

11 класс, Экспресс-подготовка к ЕГЭ по физике

Набор задач для самостоятельного решения по занятию 9.

Темы: геометрическая оптика, волны, волновая оптика.

**Задача 1 (2 балла) [прямолинейность распространения света, тень]**

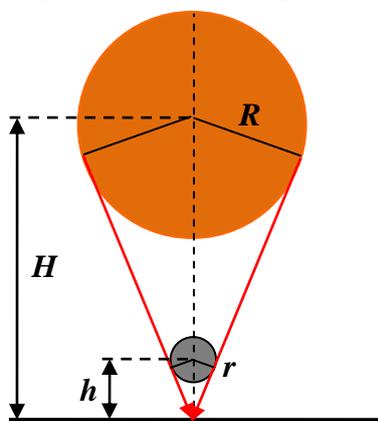
Центр светящегося шара радиусом  $R = 20$  см находится на высоте  $H = 3$  м над полом. По вертикали, проходящей через его центр, от пола поднимается непрозрачный шарик радиусом  $r = 5$  см. На какой высоте будет находиться центр шарика в тот момент, когда тень от него на полу исчезнет? Ответ запишите в см, при необходимости округлив до целого значения.

Подсказка 1: Тень исчезает в тот момент, когда крайние лучи, идущие от краев светящегося шара мимо краев шарика, сходятся на полу.

Подсказка 2: Нужно выполнить построение хода крайних лучей в этом положении: крайние лучи идут по касательной к обоим шарам.

Подсказка 3: Искомая величина находится из подобия треугольников, образованных радиусами шаров, высотами и крайними лучами.

Решение: Тень исчезает в тот момент, когда крайние лучи, идущие от краев светящегося шара мимо краев шарика, сходятся на полу (см. рисунок).

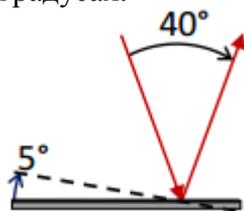


Из подобия треугольников, образованных радиусами шаров, высотами и этими лучами ясно, что в этом положении  $\frac{h}{H} = \frac{r}{R}$ , откуда  $h = \frac{r}{R} H = 75$  см.

ОТВЕТ: 75.

**Задача 2 (1 балл) [закон отражения света]**

Тонкий пучок параллельных световых лучей падает на плоское зеркало так, что угол между ним и отраженным лучом равен  $40^\circ$ . Каким станет угол между этим же лучом и отраженным после того, как зеркало повернули на  $5^\circ$  так, как показано на рисунке? Ответ запишите в градусах.



Подсказка: Из закона отражения света следует, что угол между падающим и отраженным лучами равен удвоенному углу падения.

Решение:

Из закона отражения света следует, что угол между падающим и отраженным лучами равен удвоенному углу падения. Поэтому угол падения луча на зеркало был равен  $20^\circ$ . После

поворота зеркала (вместе с ним повернется и перпендикуляр к зеркалу в точке падения) угол падения станет равен  $25^\circ$ , а угол между падающим и отраженным лучами –  $50^\circ$ .

Ответ: 50.

**Задача 3 (3 балла) [прямолинейность распространения света, тень, полутень]**

Лампа, светящаяся поверхность которой – горизонтальный круг диаметром 0,5 м прикреплена к потолку на высоте 3 м над полом. На высоте 2 м над полом параллельно ему расположен круглый непрозрачный экран, диаметр которого 0,5 м. Центр лампы и центр экрана лежат на одной вертикали. Найдите максимальное расстояние между крайними точками полутени на полу. Ответ запишите в метрах.

