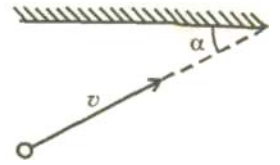


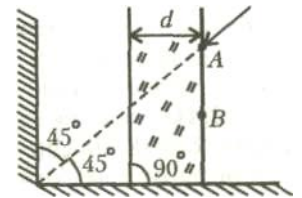
Геометрическая оптика

1. Оцените, во сколько раз освещенность на дне пустого колодца в пасмурный день меньше, чем на поверхности Земли.
2. Человек стоит перед плоским зеркалом, укрепленным на вертикальной стене. Какова должна быть минимальная высота зеркала, чтобы человек мог видеть себя в полный рост? Рост человека 170 см.
3. Солнечный луч, проходящий через отверстие в ставне, составляет с поверхностью стола угол 48° . Под каким углом (в градусах) к поверхности стола нужно расположить плоское зеркало, чтобы отраженный от него луч распространялся в том же направлении, но горизонтально? (Ответ дать для острого угла.)
4. На стене в комнате висит плоское зеркало в форме ромба с диагоналями 16 см и 12 см. Лампочка висит на расстояниях $l_1 = 2$ м от стены с зеркалом и $l_2 = 1$ м от противоположной стены. Нить накала лампочки можно считать точечным источником света. 1) На каком расстоянии от противоположной стены находится изображение нити накала лампочки в зеркале? 2) Найдите форму и размеры «зайчика», полученного от зеркала на противоположной стене.



5. Человек приближается к плоскому зеркалу по прямой, образующей угол $\alpha = 30^\circ$ с плоскостью зеркала, со скоростью $v = 1$ м/с (см. рис.). Определите скорость движения изображения человека в зеркале относительно человека.

6. Высота Солнца над горизонтом составляет угол $\varphi = 10^\circ$. Пользуясь зеркалом, пускают «зайчик» в водоем. Под каким углом к горизонту нужно расположить зеркало, чтобы луч света шел в воде под углом $\alpha = 41^\circ$ к вертикали ($\sin \alpha \sim 0,655$)? Показатель преломления воды $n = 1,32$. Считайте, что нормаль к зеркалу лежит в вертикальной плоскости.



7. Луч света, направленный в точку A по биссектрисе прямого угла, образованного двумя плоскими зеркалами, проходит сначала сквозь плоскопараллельную стеклянную пластинку толщиной d с показателем преломления n , расположенную параллельно одному из зеркал (см. рис.). После этого, отразившись от обоих зеркал, луч снова проходит через пластинку и выходит из нее в точке B . Найдите расстояние AB .

8. В плоскую кювету с жидкостью опускают пробирку, в которой находится металлическое колечко. При освещении системы в ее изображении на экране колечка в пробирке практически не видно. В пробирку наливают ту же жидкость, что была в кювете. При этом на экране появляется отчетливое изображение колечка. Объясните явление.

9. В боковой стенке сосуда, наполненного жидкостью с показателем преломления n , проделано небольшое отверстие радиусом r , через которое вытекает струя. По оси отверстия горизонтально направлен тонкий луч света. При какой высоте уровня жидкости над отверстием луч света сможет выйти из струи, ни разу не испытав полного внутреннего отражения? Считать показатель преломления n достаточно большим, изменением поперечного сечения струи пренебречь.

10. Из некоторой жидкости на границу ее раздела с вакуумом падает луч света. Угол падения равен 30° . Отраженный и преломленный лучи перпендикулярны друг другу. Найдите показатель преломления жидкости.

11. Пучок параллельных световых лучей падает по нормали на плоскую грань стеклянной призмы с показателем преломления n и выходит из призмы под углом β к первоначальному направлению падения. Угол α при вершине призмы так мал, что $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha \approx \alpha$. Найдите этот малый угол.

12. Под каким углом должен упасть луч света на стекло, чтобы преломленный луч оказался перпендикулярным отраженному? Показатель преломления стекла 1,6.

13. Луч света падает на поверхность воды под углом $\alpha = 30^\circ$. Под каким углом луч должен упасть на поверхность стекла с показателем преломления $n_2 = 1,8$, чтобы угол преломления оказался таким же? Показатель преломления воды $n_1 = 1,33$.

14. В прозрачный цилиндрический сосуд с водой опущен вертикальный непрозрачный цилиндр. Его обводят по окружности так, что поверхность цилиндра касается стенки сосуда. В некоторый момент обводки кажется, что цилиндр «заполнил» весь сосуд. Объясните явление.

15. Наблюдатель, перемещаясь по вертикали, определяет углы, образованные с вертикалью лучами, исходящими от малого объекта, находящегося на дне озера. На высотах h_1 и h_2 от уровня воды в озере он определил углы α_1 и α_2 соответственно. Какова глубина озера? Показатель преломления воды n .

16. На дне водоема глубиной $H = 1,2$ м находится точечный источник света. Найдите наибольшее расстояние от источника до того места на поверхности воды, где лучи выходят за пределы воды. Показатель преломления воды $n = 1,33$.

17. Пучок параллельных лучей падает из воздуха на поверхность воды под углом $\alpha = 60^\circ$. Ширина пучка в воздухе $d = 10$ см, показатель преломления воды $n = 4/3$. 1) Определите ширину пучка в воде. 2) Что произойдет с преломленным пучком, если на воду налить слой прозрачного масла?

18. В водоем на некоторую глубину помещают источник белого света. Показатель преломления воды для красных лучей $n_1 = 1,328$, для фиолетовых $n_2 = 1,335$. Вычислите отношение радиусов кругов, в пределах которых возможен выход красных и фиолетовых лучей в воздух.

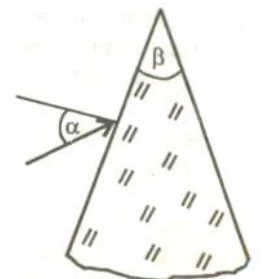
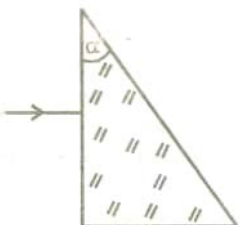
19. Луч света падает под углом $\alpha = 30^\circ$ на плоскопараллельную пластину и выходит из нее параллельно первоначальному лучу. Какова толщина пластины, если расстояние между лучами $d = 1,94$ см? Показатель преломления стекла $n = 1,5$.

