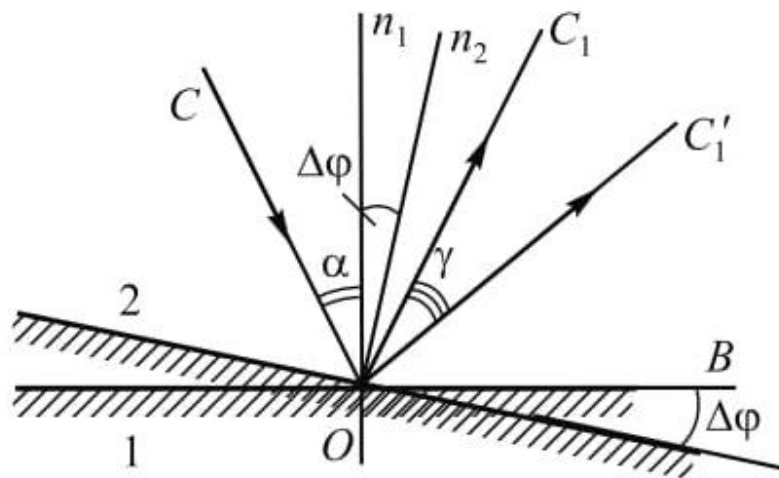


Задача 4. Зеркало, на которое падает луч I , поворачивается на оси O с угловой скоростью ω_0 . Определите угловую скорость поворота луча, отраженного от зеркала.

Решение.

$$\Delta\gamma = \alpha + \Delta\varphi - (\alpha - \Delta\varphi) = 2\Delta\varphi$$

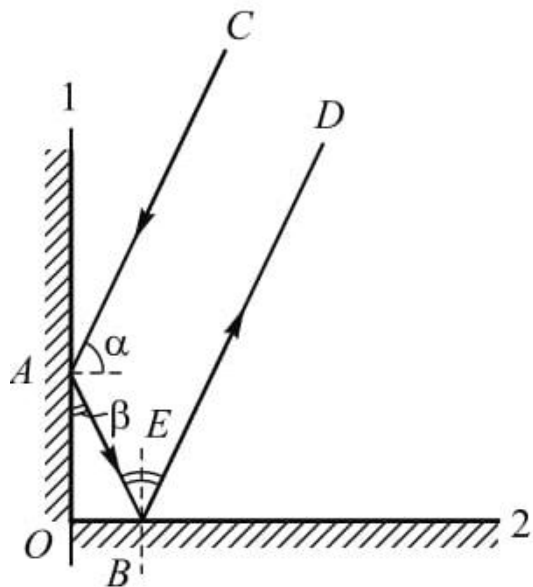
$$\omega = \frac{\Delta\gamma}{\Delta t} = 2 \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = 2\omega_0$$



Задача 5. Угол между двумя зеркалами составляет. Докажите, что любой луч, попавший на одно из зеркал после двойного отражения будет параллелен падающему.

Решение.

$$\beta = \pi/2 - \alpha$$



Катафоты – световозвращатели.



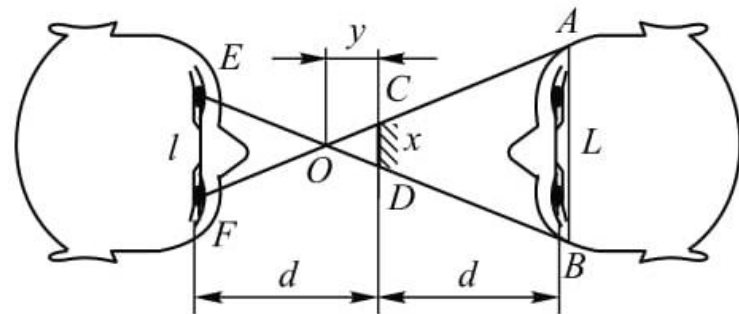
Задача 6. Какой минимальной ширины должно быть карманное зеркальце, чтобы человек мог увидеть полностью свое лицо?
Расстояние между глазами l , ширина лица L .

Решение.

$$\frac{l}{d-y} = \frac{x}{y}; \quad \frac{L}{d+y} = \frac{x}{y}$$

$$y = \frac{d(L+l)}{L-l}$$

$$x = \frac{L-l}{2}$$



Законы преломления света

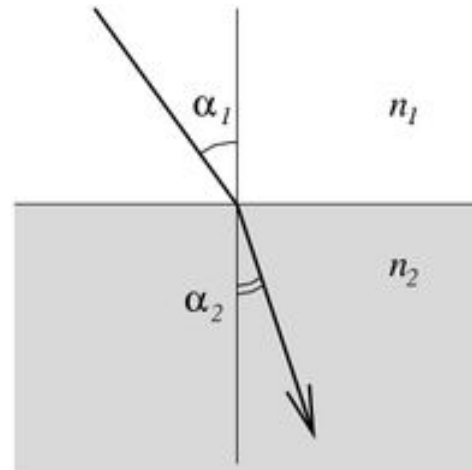
1. Падающий и преломленный лучи, а также нормаль к границе раздела сред в точке падения лежат в одной плоскости.

2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления для данных двух сред есть величина постоянная и равна отношению показателю преломления второй среды относительно первой: $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n$.

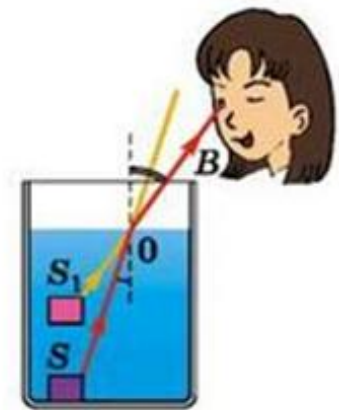
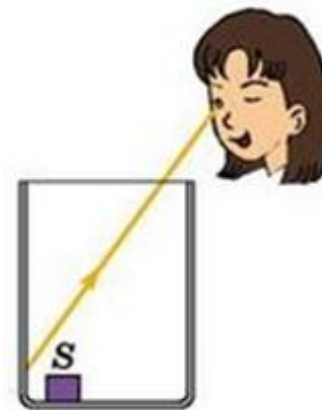
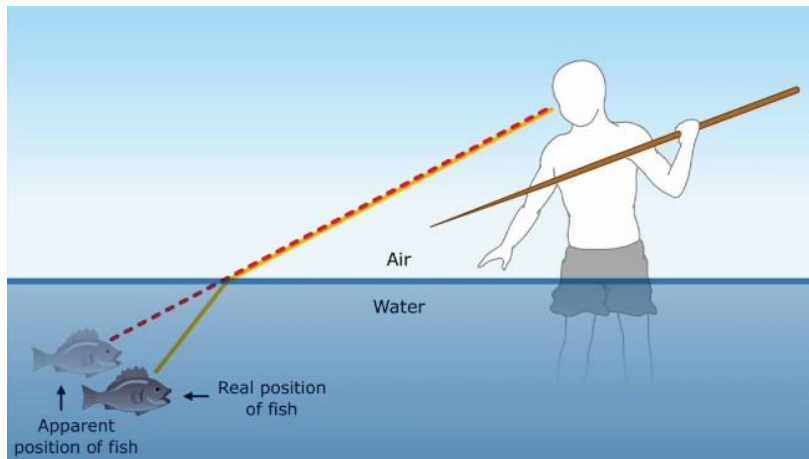
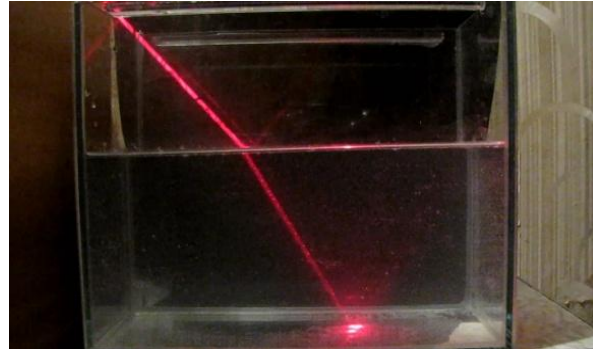
$$n = \frac{v_1}{v_2}$$

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \quad n_2 = \frac{c}{v_2}$$

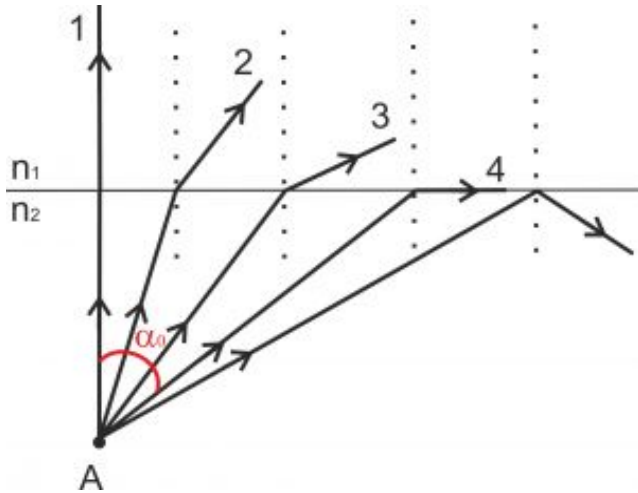
$$n = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$



Законы преломления света



Явление полного внутреннего отражения

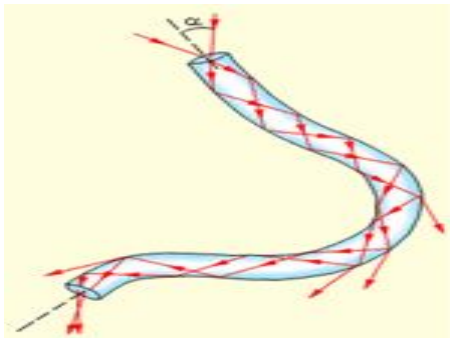


$$n_1 > n_2 \Rightarrow \alpha <$$

$$\frac{\sin \alpha_{\text{пр}}}{\sin 90^\circ} = \frac{\sin \alpha_{\text{пр}}}{1} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\sin \alpha_{\text{пр}} = n_1 / n_2$$

Световоды



Задача 7. Определите линейное смещение луча при прохождении его через плоскопараллельную стеклянную пластинку с показателем преломления $n_2 = 1,7$, толщиной $d = 4$ см. Угол падения луча $\alpha = 30^\circ$. Показатель преломления воздуха равен $n_1 = 1$.