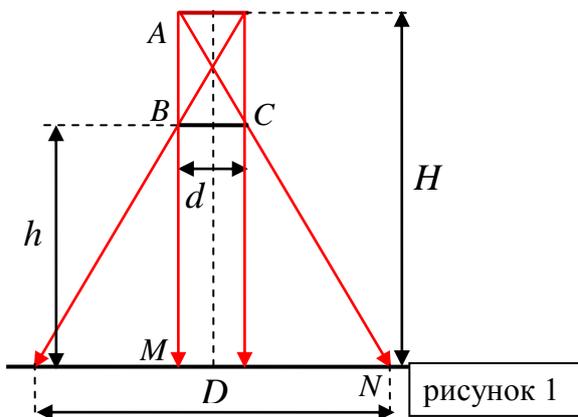
Подсказка 1: Нужно построить картину хода световых лучей в вертикальной плоскости, проходящей через общую ось лампы и экрана.

Подсказка 2: Тень от экрана на полу – круг с диаметром  $d$ , равным диаметру экрана (который равен диаметру лампы), а полутень – кольцо вокруг этого круга с внешним диаметром  $D > d$ .

Подсказка 3: Из построения видно, что  $\frac{D+d}{2d} = \frac{H}{H-h} = 3$ .

Решение:

Построим картину хода световых лучей в вертикальной плоскости, проходящей через общую ось лампы и экрана (рисунок 1). Как видно из этого построения, максимальное расстояние

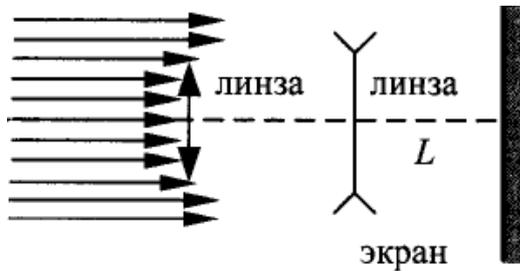


между крайними точками полутени на полу – это диаметр внешней границы области полутени (тень – это круг с диаметром  $d$ , а полутень – кольцо с внутренним диаметром  $d$  и внешним диаметром  $D$ ). Из соотношения подобия треугольников  $ABC$  и  $AMN$  следует, что  $\frac{|MN|}{d} = \frac{H}{H-h}$ , а  $|MN| = \frac{D+d}{2}$ , поэтому  $D = \frac{H+h}{H-h}d$ . Подставляя значения, найдем:  $D = 2,5$  м.

Ответ: 2,5.

**Задача 4 (3 балла) [тонкие линзы, фокусное расстояние, оптический центр]**

Параллельный световой пучок падает на собирающую линзу. На расстоянии 25 см от нее расположена рассеивающая линза (см. рисунок). Оптическая сила собирающей линзы равна 4 дптр, оптическая сила рассеивающей линзы по модулю в 2 раза меньше. Диаметры линз равны 6 см. За рассеивающей линзой на расстоянии  $L$  расположен экран. Плоскости линз и экрана параллельны, главные оптические оси линз совпадают. Каким должно быть  $L$ , чтобы экран был освещен равномерно? Ответ дайте в см.



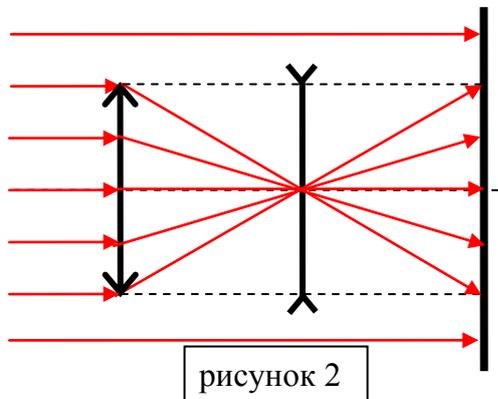
Подсказка 1: Обратим внимание, что фокусное расстояние собирающей линзы равно 20 см, то есть в точности равно расстоянию до рассеивающей линзы.

Подсказка 2: Поэтому все лучи, прошедшие через собирающую линзу, попадают в центр рассеивающей линзы.

Подсказка 3: Для равномерного освещения экрана эти лучи должны равномерно заполнить область экрана, расположенную за линзами, то есть образовать на экране круг с диаметром, равным диаметру линз.