20. Сечение стеклянной призмы имеет форму равностороннего треугольника. Луч падает на одну из граней перпендикулярно к ней. Вычислите угол между этим лучом и лучом, вышедшим из призмы. Показатель преломления стекла $n = 1,5$.

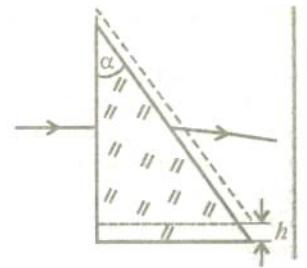
21. Луч света, идущий в плоскости рисунка, падает на переднюю грань стеклянного клина с углом $\beta = 45^\circ$ между гранями. При каких значениях угла падения (α) луч

выйдет через вторую грань клина? Показатель преломления стекла $\sqrt{2}$.

22. Луч света падает нормально на переднюю грань призмы, как показано на рисунке. Преломляющий угол призмы $\alpha = 30^\circ$. Каким должен быть показатель преломления материала призмы, для того чтобы угол отклонения луча призмой был равен α ?



23. Узкий пучок световых лучей падает на стеклянный клин перпендикулярно его передней грани, расположенной вертикально (см. рис.). Пройдя клин, пучок попадает на вертикальный экран. На какое расстояние сместится световое пятно на экране, если сдвинуть клин вверх на $h = 5$ см? Показатель преломления материала клина $n = 1,5$, угол при его вершине $\alpha = 5,7^\circ$. При расчетах положить $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha \approx \alpha$.

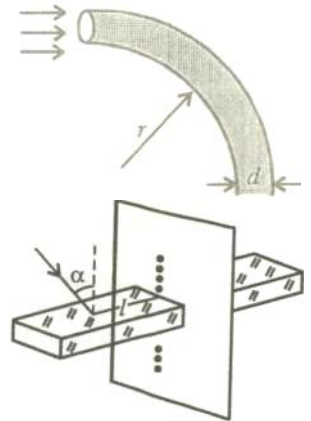


24. Поверхность озера глубиной $H = 1,3$ м покрыта тонким слоем льда со снегом, практически не пропускающим свет. Найдите площадь светлого пятна на дне озера от полыни в форме круга радиусом $R = 2$ м. Озеро освещается рассеянным светом. Показатель преломления воды $n = 4/3$.

25. На поверхности прозрачной жидкости в сосуде с вертикальными стенками плавает тонкий кружок диаметром d . Найдите высоту тени на боковой стенке сосуда, если поверхность жидкости освещается пучком параллельных лучей света, падающих под углом $\alpha = 45^\circ$. Показатель преломления жидкости $n = 1,41$.

26. Тонкий параллельный пучок света падает на вертикальную стенку стеклянной кюветы, заполненной прозрачной жидкостью, и попадает в жидкость. Чему равен показатель преломления жидкости, если при любых углах падения свет испытывает полное отражение на верхней границе жидкости?

27. Световод представляет собой цилиндрическое волокно диаметром $d = 2$ мм, изготовленное из прозрачного материала с показателем преломления $n = 1,4$. При каком минимальном радиусе изгиба световода r свет, вошедший в световод перпендикулярно плоскости поперечного сечения, распространяется в световоде, не выходя через боковую поверхность (см. рис.)?

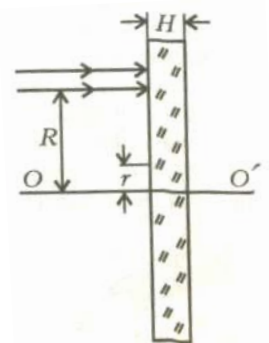


28. В широкий тонкостенный стакан налито немного чистой воды, а в более узкий налита подкрашенная жидкость. Узкий стакан опускают соосно в широкий, после чего видно, что цвет воды в широком стакане становится таким же, как и в узком. Затем стакан с подкрашенной жидкостью вынимают, и вода в широком сосуде принимает свой естественный вид. Объясните явление.

29. Плоскопараллельная пластинка из стекла с показателем преломления n и толщиной d вставлена в перпендикулярный ей экран (см. рис.). В плоскости, перпендикулярной экрану, на пластинку под углом α к нормали падает тонкий луч света в точку, находящуюся на расстоянии l от экрана. На нем по обе стороны от пластинки видна система светящихся точек. Найдите расстояние между соседними точками, а также между самыми дальними из них.

30. Свет распространяется в неоднородной среде с показателем преломления n который зависит от высоты $z > 0$ по закону $n = n_0 / (1 + bz/n_0)$, где n_0 и b - заданные константы. Для луча света, испущенного под углом θ к горизонту с поверхности земли, найдите: а) под каким углом свет распространяется на высоте z ; б) радиус дуги окружности, по которой распространяется свет. Угол θ не слишком большой, так что n все время остается больше 1.

31. Показатель преломления некоторой плоской среды имеет такую зависимость от координаты y : при $y < 0$ $n = n_0$ ($n_0 = 1,4$); при $0 < y < H$ $n(y) = n_0 - ky$, где k - константа ($k = 0,2$ м, $H = 2$ м); при $y > H$ $n = 1$. На плоскость $y = 0$ падает узкий пучок света под углом падения $\alpha = 60^\circ$. На какую максимальную глубину сможет проникнуть световой луч?

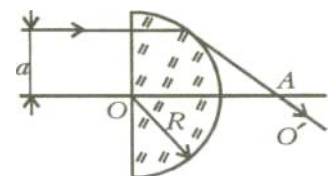


32. На стеклянную плоскопараллельную пластинку толщиной $H = 3$ мм падает узкий пучок монохроматического света (см. рис.). Пучок параллелен оси OO' , которая перпендикулярна к пластинке и проходит через ее центр. Расстояние между пучком и осью $R = 3$ см. Показатель преломления стекла для падающего на пластинку света изменяется в зависимости от расстояния r до оси OO' по закону $n(r) = n_0 (1 - (r/r_0)^2)$ где $n_0 = 1,5$ и $r_0 = 9$ см — константы. Определите угол между выходящим пучком и осью OO' .