Решение.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_1}{n_2}$$

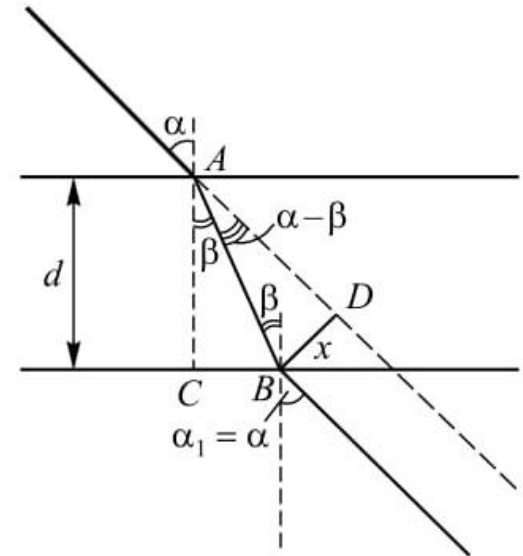
$$\Delta ABC \text{ и } \Delta ABD \quad x = AB \sin(\alpha - \beta)$$

$$AB = \frac{AC}{\cos \beta} = \frac{d}{\cos \alpha}$$

$$x = \frac{d}{\cos \beta} \sin(\alpha - \beta) = \frac{d (\sin \alpha \cos \beta - \sin \beta \cos \alpha)}{\cos \beta}$$

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n} \quad \cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{n}$$

$$x = d \sin \alpha \left(1 - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) = 0,93 \text{ c}$$



Задача 8. Под каким углом α на призму должен падать луч, чтобы в призме с углом при вершине $\gamma = 60^\circ$ его отклонение было минимально? Определите этот угол для стеклянной призмы с показателем преломления $n = 1,41$.

Решение.

$$\triangle AEB \quad \delta = 2(\alpha - \beta)$$

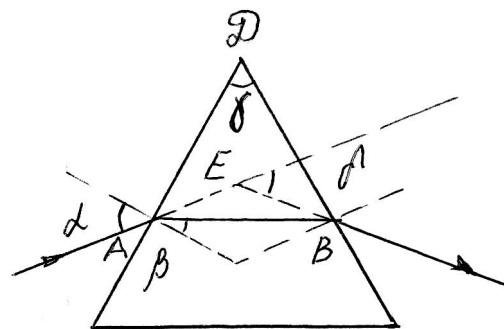
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$$

$$\beta = \pi / 2 - \angle DAB =$$

$$\pi / 2 - (\pi - \gamma) / 2 = \gamma / 2$$

$$\sin \alpha = n \sin (\gamma / 2)$$

$$\alpha = \arcsin \left(n \sin \frac{\gamma}{2} \right) = 44,8^\circ$$



Задача 9. На грань призмы при вершине γ под малым углом α падает луч. Докажите, что отклонение луча $\delta = (n - 1)\gamma$, где n – показатель преломления призмы.

Решение.

δ – внешний угол треугольника ABC

$$\delta = \angle BAC + \angle BCA,$$

$$\angle BAC = \alpha - \beta, \quad \angle BCA = \alpha_1 - \beta_1$$

$$\alpha/\beta \approx n, \quad \alpha_1/\beta_1 \approx n$$

четырехугольника $AOCD$ $\angle ADC = \pi - \gamma$

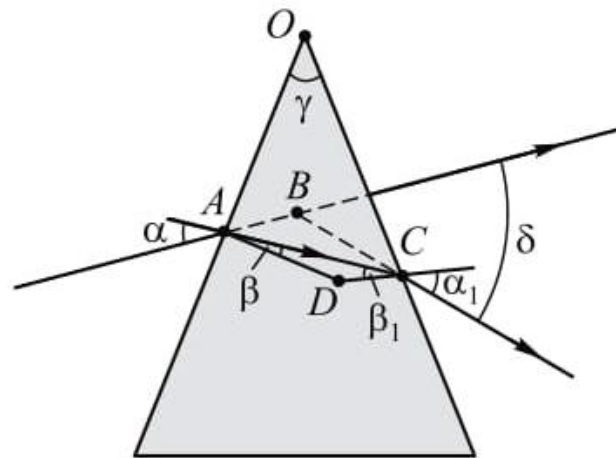
Из треугольника ACD получим:

$$\angle ADC = \pi - \beta - \beta_1,$$

$$\beta_1 = \gamma - \beta$$

$$\delta = (n - 1)\beta + (n - 1)\beta_1$$

$$\delta = (n - 1)\beta + (n - 1)\gamma - (n - 1)\beta = (n - 1)\gamma$$



Задача 10. Кажущаяся глубина водоема $h = 3$ м. Определите истинную глубину водоема h_0 . Показатель преломления воды $n = 1,33$.

Решение.

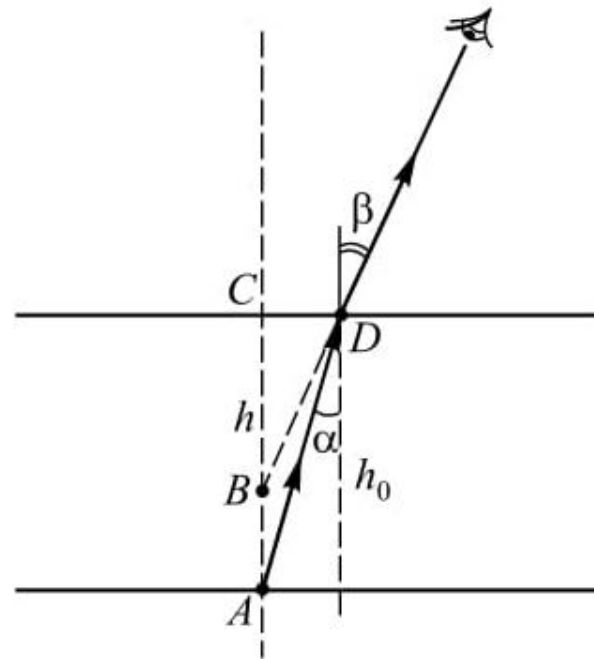
$\triangle BCD$ и \triangle

$$CD = h \cdot \operatorname{tg}\beta = h_0 \operatorname{tg}\alpha$$

$$h_0 = \frac{h \cdot \operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha}$$

$$\frac{\sin 1}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\beta} \frac{1}{n} = \frac{1}{n}$$

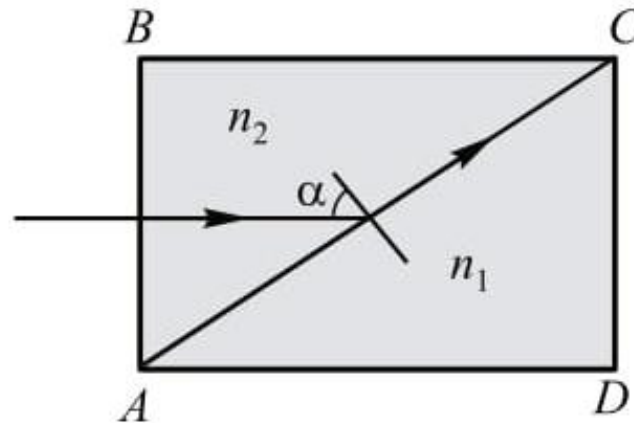
$$h_0 = nh, h_0 \approx 4\text{ м}$$



Задача 11. Плоскопараллельная пластинка составлена из двух треугольных призм с разными показателями преломления, причем $n_2 < n_1$. Свет падает на боковую грань перпендикулярно ребру АВ. При каком минимальном угле α свет не пройдет через границу раздела АС?

Решение.

$$\sin \alpha_{\text{пр}} = n_1 / n_2$$

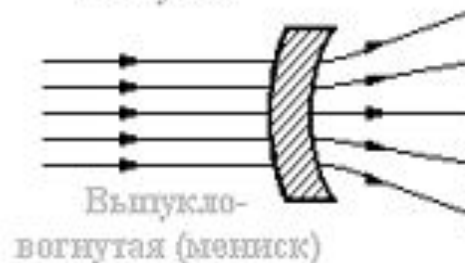
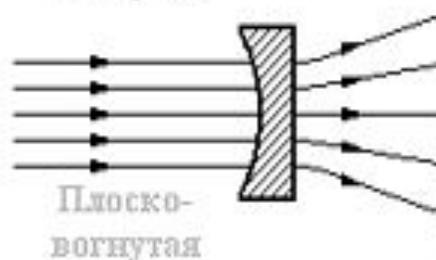
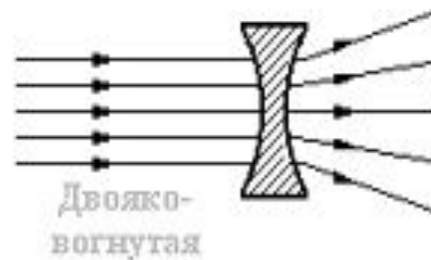
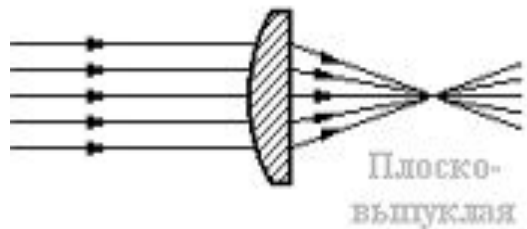
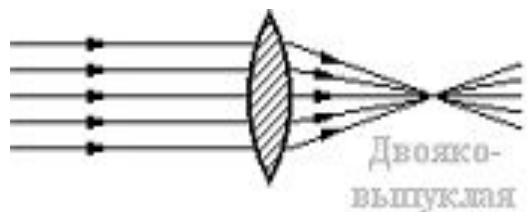