Решение:

Обратим внимание, что фокусное расстояние собирающей линзы (обратное ее оптической силе) равно 25 см, то есть в точности равно расстоянию до рассеивающей линзы. Поэтому все лучи, прошедшие через собирающую линзу, попадают в центр рассеивающей и проходят

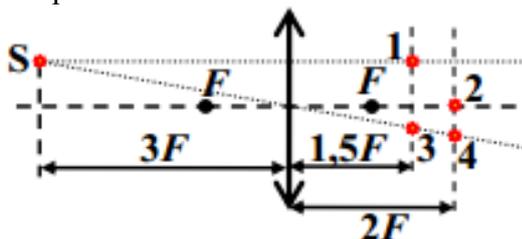


ее без преломления (рисунок 2). Для равномерного освещения экрана они должны равномерно заполнить область экрана, расположенную за линзами, то есть образовать на экране круг с диаметром, равным диаметру линз. Для этого  $L$  должно в точности равняться расстоянию между линзами, то есть 25 см. Следует обратить внимание, что в вопросе много «избыточных» данных – для получения ответа мы использовали только величину оптической силы собирающей линзы и расстояние между линзами. Видно, что в заданиях ЕГЭ иногда могут быть «лишние» данные.

Ответ: 25.

### Задача 5 (2 балла) [тонкие линзы, изображения, формула линзы]

В точке  $S$  перед тонкой собирающей линзой расположен маленький источник света. В какой из точек – 1, 2, 3 или 4 – расположено его изображение в этой линзе? В ответе укажите номер выбранной точки.



Подсказка 1: Из формулы линзы  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$  следует, что при  $a = 3F$   $b = \frac{3}{2}F$ .

Решение:

Из формулы линзы  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$  следует, что при  $a = 3F$   $b = \frac{3}{2}F$ . Кроме того, луч, идущий от источника через оптический центр линзы, не преломляется, и изображение должно лежать на этом луче. Из этих соображений однозначно устанавливается, что изображение – это точка 3.

Ответ: 3.

**Задача 6 (3 балла) [тонкие линзы, изображения, формула линзы, увеличение]**

Предмет высотой 2 см расположен на горизонтальной оси тонкой собирающей линзы на расстоянии 40 см от ее оптического центра. Высота мнимого изображения предмета равна 4 см. Найдите оптическую силу линзы. Ответ дайте в диоптриях, с точностью до сотых.

Подсказка 1: Согласно формуле линзы, расстояние от предмета до линзы  $a$  и расстояние от линзы до изображения предмета  $b$  связаны соотношением  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$ .

Подсказка 2: Так как изображение мнимое, то для собирающей линзы  $a < F$ , а  $b < 0$  (полезно построить ход лучей).

Подсказка 3: Отношение высот изображения и самого предмета  $\frac{h'}{h} = \frac{|b|}{a}$ .

Решение:

Согласно формуле линзы, расстояние от предмета до линзы  $a$  и расстояние от линзы до изображения предмета  $b$  связаны соотношением  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$ . Так как изображение мнимое, то для собирающей линзы  $a < F$ , а  $b < 0$  (см. построение хода лучей на рисунке 3). С другой стороны, из этого построения видно, что отношение высот изображения и самого предмета  $\frac{h'}{h} = \frac{|b|}{a}$ . Выражая  $b$  из формулы линзы, с учетом того, что  $a < F$ , получим:

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{|b|} = \frac{1}{F} \Rightarrow |b| = \frac{aF}{F-a} \Rightarrow \frac{h'}{h} = \frac{F}{F-a}. \quad \text{Следовательно,} \quad F = \frac{ah'}{h'-h}, \quad \text{и поэтому}$$

$$D = \frac{1}{F} = \frac{h'-h}{ah'} = 1,25 \text{ дптр.}$$

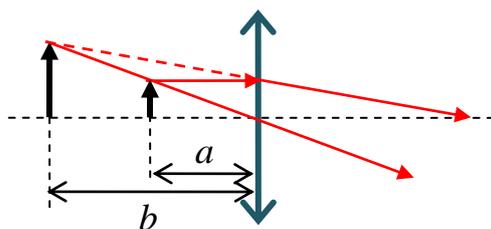


рисунок 3

Ответ: 1,25.