33. Из шара радиусом $R = 4$ см, изготовленного из стекла с показателем преломления $n = 1,4$, вырезан сегмент, на плоскую границу которого нормально падает из воздуха параллельный пучок света. Определите диаметр основания сегмента, если полного внутреннего отражения света не наблюдается.

34. Шар радиусом R из стекла с показателем преломления n разрезан по диаметру. На диаметрально плоскость одной из половин шара нормально падает параллельный пучок света. На каком расстоянии от центра шара пересекут главную оптическую ось лучи, прошедшие сферическую поверхность на наибольшем удалении от этой оси?

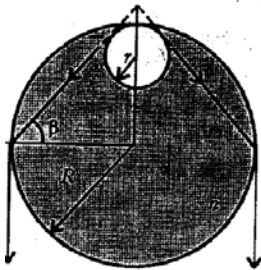
35. Луч света падает перпендикулярно на плоскую поверхность половины оптически прозрачного шара (см. рис.). Радиус шара R , расстояние от луча до оси OO' , проходящей через центр шара O , равно $a = 0,6 R$, показатель преломления материала шара $n = 4/3$. Найдите расстояние от точки O до точки A пересечения луча, преломленного на сферической поверхности, с осью OO' .



36. Один торец стеклянной однородной палочки представляет собой плоскость, перпендикулярную ее оси, а другой - часть сферы, центр которой лежит на этой оси. Тонкий параллельный пучок света, идущий вдоль оси палочки со стороны плоского торца, фокусируется на расстоянии a_1 от сферического торца, а идущий со стороны сферического торца — на расстоянии a_2 от него внутри палочки. Определите показатель преломления стекла.

Ответы:

9. $h = 2r/(n^2 - 1)$. 4.10. $n = \sqrt{3} = 1,7$. 4.11. $\alpha = \theta/(n - 1)$.
 12. $\alpha = \arctg n = 58^\circ$. 4.13. $\alpha_2 = \arcsin(\sin \alpha_1 \cdot n_2/n_1) = 42,5^\circ$.
 14. Изображение «заполнит» весь сосуд при выполнении условия $\sin \beta = 1/n$, где n – показатель преломления воды (рис.5).



ис. 5

$$4.15. h = \frac{h_2 \operatorname{tg} \alpha_2 - h_1 \operatorname{tg} \alpha_1}{\frac{\sin \alpha_1}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_1}} - \frac{\sin \alpha_2}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_2}}}$$

$$4.16. l_{\max} = Hn/\sqrt{n^2 - 1} = 1,82 \text{ м.}$$

- 4.17.1) $D = d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}/(n \cos \alpha) = 15,2 \text{ см}$;
 2) ширина пучка не изменится, но пучок сместится параллельно самому себе.

$$4.18. r_1/r_2 = \sqrt{(n_2^2 - 1)/(n_1^2 - 1)} = 1,01.$$

$$4.19. h = 10 \text{ см.} \quad 4.20. \varphi = 120^\circ.$$

$$21. \sin \alpha > \sqrt{n^2 - 1} \sin \beta - \cos \beta = 0, \alpha > 0.$$

$$22. n = 2 \cos \alpha = 1,73 \text{ при } \alpha < 45^\circ. \quad 4.23. H = h(n - 1)\alpha^2 = 2,5 \text{ см.}$$

$$24. S = \pi \left(R + H/\sqrt{n^2 - 1} \right)^2 = 38 \text{ м}^2.$$

$$25. h = d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}/\sin \alpha = d\sqrt{3}. \quad 4.26. n > \sqrt{2}.$$

$$27. r_{\min} = d(n - 1) = 5 \text{ мм.}$$

28. Причина – в явлении полного внутреннего отражения света.

$$29. y_1 = 2d \cos \alpha / \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha};$$

$$y_2 = d + 2l \operatorname{ctg} \alpha - d \cos \alpha / \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}.$$

$$30. \text{ а) } \alpha = \arccos(\cos \theta \cdot (1 + bz/n_0)); \quad \text{ б) } R = n_0/(b \cos \theta).$$

$$31. h_{\max} = n_0(1 - \sin \alpha)/k = 1 \text{ м.}$$

$$32. \alpha = \arcsin(2Hn_0R/r_0^2) = 2^\circ.$$

$$33. d \leq 2R/n = 5,7 \text{ см.} \quad 4.34. f = Rn/\sqrt{n^2 - 1}. \quad 4.35. OA = 20R/7.$$

$$36. n = a_2/a_1. \quad 4.37. d = 40 \text{ см.} \quad 4.38. a = 40 \text{ см.}$$

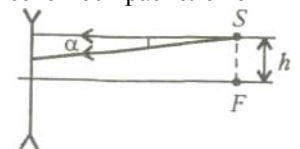
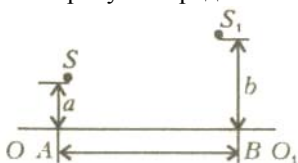
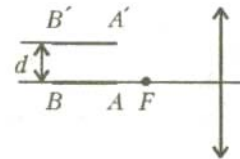
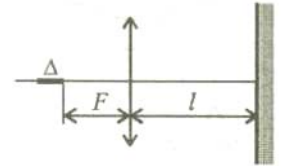
39. При удалении от линзы за двойное фокусное расстояние.

$$40. f_1 = 0,9 \text{ м}; f_2 = 0,1 \text{ м.} \quad 4.41. D = (\Gamma - 1)^2/(\Gamma L) = 2 \text{ дптр.}$$

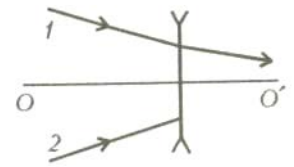
$$42. F = d(d + \Delta d)/(d - \Delta d) = 0,15 \text{ м (заметим, что } \Delta d < 0).$$