Линзы

Собирающие и рассеивающие линзы

$D = 1/F$ – оптическая сила линзы

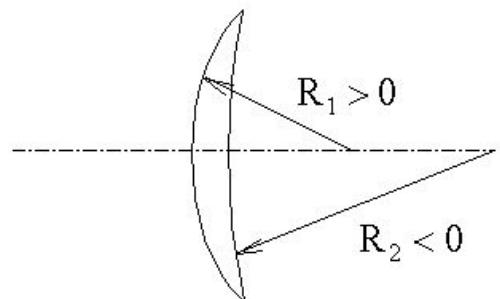
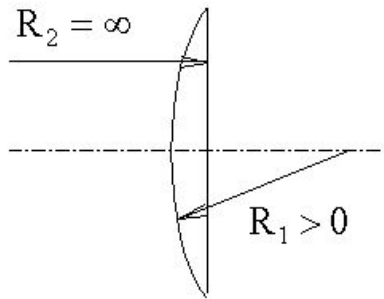
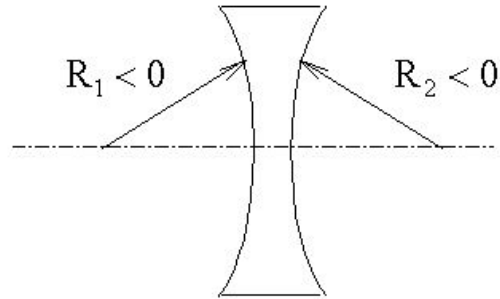
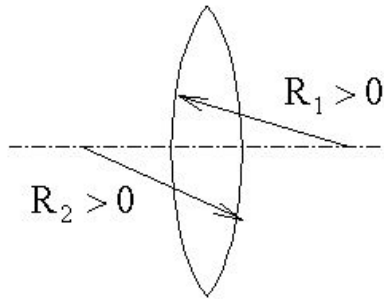
Единица оптической силы – 1 дптр – это оптическая сила линзы с фокусным расстоянием, равным 1 м.



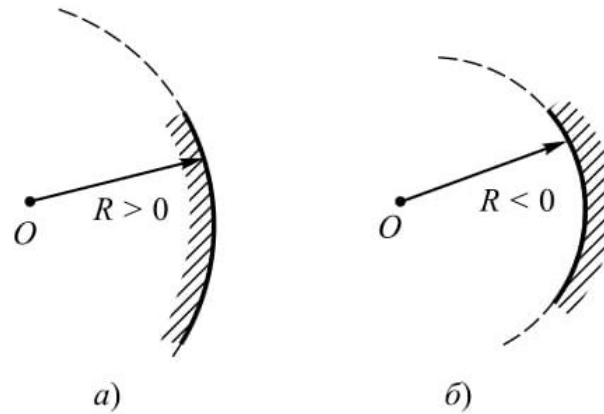
Формула для оптической силы линзы

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

$$D = \pm \frac{1}{F}$$



Для выпуклой линзы R_1 и $R_2 > 0$, $n > 1$, $D > 0$ – линза собирающая.



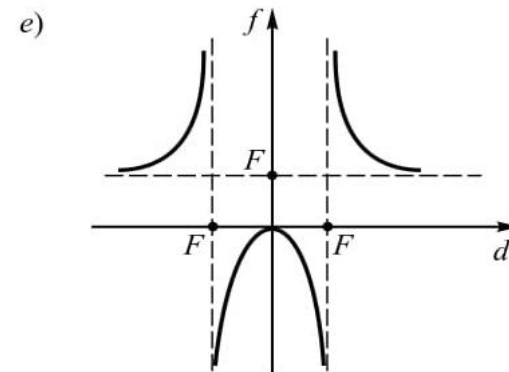
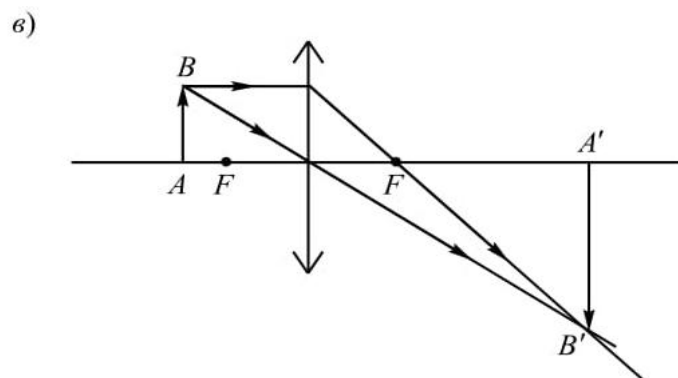
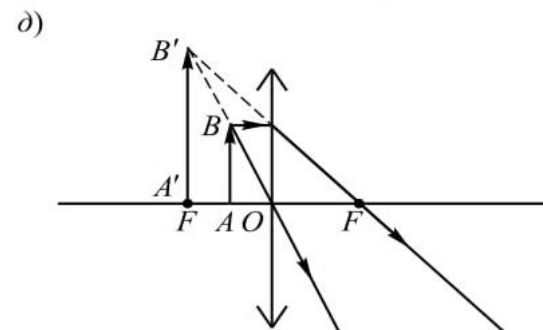
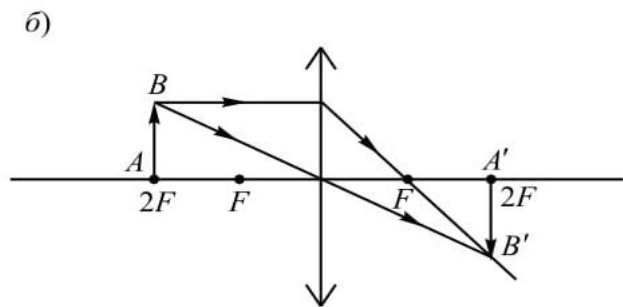
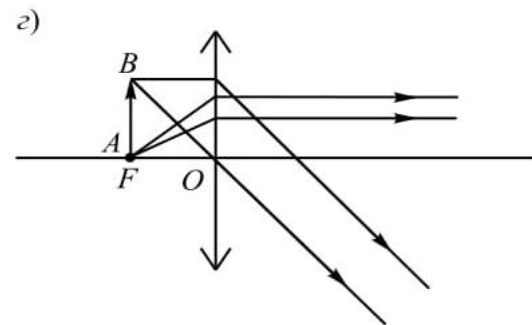
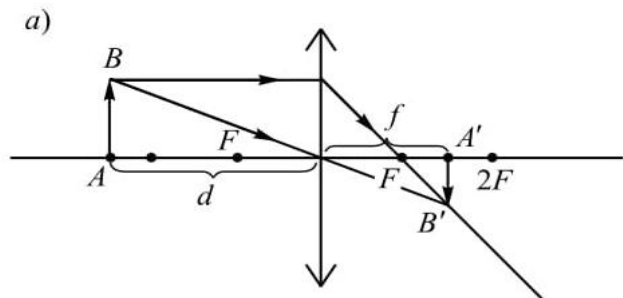
$n < 1$, $D < 0$ – линза рассеивающая,

$n = n_{\text{л}}/n_{\text{ср}}$ – отношение показателей преломления линзы и среды.

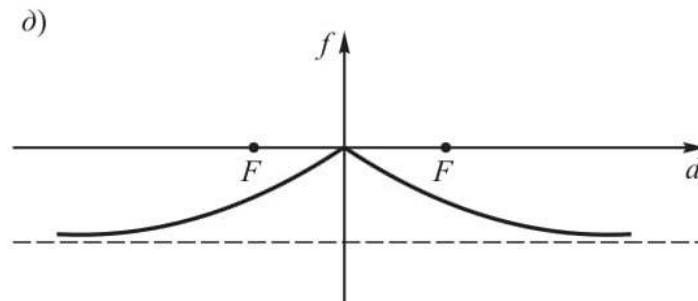
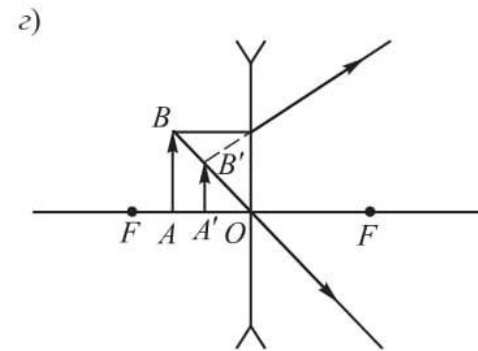
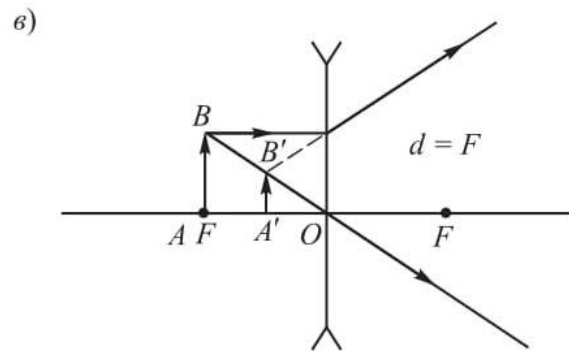
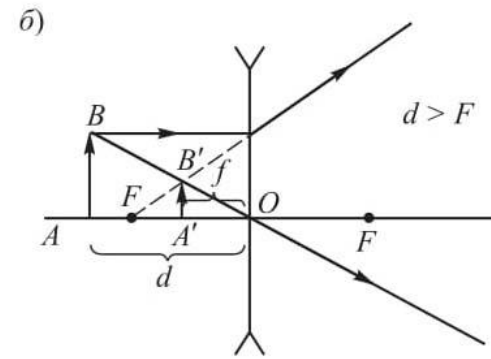
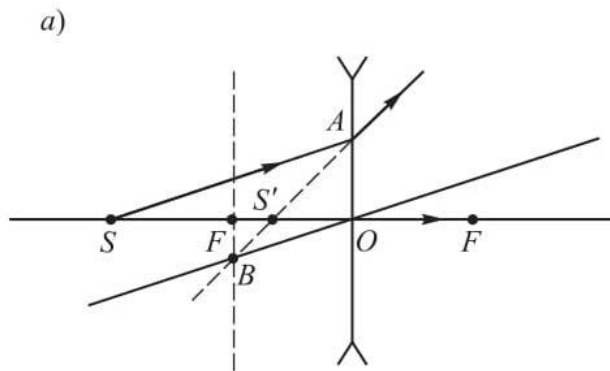
Для двояковогнутой линзы R_1 и $R_2 < 0$, $n > 1$, $D < 0$ линза рассеивающая,

$n < 1$, то $D > 0$ – линза собирающая.