**Задача 7 (3 балла) [тонкие линзы, изображения, формула линзы, увеличение]**

Предмет расположен на горизонтальной главной оптической оси тонкой линзы с оптической силой  $D = 4$  дптр. Изображение действительное, перевернутое, увеличение (отношение высоты изображения предмета к высоте самого предмета)  $k = 0,4$ . Чему равно расстояние от линзы до изображения предмета? Ответ дайте в см.

Подсказка 1: Линза в данной задаче является собирающей (поскольку оптическая сила положительна, и к тому же ее изображение является действительным), и ее фокусное расстояние  $F = \frac{1}{D} = 25$  см.

Подсказка 2: Согласно формуле линзы,  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$ , а отношение высот изображения и самого предмета  $k = \frac{b}{a}$ .

Подсказка 3: Для ответа на вопрос задачи нужно связать искомую величину ( $b$ ) с заданной ( $k$ ) с помощью этих выражений.

Решение:

Линза в данной задаче является собирающей (поскольку оптическая сила положительна, и к тому же ее изображение является действительным), и ее фокусное расстояние  $F = \frac{1}{D} = 25$  см.

Согласно формуле линзы, расстояние от предмета до линзы  $a$  и расстояние от линзы до изображения предмета  $b$  связаны соотношением  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$ . С другой стороны, как видно из

построения (рисунок 4), отношение высот изображения и самого предмета  $k = \frac{b}{a}$ . Для ответа

на вопрос задачи нужно связать искомую величину ( $b$ ) с заданной ( $k$ ) с помощью этих выражений. Для этого из формулы линзы выразим  $a = \frac{bF}{b-F}$  и подставим в формулу

увеличения:  $k = \frac{b-F}{F} \Rightarrow b = (1+k)F = \frac{1+k}{D} = 35$  см.

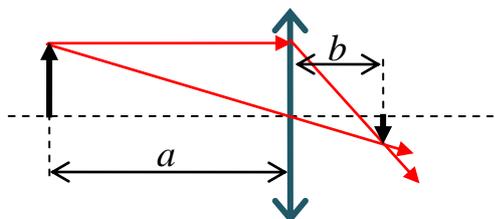


рисунок 4

Ответ: 35.

### Задача 8 (3 балла) [тонкие линзы, изображения, формула линзы]

Небольшой светящийся предмет находится на главной оптической оси тонкой линзы на расстоянии  $a$  от нее, и повернут перпендикулярно этой оси. Величина фокусного расстояния линзы равна  $|F|$ . Выберите два верных утверждения из приведенных ниже. В качестве ответа задания напишите подряд номера верных утверждений, не разделяя их пробелами или знаками препинания, например: 13.

- 1) Если линза собирающая, и при этом  $a = \frac{|F|}{2}$ , то изображение предмета будет действительным и увеличенным.
- 2) Если линза рассеивающая, и при этом  $a = \frac{3|F|}{2}$ , то изображение предмета будет мнимым и уменьшенным.
- 3) Если линза собирающая, и при этом  $a = \frac{3|F|}{2}$ , то изображение будет мнимым и уменьшенным.
- 4) Если линза собирающая, и при этом  $a = \frac{|F|}{2}$ , то изображение предмета будет мнимым и увеличенным.

- 5) Если линза рассеивающая, и при этом  $a = \frac{|F|}{2}$ , то изображение предмета будет мнимым и увеличенным.
- 6) Если линза рассеивающая, и при этом  $a = |F|$ , то изображение предмета будет действительным и уменьшенным.