Линзы

37. На каком расстоянии (в см) от выпуклой линзы с фокусным расстоянием 32 см следует поместить предмет, чтобы получить действительное изображение, увеличенное в 4 раза? (Ответ: 40 см)
38. Фокусное расстояние собирающей линзы равно 20 см. Найдите расстояние (в см) от предмета до переднего фокуса линзы, если экран, на котором получается четкое изображение предмета, расположен на расстоянии 10 см от заднего фокуса линзы. (Ответ: 40 см)
39. При каком расположении прямого предмета, перпендикулярного главной оптической оси, относительно собирающей линзы его изображение в этой линзе будет уменьшенным?
40. Расстояние между предметом и экраном $L = 1$ м. На каком расстоянии от экрана надо расположить линзу с фокусным расстоянием $F = 90$ мм, чтобы на экране наблюдалось четкое изображение предмета? (Ответ: 0,9 м или 0,1 м)
41. Расстояние между предметом и его изображением, полученным при помощи линзы, равно $L = 25$ см. Найдите оптическую силу линзы, если изображение прямое и увеличенное в $\Gamma = 2$ раза. (Ответ: 2 дптр)
42. Найдите фокусное расстояние собирающей линзы, если при изменении расстояния $d = 0,3$ м от предмета до линзы на $\Delta d = 0,1$ м расстояние от линзы до действительного изображения предмета увеличивается вдвое. (Ответ: 0,15 м)
43. Расстояние между предметом, находящимся на оптической оси линзы, и его действительным изображением равно $L = 6,25 F$, где F — фокусное расстояние линзы. 1) Найдите расстояние от предмета до линзы и от линзы до изображения. 2) Как объяснить наличие двух решений? ($d = 5F, f = 1,25F$ или $f = 5F, d = 1,25F$)
44. Луч лазера пересекает главную оптическую ось собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 10$ см на расстоянии $a = 5$ см от линзы под углом $\alpha = 10^\circ$. Определите угол между преломленным лучом и главной оптической осью.
45. С помощью линзы с фокусным расстоянием $F = 20$ см на экране получено изображение предмета с увеличением $\Gamma = 2$. Чему равно расстояние между предметом и экраном?
46. В светонепроницаемой стенке имеется отверстие диаметром D , в которое вставлена собирающая линза. Параллельный пучок света, падающий перпендикулярно стенке, проходит через линзу и создает на экране световое пятно радиусом $2D$. Каким будет размер пятна, если расстояние от стенки до экрана увеличить вдвое?
47. Точечный источник света находится на главной оптической оси тонкой рассеивающей линзы на расстоянии $d = 0,12$ м от нее. Луч, выходящий из источника под углом $\alpha = 4^\circ$, падает на линзу и выходит из нее под углом $\beta = 8^\circ$ к главной оптической оси. Постройте ход луча и вычислите фокусное расстояние линзы.
48. Расстояние от предмета до переднего фокуса линзы в $n = 4$ раза меньше расстояния от действительного изображения до заднего фокуса. Постройте ход лучей и вычислите, с каким увеличением изображается предмет.
49. Какова оптическая сила линзы, с помощью которой можно получить увеличенное или уменьшенное изображение предмета на экране, находящемся от него на расстоянии $L = 0,9$ м, если отношение размеров получаемых изображений $k = 4$?
50. Светящаяся нить лампы имеет форму отрезка длиной $\Delta = 1$ см и расположена вдоль главной оптической оси линзы с фокусным расстоянием $F = 5$ см так, что ближний к линзе конец нити находится в ее фокусе (см. рис.). На расстоянии l от линзы перпендикулярно ее главной оптической оси расположен экран. Построив ход лучей в линзе, определите, при каком значении l размер пятна на экране превысит диаметр линзы.
51. На каком расстоянии от тонкой собирающей линзы надо поместить предмет перпендикулярно главной оптической оси, чтобы получить действительное изображение, увеличенное в $\Gamma = 3$ раза? Фокусное расстояние линзы $F = 5$ см.
52. Отрезок AB , лежащий на главной оптической оси линзы за ее фокусом F , сместили параллельно самому себе и перпендикулярно оптической оси в положение $A'B'$, как показано на рисунке. Чему равна величина смещения (d), если длина изображения отрезка $A'B'$ больше длины изображения отрезка AB в $k = 2$ раза? Фокусное расстояние линзы $F = 3$ см.
53. На рисунке представлены светящаяся точка S и ее изображение S_1 , даваемое линзой, главная оптическая ось которой — прямая OO_1 . Расстояния от точек S и S_1 до оптической оси равны, соответственно, $a = 20$ см и $b = 30$ см, расстояние между точками A и B равно $c = 15$ см. Найдите фокусное расстояние линзы.
54. Расстояние между предметом и его прямым изображением, создаваемым тонкой линзой с поперечным увеличением $\Gamma = 0,2$, равно $L = 32$ см. Постройте ход лучей и определите величину оптической силы линзы.
55. В фокальной плоскости тонкой рассеивающей линзы на расстоянии $h = 2$ см от ее главной оптической оси расположен точечный источник света S (см. рис.). Угол между двумя лучами, один из которых параллелен главной оптической оси, равен $\alpha = 0,08$. 1) Найдите угол β между этими лучами после преломления в линзе. 2) На каких расстояниях от линзы и от главной оптической оси получится изображение источника? Фокусное расстояние линзы $F = 20$ см. Считать, что углы α и β малы и $h \ll F$.
56. Предмет и его прямое изображение, создаваемое тонкой собирающей линзой, расположены симметрично относительно фокуса линзы. Расстояние от предмета до фокуса линзы $l = 4$ см. Постройте ход лучей и вычислите фокусное расстояние линзы.
57. Предмет расположен на расстоянии $A + 2F$ от собирающей линзы, а его изображение — на расстоянии $2F - B$ от нее. Постройте ход лучей, формирующих изображение, и, опираясь на рисунок, докажите, что фокусное расстояние F линзы связано с величинами A и B формулой $F = AB/(A - B)$.
58. Определите минимально возможное расстояние между предметом и его действительным изображением, полученным с помощью линзы с фокусным расстоянием $F = 10$ см. Каково при этом увеличение линзы?
59. Когда предмет находился в точке A , тонкая собирающая линза давала увеличение $\Gamma_1 = 2$, а когда предмет переместили в точку B , увеличение стало $\Gamma_2 = 3$. Каким будет увеличение, если предмет поместить в середину отрезка AB ? Предмет расположен перпендикулярно главной оптической оси линзы, изображение действительное.
60. С помощью стекла от очков солнечный свет сфокусировали в пятно радиусом 1 мм. Оцените, на сколько нужно сместить вдоль оси стекло, чтобы радиус пятна вырос вдвое.