Построение изображений в собирающей линзе



Построение изображений в рассеивающей линзе



Вывод формулы линзы

$$\triangle ABO \sim \triangle A'B'O$$

$$\Gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{f}{d}$$

$$\triangle OCF \sim \triangle A'B'F \quad OC = AB$$

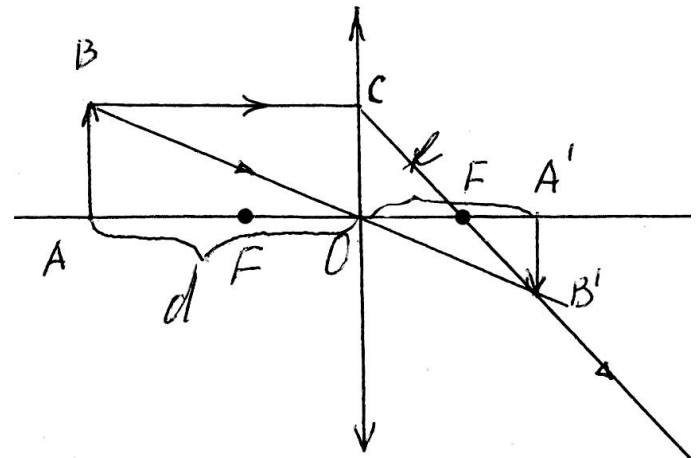
$$\Gamma = \frac{A'B'}{OC} = \frac{f - F}{F}$$

$$\frac{f}{d} = \frac{f - F}{F}$$

$$fF = fd - dF$$

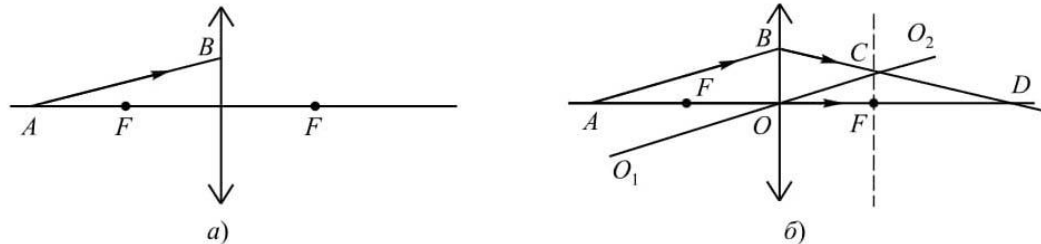
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

$$\pm \frac{1}{F} = \pm \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f}$$

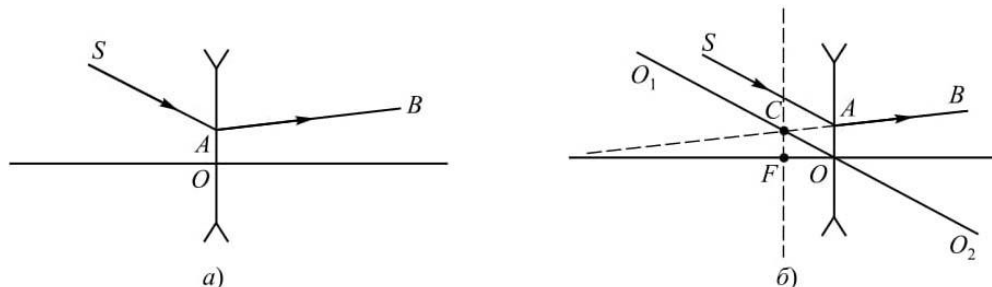


Построение изображений в собирающей и рассеивающей линзах

Пример 1. Найдите ход луча AB после преломления в собирающей линзе.



Пример 2. Известен ход луча SA после его преломления в рассеивающей линзе. Найдите с помощью геометрического построения положение главных фокусов линзы.



Задача 13. На каком расстоянии от рассеивающей линзы с оптической силой $D = -4$ дптр нужно поместить предмет, чтобы его мнимое изображение получилось в 4 раза меньше самого предмета.

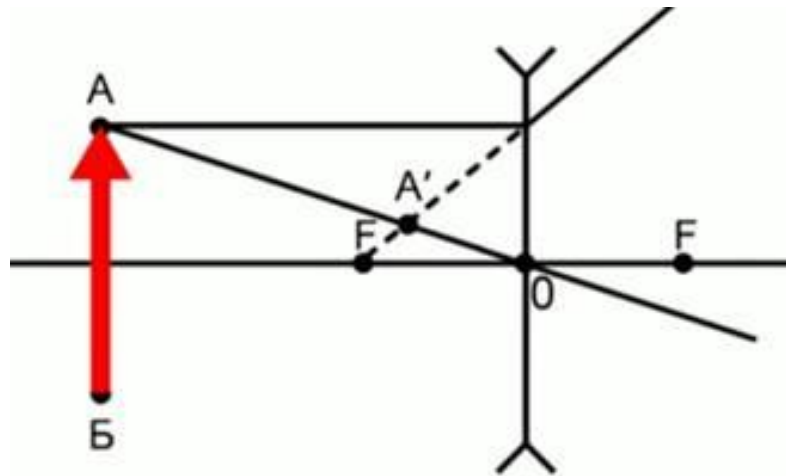
Решение.

$$\Gamma = \frac{1}{4} = \frac{f}{d}$$

$$f = \frac{d}{4}$$

$$D = \frac{1}{d} - \frac{1}{f} = -\frac{3}{d}$$

$$d = 0,75$$



Задача 14. Фокусное расстояние собирающей линзы $F = 30$ см, расстояние предмета от фокуса $l = 10$ см. Линейные размеры предмета $h = 5$ см. Определите размеры изображения H .

Решение.

Действительное изображение

$$d_1 = F + l$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F + l} + \frac{1}{f_1}$$

$$f_1 = \frac{F(F + l)}{l}$$

$$\Gamma_1 = \frac{H_1}{h} = \frac{f_1}{d_1}, \quad H_1 = \frac{f_1 h}{d_1} = \frac{F(F + l)h}{l(F + l)} =$$

$$\frac{Fh}{l} = 0,15$$

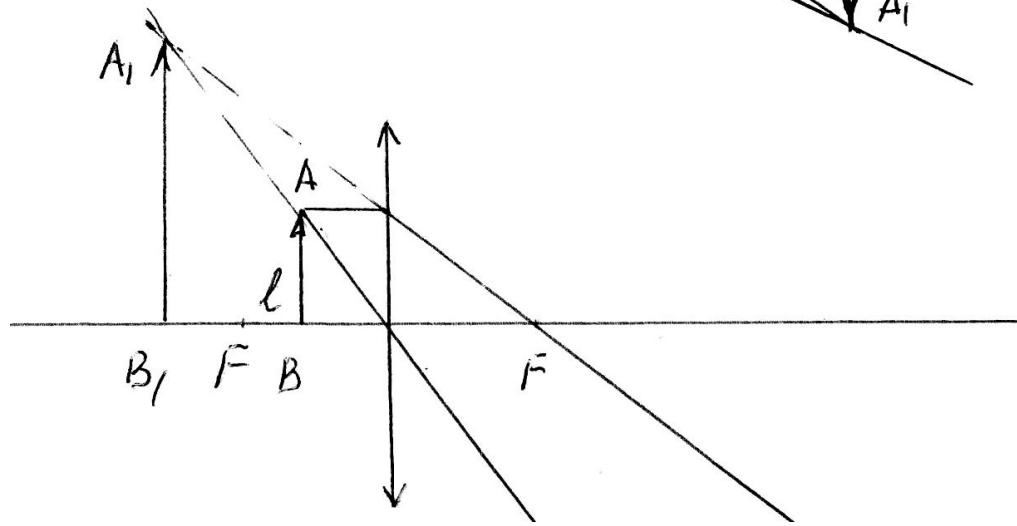
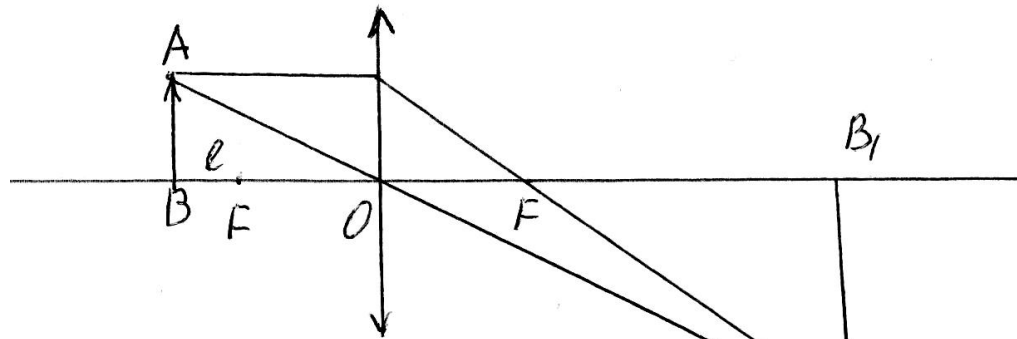
Мнимое изображение

$$d_2 = F - l$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_2} - \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F - l} - \frac{1}{f_2}$$

$$H_2 = \frac{Fh}{l}$$

$$H = \frac{0,3 \cdot 0,05}{0,1} \text{ м} = 0,15 \text{ м}$$



Задача 15. Расстояние между предметом и его изображением $L = 72$ см. Увеличение линзы равно $\Gamma = 3$. Найдите фокусное расстояние линзы.