Подсказка 1: из формулы тонкой линзы:  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$  следует, что  $b = \frac{aF}{a-F}$ , а поперечное

$$\text{увеличение } \Gamma = \left| \frac{b}{a} \right| = \left| \frac{F}{a-F} \right|.$$

Подсказка 2: для собирающей линзы  $F = |F|$ , а для рассеивающей  $F = -|F|$ .

Подсказка 3:  $b > 0$  соответствуют действительному изображению, а  $b < 0$  - мнимому,  $\Gamma > 1$  - увеличенному изображению,  $\Gamma < 1$  - уменьшенному.

Решение:

Весь анализ удобно провести на базе формулы тонкой линзы:  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F} = \pm \frac{1}{|F|}$ . Здесь  $b$  -

расстояние от линзы до изображения, знак «плюс» относится с собирающей линзе, «минус» - к рассеивающей. Отсюда выражаем:  $b = \frac{aF}{a-F}$ , или  $b = \frac{a|F|}{a-|F|}$  для собирающей линзы и

$b = -\frac{a|F|}{a+|F|}$  для рассеивающей. Для каждого случая  $b > 0$  соответствуют действительному

изображению (случай 3 – то есть соответствующее утверждение неверно), а  $b < 0$  - мнимому (все остальные, то есть 1 и 6 неверны). Поперечное увеличение изображения

$\Gamma = \left| \frac{b}{a} \right| = \frac{|F|}{|a \pm |F||}$ . Можно сразу обратить внимание, что у рассеивающей линзы изображения

при любом  $a > 0$  изображение мнимое уменьшенное (утверждение 2 верно, а 5 нет). Таким образом, верным должно быть утверждение 4. И действительно, для собирающей линзы с  $a < |F|$ , согласно нашим формулам, изображение мнимое увеличенное.

Полезно решить эту задачу еще и путем построения изображений.

ОТВЕТ: 24.

### Задача 9 (4 балла) [закон преломления света, полное внутреннее отражение]

Точечный источник света находится в неизвестной прозрачной жидкости и опускается вертикально вниз от ее поверхности. При этом на поверхности жидкости наблюдается пятно, образованное лучами, выходящими из жидкости в воздух. Глубина погружения источника и соответствующий ей радиус пятна измеряются через равные промежутки времени. В таблице представлены несколько результатов измерений. Погрешность измерений составляла 3 мм.

Глубина погружения, см	6	9	12	15	18
Радиус пятна, см	8	12	16	20	24

Выберите все верные утверждения на основании данных таблицы:

- 1) Образование пятна связано с дисперсией света в жидкости.
- 2) Показатель преломления жидкости меньше 1,3.
- 3) Ускорение источника больше  $1 \text{ см/с}^2$ .
- 4) Образование пятна обусловлено явлением полного внутреннего отражения на границе жидкость-воздух.
- 5) Величина угла полного внутреннего отражения на границе жидкость-воздух больше  $50^\circ$ .

В ответе запишите подряд номера выбранных утверждений, не разделяя пробелами или знаками препинания.

Подсказка 1: Явление полного внутреннего отражения состоит в том, что луч, падающий из среды с большим показателем преломления  $n_1$  на границу раздела со средой с меньшим показателем преломления  $n_2 < n_1$  под углом  $\alpha \geq \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$ , испытывает полное отражение

– преломленный луч полностью отсутствует (свет не выходит в среду с меньшим показателем преломления).

Подсказка 2: Показатель преломления воздуха можно считать равным 1..

Подсказка 3: Угол  $\alpha_{ПВО} \equiv \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$  называют углом полного внутреннего отражения.

Решение:

Сразу отметим, что, согласно данным таблицы, источник за равные промежутки времени смещается на равные расстояния. Так не может быть при равноускоренном движении. Поэтому утверждение **3 – неверно**.