64. Найдите построением ход луча 2 после тонкой рассеивающей линзы, если известен ход луча 1 (см. рис.). Построение поясните; OO' - главная оптическая ось линзы.



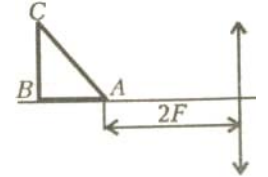
65. Рассматривая предмет в собирающую линзу и располагая его на расстоянии $d = 4$ см от нее, получают мнимое изображение, в $\Gamma = 5$ раз большее самого предмета. Постройте ход лучей, формирующих изображение, и вычислите оптическую силу линзы.

66. На главной оптической оси линзы с фокусным расстоянием $F = 10$ см лежит спичка. Линза создает действительное изображение спички с увеличением $\Gamma_1 = 25/3$. Если спичку повернуть на 90° вокруг ее середины, то она будет изображаться с увеличением $\Gamma_2 = 2,5$. Определите длину спички.

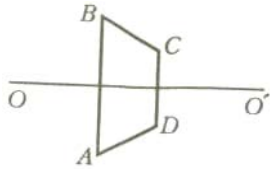
67. На каком расстоянии от линзы с фокусным расстоянием $F = 20$ см находится предмет, если его прямое мнимое изображение находится на расстоянии $f = 55$ см от линзы? Постройте график зависимости мнимого увеличения собирающей линзы от расстояния от предмета до линзы.

68. Светящаяся точка находится на главной оптической оси собирающей линзы на расстоянии $d = 30$ см от нее. Если эту точку сдвинуть на расстояние $l = 2$ см в направлении, перпендикулярном главной оптической оси, то ее действительное изображение сместится на $L = 10$ см. Найдите фокусное расстояние линзы.

69. Линза создает изображение прямоугольного треугольника, катет AB которого лежит на главной оптической оси (см. рис.). Площадь изображения треугольника в 9 раз меньше площади самого треугольника. С каким увеличением изображается катет BC , если точка A лежит на двойном фокусном расстоянии от линзы?



70. Трапеция $ABCD$ расположена так, что ее параллельные стороны перпендикулярны главной оптической оси тонкой линзы (см. рис.). Линза создает действительное изображение трапеции в виде прямоугольника. Если повернуть трапецию на 180° вокруг стороны AB , то линза создает ее изображение в виде трапеции с теми же самыми углами. С каким увеличением изображается сторона AB ?



71. Тонкая собирающая линза вставлена в отверстие радиусом $R = 2,5$ см в тонкой непрозрачной ширме. Точечный источник света расположен на расстоянии $d = 15$ см от линзы на ее главной оптической оси. Экран, находящийся по другую сторону ширмы, чем источник, отодвигают от линзы. В результате радиус светлого пятна на экране плавно уменьшается и на расстоянии $L = 12$ см от линзы становится равным $r = 1,5$ см. 1) На каком расстоянии от линзы надо поместить экран, чтобы получить четкое изображение источника? 2) Найдите фокусное расстояние линзы.

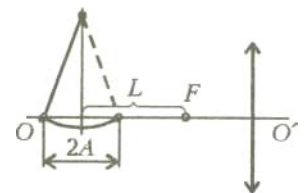
4.72. Муха летит параллельно главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 0,2$ м со скоростью $v = 0,6$ м/с по направлению к линзе. В момент $t_0 = 0$ расстояние от мухи до плоскости линзы равно $d = 2,5$ м. Постройте ход лучей, формирующих изображение мухи, и определите расстояние от плоскости линзы до изображения мухи через время $t = 4$ с. (7)

73. Светящаяся точка приближается к собирающей линзе вдоль ее главной оптической оси с постоянной скоростью $v = 2$ см/с. Какова средняя скорость движения изображения точки на участке пути между двумя его положениями, удаленными от линзы на $f_1 = 2F$ и $f_2 = 4F$? Здесь F — фокусное расстояние линзы.

74. Точка движется по окружности с постоянной по модулю скоростью $v = 0,2$ м/с вокруг главной оптической оси собирающей линзы в плоскости, перпендикулярной оси и находящейся от линзы на расстоянии, в 1,5 раза большем фокусного. Центр окружности лежит на главной оптической оси линзы. С какой линейной скоростью движется изображение точки?

75. Грузик на пружинке совершает вертикальные гармонические колебания. С помощью собирающей линзы получено четкое изображение грузика на экране, находящемся на расстоянии $L = 0,5$ м от линзы. Амплитуда колебаний изображения $A = 0,1$ м, максимальная скорость изображения $V_m = 1$ м/с. Определите период колебаний и максимальную скорость движения самого грузика. Оптическая сила линзы $D = 5$ дптр.

4.76. Математический маятник раскачивается с амплитудой $A = 1$ см в плоскости рисунка. Равновесное положение нити маятника находится на расстоянии $L = 5$ см от переднего фокуса тонкой положительной линзы. Расстояние между изображениями маятника, лежащими на главной оптической оси линзы, равно $l = 2$ см. Найдите фокусное расстояние линзы.