Решение.

Изображение действительное

$$L = d_1 + f_1$$

$$0,72 = d_1 + f_1$$

$$3 = \frac{f_1}{d_1} \quad d_1 = 0,18 \quad , \quad 0,54 \quad , \quad \text{м}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1}$$

$$F = \frac{d_1 f_1}{d_1 + f_1} = 0,18 \text{ м}$$

Изображение предмета мнимое

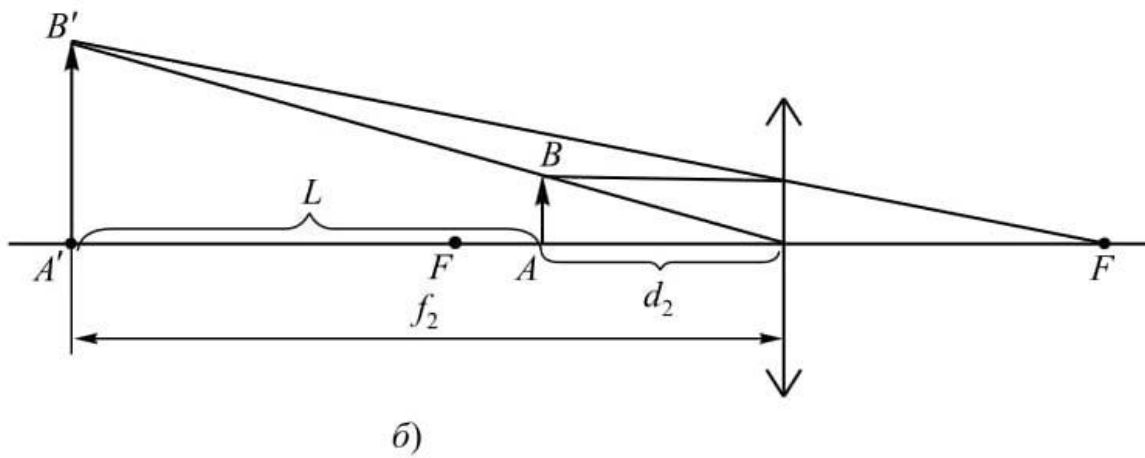
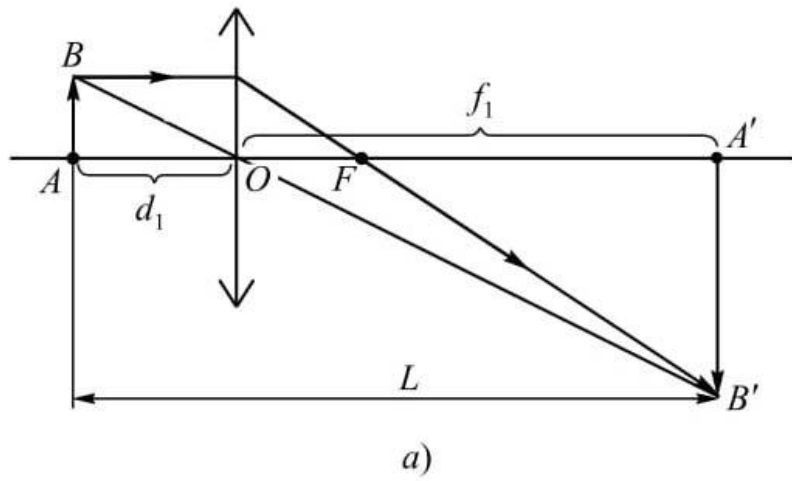
$$f_2 - d_2 = 0,72$$

$$\Gamma = \frac{f_2}{d_2} = 3$$

$$d_2 = 0,36 \quad , \quad f_2 = 1,08 \text{ м}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_2} - \frac{1}{f_2}$$

$$F = \frac{d_2 f_2}{d_2 - f_2} = 0,54 \text{ м}$$



Задача 16. Тонкая линза с некоторым фокусным расстоянием F_1 создает прямое изображение предмета с увеличением $\Gamma_1 = 2/3$. Каково будет увеличение Γ_2 , если, не изменяя расстояние между предметом и линзой, заменить линзу на рассеивающую с оптической силой $D_2 = -D_1$.

Решение.

$$\Gamma_1 = \frac{f_1}{d} \Rightarrow f_1 = d \cdot \Gamma_1$$

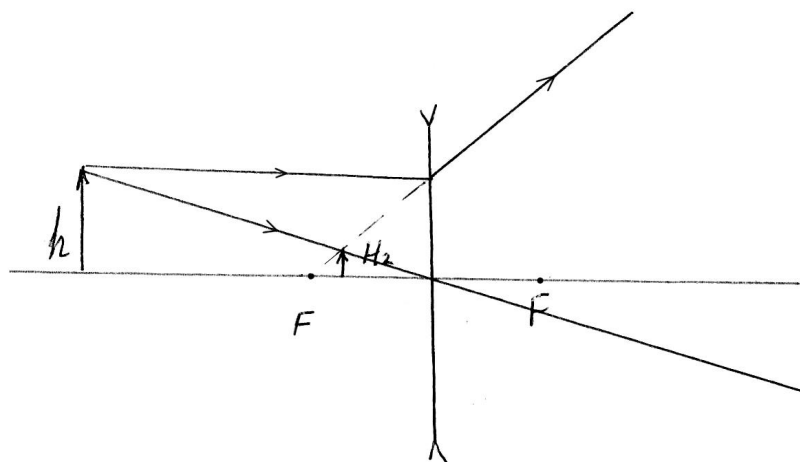
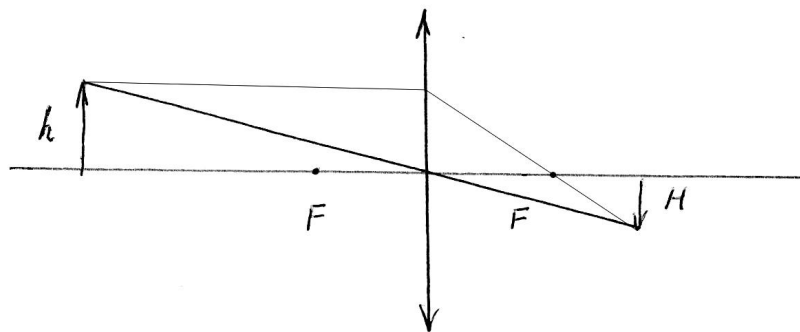
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{d} \left(1 + \frac{1}{\Gamma_1} \right) = \frac{5}{3d}$$

$$\Gamma_2 = \frac{f_2}{d} \Rightarrow f_2 = d \cdot \Gamma_2$$

$$-\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f_2}$$

$$-\frac{5}{3d} = \frac{1}{d} \left(1 - \frac{1}{\Gamma_2} \right)$$

$$\Gamma_2 = \frac{3}{8}$$



Задача 17. На экран с круглым отверстием радиуса $r_0 = 10$ см падает сходящийся пучок света. Угол между крайним лучом и осью симметрии равен $\alpha = 60^\circ$. Определите точку, в которой будут сходиться лучи, если в отверстие вставляется: 1) собирающая (рис. а), 2) рассеивающая (рис. б) линзы. $D_1 = -D_2 = 10$ дп.

Решение.

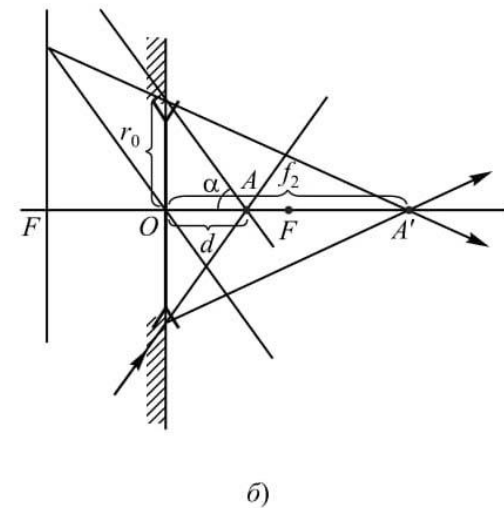
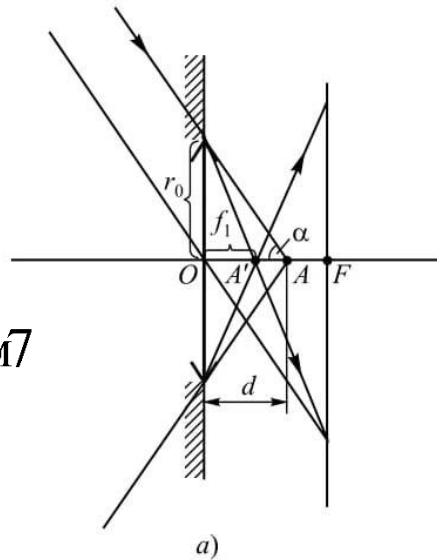
$$d = r_0 \operatorname{ctg} \alpha = r_0 \sqrt{3}$$

$$D_1 = \frac{1}{F_1} = -\frac{1}{d} + \frac{1}{f_1}$$

$$f_1 = \frac{F_1 d}{d + F_1} = \frac{F_1 r_0 / \sqrt{3}}{(r_0 / \sqrt{3}) + F_1} \approx 0,0317$$

$$D_2 = -\frac{1}{F_2} = -\frac{1}{d} + \frac{1}{f_2} \quad F_1 = F_2$$

$$f_2 = \frac{F_2 d}{F_2 - d} = \frac{F_2 \cdot \frac{r_0}{\sqrt{3}}}{F_2 - \frac{r_0}{\sqrt{3}}} \approx 0,14$$



Задача 18. Сходящийся пучок, проходящий через отверстие диаметром $d_1 = 6$ см в непрозрачном экране I, дает на экране II, находящимся за экраном I на расстоянии $l = 50$ см, светлое пятно диаметром $d_2 = 3$ см. После того как в отверстие экрана I поместили линзу, пятно превратилось в точку. Найдите фокусное расстояние линзы.