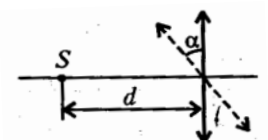


77. Маленький воздушный пузырек всплывает по оси прямоугольного сосуда (см. рис.), заполненного прозрачной жидкостью с показателем преломления $n = 1,4$. С помощью собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 24$ см его изображение наблюдают на экране Э. Скорость перемещения изображения пузырька на экране в момент пересечения главной оптической оси линзы равна $v = 80$ см/с. Определите скорость пузырька. Линейные размеры: $l = 56$ см, $L = 10$ см.

78. Собирающая линза дает на экране, перпендикулярном ее главной оптической оси, резкое изображение предмета с увеличением $\Gamma = 4$. Линзу сдвигают перпендикулярно оптической оси на $h = 1$ мм. Какова будет величина смещения изображения на экране?

79. Узкий световой пучок падает на рассеивающую линзу с фокусным расстоянием $F = 20$ см параллельно ее главной оптической оси. Пройдя линзу, пучок попадает на экран, расположенный на расстоянии $l = 30$ см от линзы перпендикулярно ее главной оптической оси. На какое расстояние сместится световое пятно на экране, если сдвинуть линзу перпендикулярно ее оси на $h = 2$ мм?

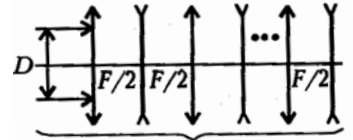
80. Точечный источник света S расположен на расстоянии $d = 40$ см от собирающей линзы на ее главной оптической оси. Оптическая сила линзы $D = 5$ дптр. При повороте линзы на некоторый угол α (см. рис.) относительно оси, перпендикулярной плоскости рисунка и проходящей через оптический центр линзы, изображение источника сместилось на $\Delta l = 10$ см. Найдите угол поворота линзы α .



81. Точечный источник света лежит на главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 70$ см. Расстояние от источника до центра линзы равно $2F$. На какое расстояние сместится изображение источника, если линзу повернуть так, чтобы прямая, проведенная от источника к центру линзы, составляла угол $\alpha = 30^\circ$ с главной оптической осью линзы? Центр линзы остается неподвижным.

82. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 20$ см на расстоянии $d = 30$ см от линзы находится точечный источник света. Линза совершает малые гармонические колебания с амплитудой $A = 0,2$ см перпендикулярно главной оптической оси. Найдите амплитуду колебаний изображения источника.

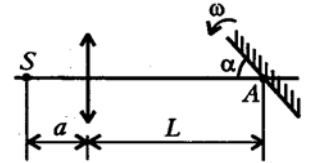
83. Имеются N собирающих линз с фокусным расстоянием F и N рассеивающих линз с фокусным расстоянием $F/2$. Линзы установлены поочередно так, что расстояние между соседними линзами равно $F/2$ (см. рис.). Вдоль оси в систему входит параллельный пучок света диаметром D . Найдите диаметр выходящего пучка.



84. Источник света расположен на двойном фокусном расстоянии от собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 30$ см. На каком расстоянии от линзы нужно поместить плоское зеркало для того, чтобы лучи, отраженные от зеркала, вторично пройдя линзу, стали параллельными?

85. На расстоянии $d = 60$ см от собирающей линзы находится точечный источник света. По другую сторону линзы расположено плоское зеркало, параллельное линзе. На каком расстоянии от линзы находится зеркало, если свет, отразившись от зеркала и пройдя через линзу, выходит параллельным пучком? Фокусное расстояние линзы $F = 50$ см.

86. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 20$ см расположено плоское зеркальце на расстоянии $L = 3F$ от линзы (см. рис.). Зеркальце вращается с угловой скоростью $\omega = 0,1$ рад/с вокруг оси, перпендикулярной плоскости рисунка и проходящей через точку A . На расстоянии $a = 4F/4$ от линзы расположен точечный источник света S .



1) На каком расстоянии от точки A получится изображение источника в системе линза - зеркальце в результате однократного прохождения лучей от источника через линзу? 2) Найдите скорость (модуль и угол между направлением скорости и главной оптической осью) этого изображения в момент, когда угол между плоскостью зеркальца и главной оптической осью равен $\alpha = 60^\circ$.

87. Луч света об бесконечно удаленного источника падает на рассеивающую линзу с фокусным расстоянием $F_1 = 30$ см. На расстоянии $a = 40$ см от рассеивающей линзы расположена собирающая линза с фокусным расстоянием $F_2 = 45$ см. Главные оптические оси линз совпадают. На каком расстоянии от собирающей линзы находится изображение источника?

88. Две тонкие линзы — собирающая с фокусным расстоянием $F_1 = F = 60$ см и рассеивающая с фокусным расстоянием $F_2 = F/2 = 30$ см — сдвинуты вплотную так, что их главные оптические оси совпадают. На расстоянии $2F$ от линз со стороны собирающей на главной оптической оси находится точечный источник света. Найдите расстояние от оптического центра линз до изображения источника. (Ответ: 40 см)

89. На собирающую линзу с фокусным расстоянием $F_1 = 40$ см падает пучок параллельных лучей света радиусом $R = 2$ см. За этой линзой расположена рассеивающая линза с фокусным расстоянием $F_2 = 15$ см, причем главные оптические оси линз и ось симметрии пучка совпадают. Чему равен радиус пучка, вышедшего из второй линзы, если известно, что лучи в нем параллельны? (Ответ: 0,75 см)

Ответы:

45. $\beta = \arctg(1 - a/F) \operatorname{tg} \alpha = 5^\circ$. 4.46. $L = F(\Gamma + 1)^2 / \Gamma = 90$ см.

47. $D_1 = 5D$. 4.48. $F = d / (\operatorname{tg} \beta / \operatorname{tg} \alpha - 1) = 0,12$ м.

49. $\Gamma = \sqrt{n} = 2$. 4.50. $D = (1 + \sqrt{\alpha})^2 / (L\sqrt{\alpha}) = 5$ дптр.

51. $l > 2F(1 + F/\Delta) = 60$ см. 4.52. $d = F(\Gamma + 1)/\Gamma = 6,7$ см.

53. $d = F\sqrt{k^2 - 1} = 5,2$ см. 4.54. $F = abc / (b - a)^2 = 90$ см.