Решение.

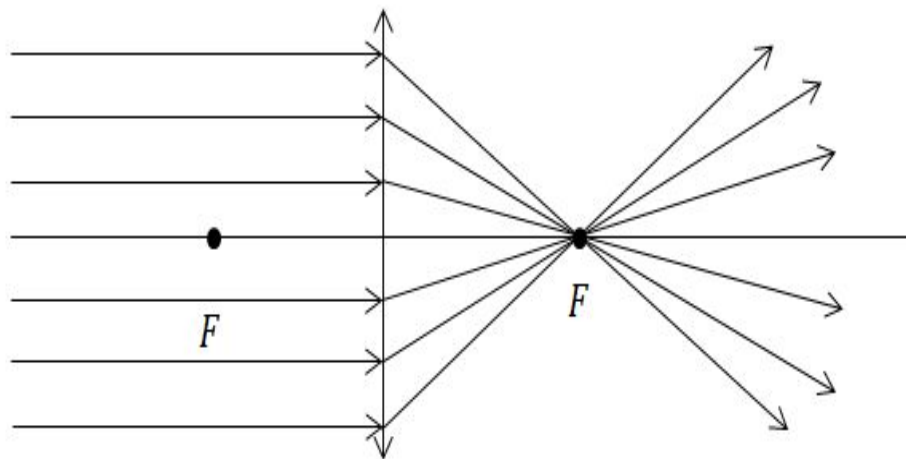
1. Лучи сходятся позади экрана

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{d}{d-l}$$

$$d = \frac{ld_1}{d_1 - d_2}$$

$$\frac{1}{F} = -\frac{1}{d} + \frac{1}{l}$$

$$F = \frac{dl}{d-l} = -\frac{l \cdot d_1}{d_2} = \mathbf{M}$$

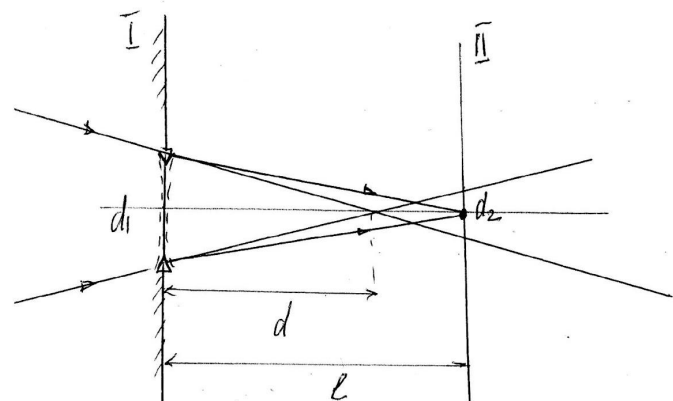
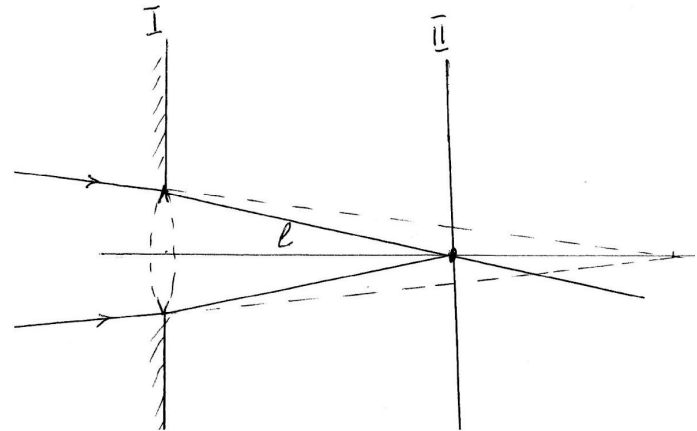
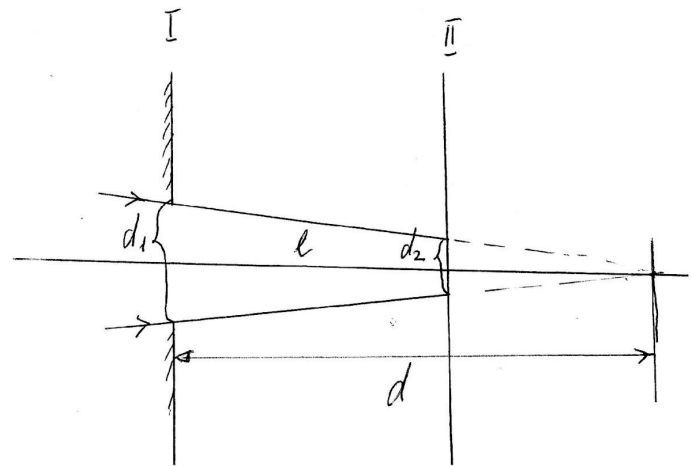


2. Лучи сходятся перед экраном.

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{d}{l-d} \quad d = \frac{l d_1}{d_1 + d_2}$$

$$-\frac{1}{F} = -\frac{1}{d} + \frac{1}{l}$$

$$F = \frac{d \cdot l}{l-d} = \frac{l \cdot d_1}{d_2} = \mathbf{M}$$



Задача 19. Собирающая линза, радиусы кривизны поверхностей которой $R_1 = 15$ см и $R_2 = 25$ см, дает действительное изображение предмета на расстоянии $l = 50$ см от линзы. Предмет находится на расстоянии $d = 0,25$ м от линзы. Найдите показатель преломления материала линзы и ее оптическую силу. Линза находится в воздухе.

Решение.

$$F = \frac{df}{f + d}$$

$$D = \left(\frac{n_l}{n_p} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$D = \frac{1}{F} = \frac{f + d}{d \cdot f} \quad D = \frac{0,5 + 0,25}{0,5 \cdot 0,25} \text{ дп} = 6 \text{ дп}$$

$$n_l = n_{\text{сп}} \left[1 + \frac{(f + d) \cdot R_1 R_2}{d \cdot f \cdot (R_1 + R_2)} \right] = 1,56$$

Оптические системы

Изображение, полученное в первой линзе, является предметом для второй линзы.

$$d > F_1 \quad f_1 = \frac{dF_1}{d - F_1}$$

$$l - f_1 > F_2 \quad \frac{1}{F_2} = \frac{1}{l - f_1} + \frac{1}{f_2}$$

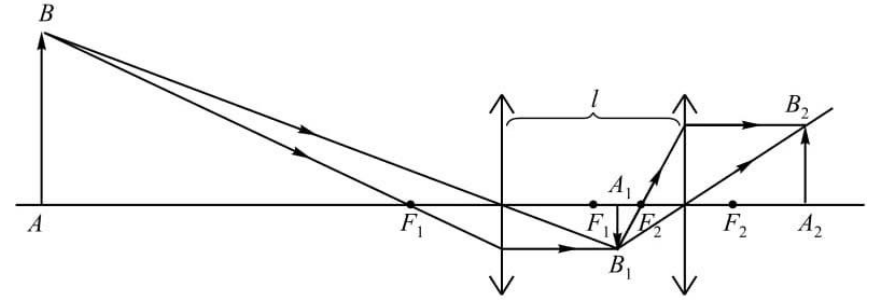
$$f_2 = \frac{(l - f_1) \cdot F_2}{l - f_1 - F_2} = \frac{(l - dF_1 / (d - F_1)) F_2}{l - dF_1 / (d - F_1) - F_2} = \frac{[(d - F_1)l - dF_1] F_2}{l(d - F_1) - dF_1 - (d - F_1)F_2}$$

При $l = 0$

$$f_2 = \frac{d \cdot F_1 F_2}{d \cdot (F_1 + F_2) - F_1 F_2}$$

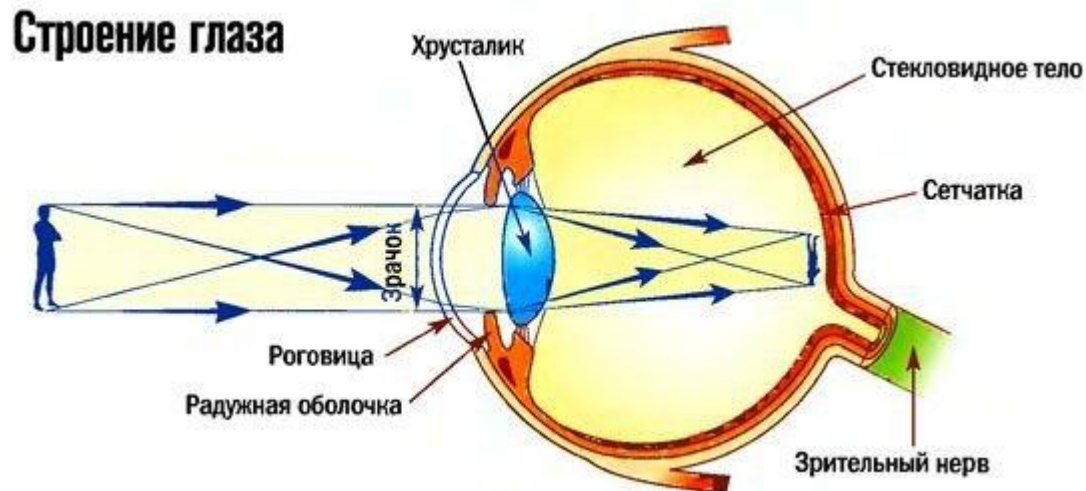
$$d \rightarrow \infty \quad f_2 = \frac{F_1 F_2}{(F_1 + F_2) - F_1 F_2 / d} = \frac{F_1 F_2}{(F_1 + F_2)} = \frac{1}{\frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2}}$$

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} \Rightarrow D = D_1 + D_2$$



Глаз как оптическая система

Нормальный глаз – глаз, для которого расстояние наилучшего зрения 25 см, а предел зрения бесконечен. Сетчатая оболочка состоит из сплетения нервных волокон и рецепторов («колбочки» и «палочки»), которые преобразуют световые сигналы в электрические, распространяющиеся по нервным волокнам. В центре сетчатой оболочки находится желтое пятно, состоящее из плотно расположенных колбочек. В области желтого пятна достигается особая острота зрения.