55. $D = -(1 - \Gamma)^2 / (L\Gamma) = -10$ дптр.

56. 1) $\beta = 2\alpha = 0,16$; 2) на расстоянии $F/2 = 10$ см от линзы и $H = h/2 = 1$ см от главной оптической оси.

57. Изображение действительное и перевернутое.

58. $F = (\sqrt{2} + 1)b = 9,6$ см.

59. Указание: воспользуйтесь формулой линзы и свойствами подобных треугольников.

60. $l_{\min} = 4F = 40$ см; $\Gamma = 1$.

62. $\Gamma_3 = 2\Gamma_1\Gamma_2 / (\Gamma_1 + \Gamma_2) = 2,4$.

63. $x \sim d_F^2 / (\alpha d_L) \sim 3$ мм при угловом размере Солнца $\alpha = 10^{-2}$ рад, диаметре пятна в фокусе $d_F = 10^{-1}$ см и диаметре линзы $d_L = 3$ см.

64. См. рис. 6. 4.65. $D = (\Gamma - 1) / (\Gamma d) = 20$ дптр.

66. $l = 4$ см. 4.67. $d = Ff / (F + f) = 14,7$ см; $\Gamma = F / (F - d)$ (см. рис. 7)

68. $F = dL / (L + l) = 25$ см. 4.69. $\Gamma = 1/3$.

70. $\Gamma = 2$. 4.71. 1) $f = L / (1 - r/R) = 30$ см; 2) $F = 10$ см.

72. $L = (d - vt)F / (F - d + vt) = 0,2$ м.

73. $v_{\text{ср}} = v(f_1 - F)(f_2 - F) / F^2 = 6$ см/с. 4.74. $v_1 = 2v = 0,4$ м/с.

75. $T = 2\pi A / V_m = 0,63$ с; $v_m = V_m / (LD - 1) = 0,67$ м/с.

76. $F = 2$ см. 5.77. $u = v(L + l / (2n) - F) / F = 20$ см/с.

78. $H = h(\Gamma + 1) / (2d + \Delta l) = 5$ мм. 4.79. $H = hl / F = 3$ мм.

80. $\alpha = \arccos \frac{Dd}{Dd + \Delta l} = \arccos 0,9$

81. $x = 4F(1 - \cos \alpha) / (2 \cos \alpha - 1) = 51,3$ см.

82. $a = Ad / (d - F) = 0,6$ см.

83. $d_1 = D/2^N$, если свет попадает сначала на собирающую линзу, и $d_2 = D \cdot 2^N$, если на рассеивающую.

84. $x = 3F/2 = 45$ см. 4.85. $x = F(2d - F) / (2(d - F)) = 1,75$ м.

86. 1) $l = 2F = 40$ см; 2) $v = 4\omega F = 8$ см/с, $\beta = 30^\circ$.

87. $f_2 = F_2(F_1 + a) / (F_1 + a - F_2) = 126$ см.

88. $f = -2F/3 = -40$ см (изображение мнимое).

89. $r = RF_2 / F_1 = 0,75$ см.

Из ЕГЭ 2009

C1. На экране с помощью тонкой линзы получено изображение стержня с пятикратным увеличением. Стержень расположен перпендикулярно главной оптической оси, и плоскость экрана также перпендикулярна этой оси. Экран передвинули на 30 см вдоль главной оптической оси линзы. Затем, при неизменном положении линзы, передвинули стержень так, чтобы изображение снова стало резким. В этом случае получено изображение с трехкратным увеличением. Определите фокусное расстояние линзы.

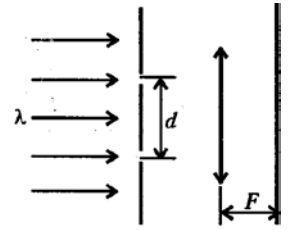
C2. Линза с фокусным расстоянием 15 см дает на экране изображение стержня, расположенного перпендикулярно главной оптической оси, с пятикратным увеличением. Экран передвинули вдоль главной оптической оси линзы. Затем, при неизменном положении линзы, передвинули стержень так, чтобы изображение снова стало резким. В этом случае получено изображение с двухкратным увеличением. На сколько сдвинули экран?

C3. На экране с помощью тонкой линзы получено изображение стержня, расположенного перпендикулярно главной оптической оси, с пятикратным увеличением. Экран передвинули на 30 см вдоль главной оптической оси линзы. Затем, при неизменном положении линзы, передвинули стержень так, чтобы изображение снова стало резким. В этом случае получено изображение с трехкратным увеличением. На сколько пришлось передвинуть стержень относительно его первоначального положения?

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

90. Монохроматический свет с частотой $1,5 \cdot 10^{15}$ Гц распространяется в пластинке, прозрачной для этого света и имеющей показатель преломления 1,25. Чему равна длина волны (в нм) этого света в пластинке? Скорость света в вакууме $3 \cdot 10^8$ м/с. (Ответ: 160 нм)

92. На экран с двумя узкими щелями, находящимися на расстоянии d друг от друга (см. рис.), нормально падает параллельный пучок света с длиной волны λ , причем $\lambda \ll d$. За экраном со щелями находится собирающая линза, а за ней в ее фокальной плоскости — сплошной экран, на котором видны светлые и темные полосы. Плоскости обоих экранов параллельны, фокусное расстояние линзы равно F . Найдите расстояние между соседними светлыми полосами.



93. Тонкая рассеивающая линза диаметром $D = 4,5$ см с фокусным расстоянием $F = 100$ см разрезана по диаметру, и ее половинки раздвинуты симметрично относительно главной оптической оси OO' на расстояние $a = 1$ см (см.