Задача 20. Собирающая линза с фокусным расстоянием $F = 20$ см состоит из двух половинок. Определите расстояние между изображениями точечного источника, если 1) не раздвигая линзу, закрыть ее среднюю часть непрозрачным экраном диаметром d_0 ; раздвинуть 2) на расстояние $d_0 = 1$ см перпендикулярно главной оптической оси; 3) на то же расстояние одна из половинок линзы сдвигается от источника вдоль оптической оси. Источник расположен на расстоянии $d = 75$ см от линзы.

Решение.

$$1) \quad l_1 = 0$$

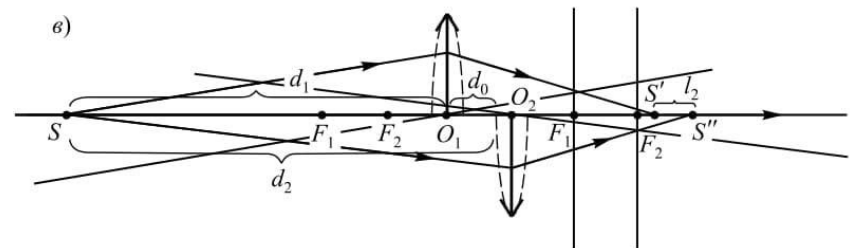
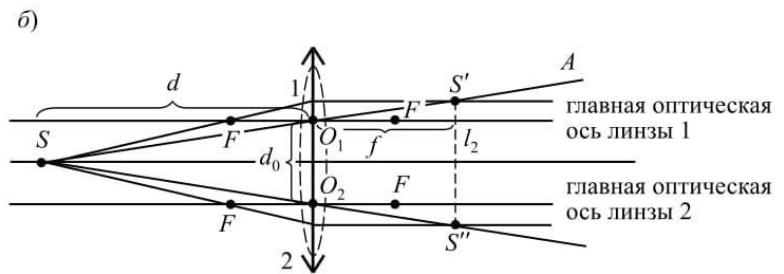
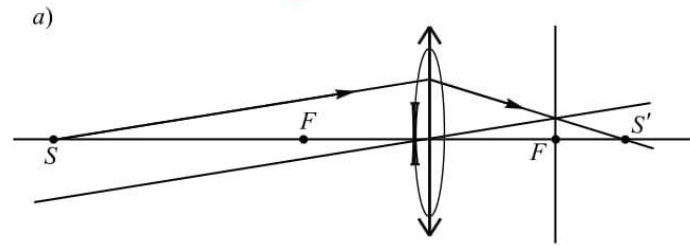
$$2) \quad \Delta O_1 S O_2 \infty \Delta S' S S''$$

$$\frac{l_2}{d_0} = \frac{d + f}{d}$$

$$l_2 = d_0 \frac{d + f}{d}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \quad f = \frac{dF}{d - F}$$

$$l_2 = d_0 \frac{\left(d + \frac{d \cdot F}{d - F} \right)}{d} = \frac{d_0 d}{d - F} \approx 0,014$$



$$3) \frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1 + d_0} + \frac{1}{f_2}$$

$$f_1 = \frac{Fd_1}{d_1 - F} \quad f_2 = \frac{F(d_1 + d_0)}{d_1 + d_0 - F}$$

$$l_3 = f_2 - f_1 = \frac{F \cdot (d_1 + d_0)}{d_1 + d_0 - F} - \frac{F \cdot d_1}{d_1 - F} =$$

$$-\frac{F^2 d_0}{(d_1 + d_0 - F)(d_1 - F)} \approx -0,0013$$

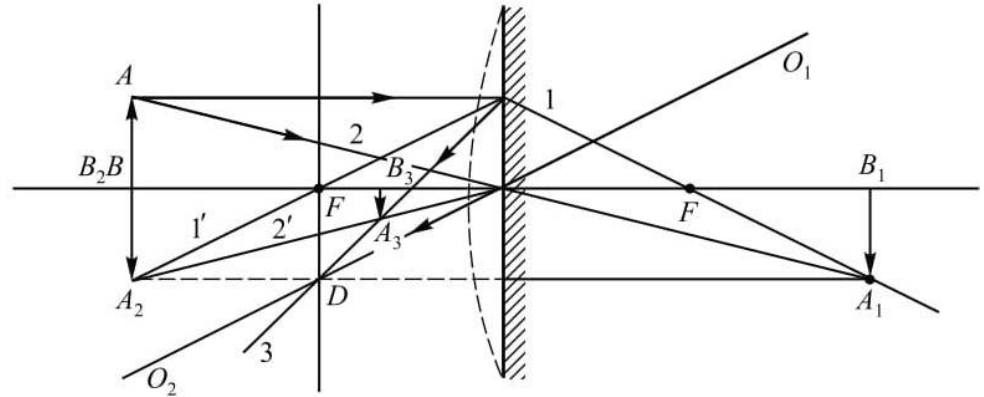
Задача 21. Плоская поверхность плоско-выпуклой линзы посеребрена. Фокусное расстояние линзы $F = 0,3$ м. Определите, где будет находиться изображение предмета, расположенного на расстоянии $d = 60$ см от линзы.

Решение.

$$1) \frac{1}{2F} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{F} = -\frac{1}{2F} + \frac{1}{f}$$

$$f = (2/3)F, f = 0,2 \text{ м}$$



$$2) \frac{1}{F_1} = \frac{1}{F} + \frac{1}{F} = \frac{2}{F} \quad F_1 = F / 2$$

$$\frac{2}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

$$\frac{2}{F} = \frac{1}{2F} + \frac{1}{f} \quad f = \frac{2}{3}F$$

Задача 22. Постройте график зависимости линейного увеличения Γ предмета от его расстояния до оптического центра собирающей линзы d .

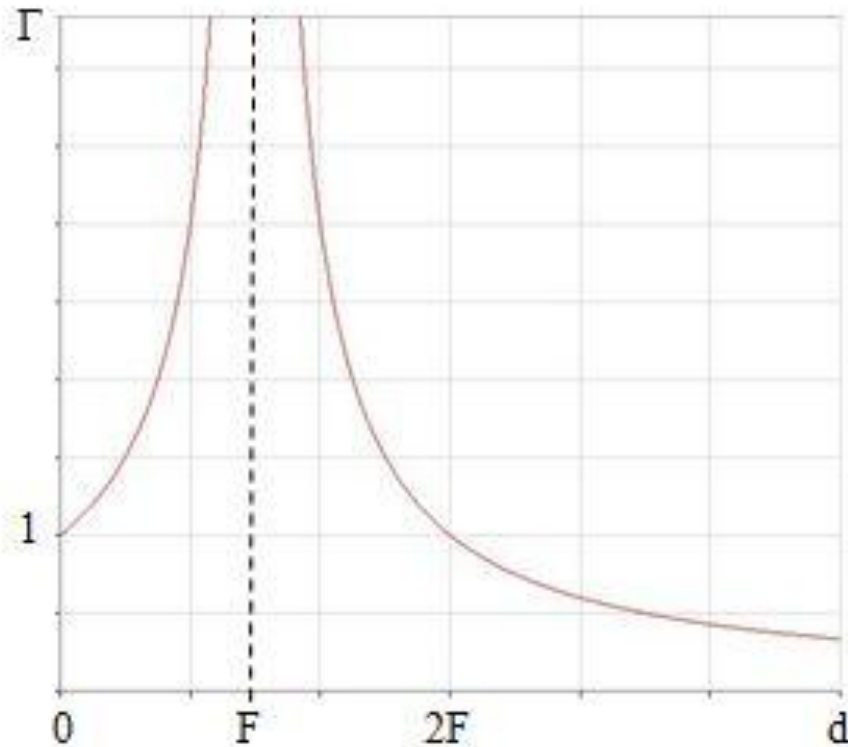
Решение.

$$d \geq F$$

$$\Gamma = \frac{F}{d - F}$$

$$d \leq F$$

$$\Gamma = \frac{F}{F - d}$$



Задача 23. Автомобиль движется со скоростью $v = 72$ км/ч на расстоянии $d = 500$ м от фотоаппарата. Фокусное расстояние телеобъектива фотоаппарата $F = 50$ см. Какова должна быть экспозиция Δt , чтобы размытость изображения не превышала $\Delta x = 10^{-4}$ м?

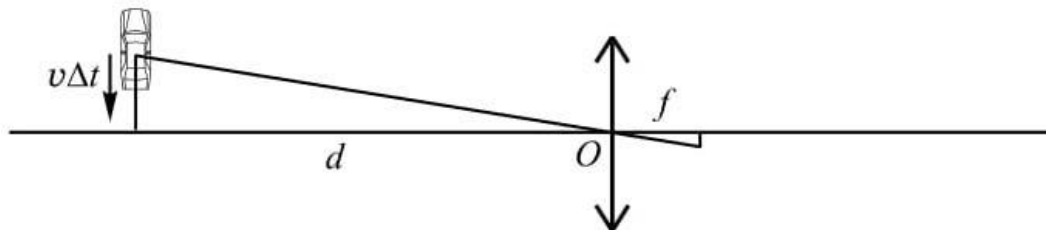
Решение.

$$\frac{v\Delta t}{d} = \frac{\Delta x}{f}$$

$$\Delta t = \frac{d\Delta x}{fv}$$

$$f = \frac{Fd}{d - F}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta x(d - F)}{vF} = 4,955100 \cdot 10^{-3} \text{ с} \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$



Задача 24. Из трех линз, расположенных вплотную друг к другу, составлена плоско параллельная пластинка. Причем оптическая сила системы первой и второй линз равна $D_{1,2} = -5$ дп, системы второй и третьей $D_{2,3} = -4$ дп. Найдите фокусные расстояния этих трех линз.

Решение.

$$D_{1,2} = D_1 + D_2$$

$$D_{2,3} = D_2 + D_3$$

$$D_1 + D_2 + D_3 = 0$$

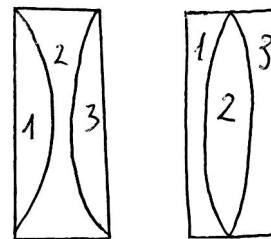
$$D_1 = D_{1,2} - D_2, D_3 = D_{2,3} - D_2$$

$$D_2 = D_{1,2} + D_{2,3}$$

$$D_1 = -D_{2,3}, D_3 = -D_{1,2}$$

$$D_1 = -4 \text{ дп}, D_2 = 9 \text{ дп}, D_3 = 5 \text{ дп}$$

$$F_1 = 0,25 \text{ м}, F_2 = 9 \text{ м}, F_3 = 2 \text{ м}$$



Задача 25. На рисунке изображена линза, состоящая из двух плосковыпуклых линз. Если оставить только первую линзу, то она дает увеличение предмета $\Gamma_1 = 2$. Если оставить только вторую линзу, то увеличение станет равным $\Gamma_2 = 4$. Расстояние от предмета до линзы не изменяется. Определите увеличение Γ , даваемое обеими линзами, сложенными вместе.

Решение.

$$\Gamma = \frac{f}{d} \quad \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} = D$$

$$\frac{1}{\Gamma} = \frac{d}{f} = dD - 1$$

$$\frac{1}{\Gamma_1} = D_1 d - 1, \quad \frac{1}{\Gamma_2} = D_2 d - 1$$

$$D = D_1 + D_2,$$

$$1/\Gamma = (D_1 + D_2) \cdot d - 1$$

$$D_1 = \frac{1 + \Gamma_1}{d\Gamma_1}; \quad D_2 = \frac{1 + \Gamma_2}{d\Gamma_2}$$

$$\frac{1}{\Gamma} = \frac{1}{\Gamma_1} + \frac{1}{\Gamma_2} + 1 = 1,75; \quad \Gamma = \frac{4}{7}$$



Задача 26. Фотоаппаратом можно снимать предметы, расположенные не ближе $l_1 = 50$ см от объектива. С какого расстояния можно снимать этим же аппаратом, если на объектив надеть еще одну линзу с оптической силой $D_2 = 2$ дптр?

Решение.

$$\frac{1}{l_1} + \frac{1}{f} = D_1$$

$$D_1 + D_2 = D$$

$$\frac{1}{l_2} + \frac{1}{f} = D_1 + D_2$$

$$\frac{1}{l_2} - \frac{1}{l_1} = D_2$$

$$l_2 = \frac{l_1}{1 + D_2 l_1} = 0,25$$

Задача 27. Оптическая сила лупы $D = 30$ дптр. Расстояние наилучшего зрения $l = 25$ см. Определите увеличение лупы при рассматривании предмета без напряжения зрения.

Решение.

$$d_{\text{нз}} = 25 \text{ см}$$

l – пределом видения (лупы)

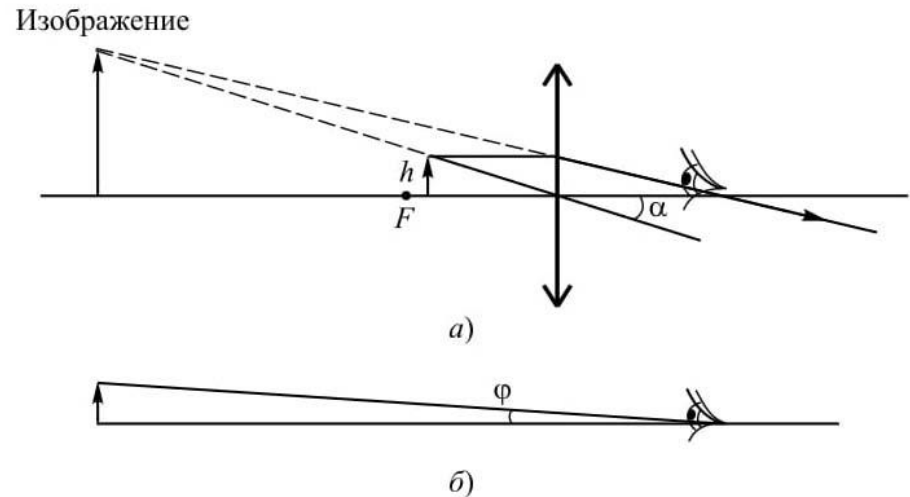
$$\Gamma = \frac{\alpha}{\varphi}$$

$$\alpha = \frac{h}{F}$$

$$\text{tg} \alpha \approx \alpha \quad \text{tg} \varphi \approx \varphi$$

$$\varphi \approx h / l$$

$$\Gamma = \frac{l}{F} = lD \quad \Gamma = 0,25 \times 30 = 7,5$$



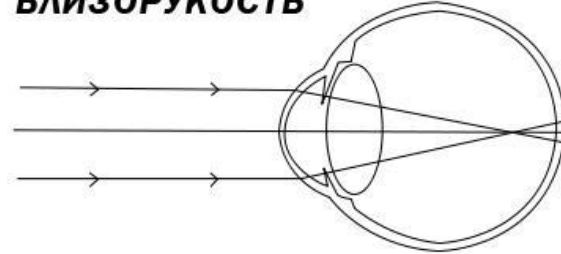
Задача 28. Определите оптическую силу очков для дальновзоркого человека, чтобы он видел так же, как человек с нормальным зрением. Расстояние наилучшего зрения нормально видящего человека 25 см, дальновзоркого – $d = 1$ м.

Решение.

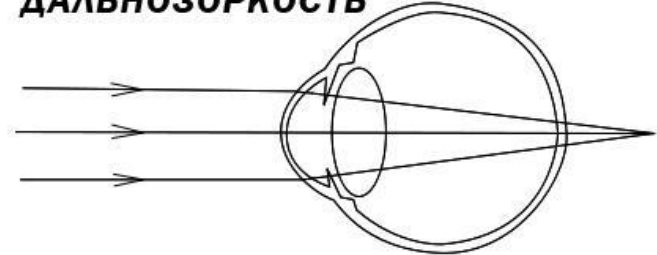
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_0} - \frac{1}{d}$$

$$D = \frac{1}{F} = \frac{d - d_0}{dd_0} = \text{Дптр}$$

БЛИЗОРУКОСТЬ



ДАЛЬНОЗОРКОСТЬ

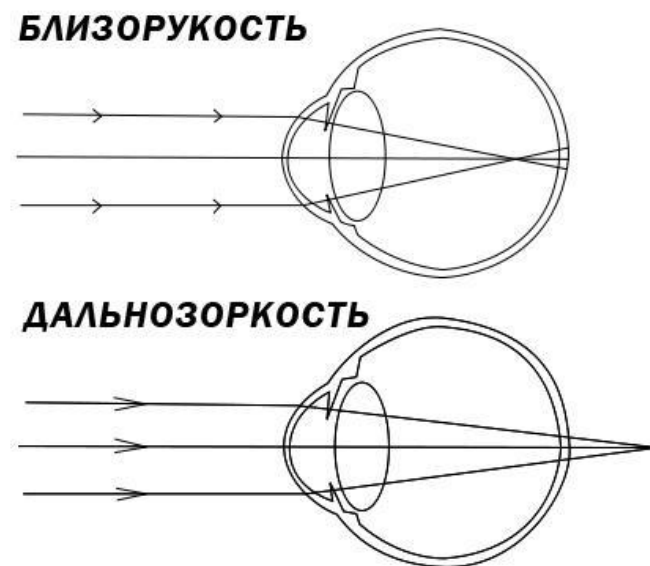


Задача 29. Пределы аккомодации глаза у близорукого человека лежат между $f_1 = 20$ см и $f_2 = 50$ см. Определите, как изменяются эти пределы, если человек наденет очки с оптической силой $-D = 2$ дптр.

Решение.

$$D = -\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} - \frac{1}{f_1} \quad -\frac{1}{F} = \frac{1}{d_2} - \frac{1}{f_2}$$

$$d_1 = \frac{Ff_1}{F - f_1} = \frac{1}{3} \text{ м} \quad d_2 = \frac{Ff_2}{F - f_2} \rightarrow \infty$$



Тест

1. С какой скоростью будет двигаться относительно человека его изображение, если человек подходит к зеркалу со скоростью v ?
2. С какой скоростью относительно зеркала будет перемещаться изображение человека в плоском зеркале, если он подносит его к лицу со скоростью v ?
3. Чему равно увеличение плоского зеркала?
4. При увеличении угла падения луча на 15° , насколько увеличится угол преломления? Угол падения был равен 30° , относительный показатель преломления равен 2.
5. Пучок параллельных лучей шириной 3 см падает под углом на плоскопараллельную пластину. Чему равна ширина пучка при выходе из нее?

6. Какое явление используется в волоконной оптике? Выберите правильный ответ.

- 1) отражения света;
- 2) полное внутреннее отражение;
- 3) интерференции;
- 4) дисперсии.

7. Передвигая экран, с помощью собирающей линзы получают изображение предмета. Как будут изменяться размеры изображения и его форма при приближении предмета к фокусу линзы.

Для каждой величины выберите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится;
- 2) уменьшится;
- 3) не изменится.

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины.

Размеры	Форма

8. В фокусе рассеивающей линзы поместили источник. На каком расстоянии будет находиться его изображение?
9. На каком расстоянии находится изображение, если предмет находится на расстоянии $2F$ от собирающей линзы?
10. Чему равна оптическая сила плоскопараллельной пластины?
11. Показатель преломления равен 1,2. Чему равен предельным угол преломления?
12. Леонардо да Винчи писал свои научные и художественные трактаты левой рукой справа налево. Как удобнее читать рукописи этого великого человека?

Выберите 2 правильных ответа.

- 1) перевернуть рукопись и читать снизу вверх
- 2) помещая перед зеркалом и смотря в зеркало
- 3) поместить перед источником света и читать с обратной стороны
- 4) копировать буквы и их поворачивать, а затем составлять из них слова

Спасибо за внимание!