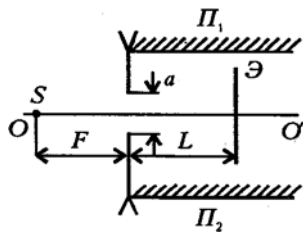
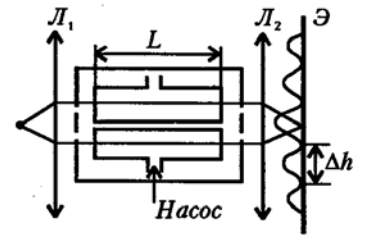
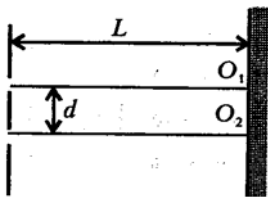


рис.). Сверху и снизу половинки линзы ограничены двумя зеркальными полуплоскостями Π_1 и Π_2 , параллельными оси OO' и друг другу. В фокальной плоскости линзы на оси OO' расположен точечный монохроматический источник света S . 1) Найдите расстояние между изображениями источника в половинках линзы 2) При каком минимальном расстоянии L в центре экрана \mathcal{E} (около оси) можно наблюдать интерференционную картину от лучей, предварительно прошедших половинки линзы?

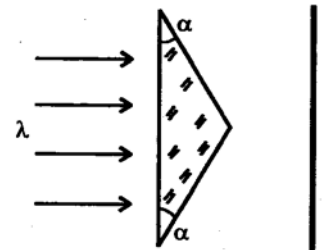
94. В плечи интерферометра Юнга поместили два одинаковых открытых прозрачных сосуда длиной L (см. рис.). При наблюдении интерференционной картины с монохроматическим источником света (длина волны λ) расстояние между двумя соседними темными полосами на экране равно Δh . Как изменится интерференционная картина, если в одном из сосудов равномерно повышать давление воздуха по закону $p = p_0 + kt$? Найдите скорость движения главного максимума, если показатель преломления воздуха n линейно зависит от давления: $n = 1 + \alpha p$.



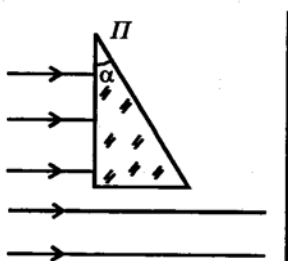
95. Плоская монохроматическая волна нормально падает на экран с двумя параллельными щелями, расстояние между которыми $d = 2,5$ мм (см. рис.). Интерференцию наблюдают на другом экране, расположенном на расстоянии $L = 5$ м от плоскости щелей. На этом экране в точках O_1 и O_2 наблюдаются светлые интерференционные полосы. На какое минимальное расстояние вдоль оси системы нужно сместить экран, чтобы в точках O_1 и O_2 оказались темные полосы?



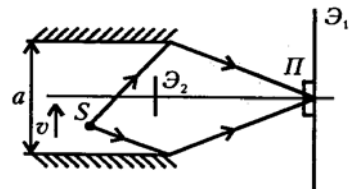
96. Параллельный пучок света с длиной волны λ нормально падает на основание бипризмы с малыми преломляющими углами α (см. рис.). Показатель преломления стекла призмы равен n . За призмой параллельно ее основанию расположен экран, на котором видна интерференционная картина. Найдите ширину интерференционных полос.



4.97. Плоская монохроматическая световая волна частично проходит через стеклянную призму Π с малым преломляющим углом α (см. рис.). Длина волны света λ , показатель преломления стекла n . На экране \mathcal{E} волны, прошедшие через призму и мимо нее, интерферируют. Найдите расстояние между соседними максимумами интерференционной картины.



98. Точечный источник S монохроматического света с длиной волны $\lambda = 6000 \text{ \AA}$ расположен между двумя неподвижными плоскопараллельными зеркалами, расстояние между которыми $a = 3$ см (см. рис.). На большом расстоянии $L = 1$ м от источника расположен экран \mathcal{E}_1 на котором наблюдается интерференционная картина, создаваемая двумя пучками света, отраженными от зеркал. Прямой пучок света от источника перекрывается экраном \mathcal{E}_2 . В плоскости экрана \mathcal{E}_1 (симметрично относительно зеркал) расположен приемник Π , который регистрирует сигнал, пропорциональный интенсивности падающего света. Размер приемника мал по сравнению с шириной интерференционных полос на экране. Учитывая только однократные отражения света от зеркал, определите частоту переменного сигнала, регистрируемого приемником, который возникает при движении источника перпендикулярно зеркалам со скоростью $v = 0,1$ м/с. Указание: при $\beta \ll 1$ справедлива формула $(1 + \beta)^{1/2} = 1 + \beta/2$.



99. На непрозрачный экран, в котором сделаны две параллельные одинаковые щели, нормально падает параллельный пучок света. Длина волны света $\lambda = 0,5$ мкм. Расстояние между щелями $d = 50$ мкм. За экраном расположена собирающая линза с фокусным расстоянием $F = 20$ см так, что ее оптическая ось перпендикулярна плоскости экрана и проходит через середину промежутка между щелями. Определите ширину центрального дифракционного максимума, наблюдаемого в фокальной плоскости линзы. (4)

100. Щель шириной $b = 1$ мм в плоском экране освещают двумя лазерами, дающими пучки света с длиной волны $\lambda = 0,5$ мкм. Плоскость экрана перпендикулярна оси первого пучка. За щелью находится собирающая линза, главная оптическая ось которой совпадает с направлением первого из освещающих пучков. Найдите наименьший угол между осями освещающих пучков, при котором центральный дифракционный максимум одного пучка совпадает с минимумом другого.

ОТВЕТЫ:

92. $\Delta x = F\lambda/d$.

93. 1) $b = a/2 = 0,5$ см; 2) $L = F(D + a)/(2D + a) = 55$ см.

94. Интерференционная картина будет двигаться равномерно вниз со скоростью $v = \alpha k L \Delta h / \lambda$.

95. $x_1 = -L/3 = -5/3$ м; $x_2 = L = 5$ м.

96. $\Delta x = \lambda / (2(n-1)\alpha)$. 4.97. $\Delta x = \lambda / ((n-1)\alpha)$.

98. $f = 2av / (L\lambda) = 10$ Гц. 4.99. $\Delta x = \lambda F / d = 0,2$ см.

100. $\alpha_{\min} = \lambda / b = 5 \cdot 10^{-4}$ рад.