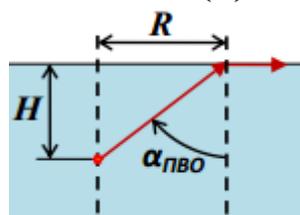
Явление полного внутреннего отражения состоит в том, что луч, падающий из среды с большим показателем преломления  $n_1$  на границу раздела со средой с меньшим показателем преломления  $n_2 < n_1$  под углом  $\alpha \geq \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$ , испытывает полное отражение

– преломленный луч полностью отсутствует (свет не выходит в среду с меньшим показателем преломления). В нашем случае показатель преломления воздуха можно считать близким к 1, а показатель преломления жидкости  $n$  должен быть больше, так что явление ПВО будет наблюдаться, и из-за него в воздух выйдут только лучи, падающие изнутри на поверхность жидкости с углами, меньшими  $\alpha_{ПВО} \equiv \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$ . Поэтому область выхода

лучей из жидкости в воздух образует круг с радиусом  $R = H \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{ПВО})$  (см. рисунок). Итак, утверждение **4 – верное**, а утверждение **1 – неверное**. Из тригонометрии ясно, что

$R \approx H \cdot \frac{1}{\sqrt{n^2 - 1}} \Rightarrow n \approx \frac{\sqrt{R^2 + H^2}}{R}$ . Согласно данным таблицы,  $n \approx 1,25$ . Поэтому

утверждение **2 – верное**. Соответствующий угол полного внутреннего отражения  $\alpha_{ПВО} = \arcsin\left(\frac{1}{n}\right) \approx 53,1^\circ$ , то есть утверждение **5 – тоже верное**.



Ответ: 245.

### Задача 10 (4 балла) [закон преломления света, область тени]

В дно водоема глубиной  $H = 2$  м вбита свая, которая на  $h = 75$  см выступает из воды. Найти длину тени от сваи на дне водоема, если высота Солнца над горизонтом в данный момент  $\varphi = 45^\circ$ . Показатель преломления воды  $n = \frac{4}{3}$ . Ответ выразить в см, округлив до целого значения.

Подсказка 1: следует построить ход луча, падающего от вершины сваи на дно водоема.

Подсказка 2: длина тени от сваи  $l$  на дне водоема складывается из суммы горизонтальных проекций участков этого луча в воздухе и в воде:  $l = l_1 + l_2 = h \cdot \operatorname{ctg}(\varphi) + H \cdot \operatorname{tg}(\beta)$ , где  $\beta$  - угол преломления этого луча в воде.

Подсказка 3: в соответствии с законом преломления  $\sin(\beta) = \frac{\sin(\alpha)}{n} = \frac{\cos(\varphi)}{n}$ .

Решение:

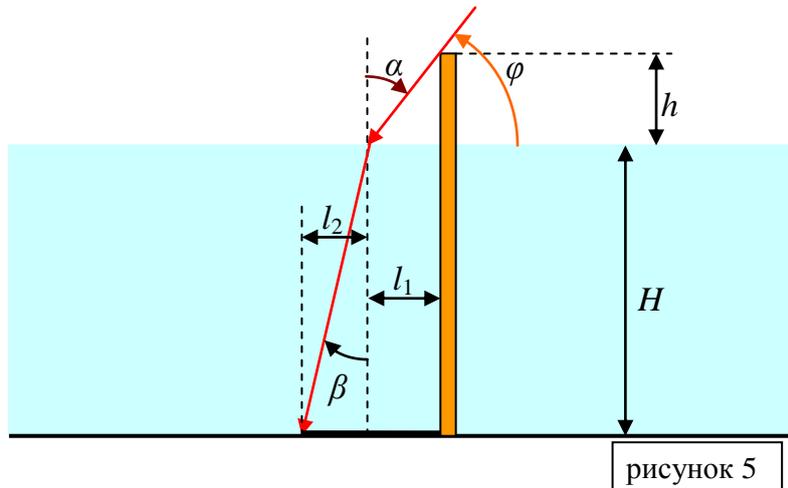


рисунок 5

Построим ход «крайнего» солнечного луча, падающего от вершины сваи на дно водоема (см. рисунке 5). Ясно, что длина тени от сваи  $l$  на дне водоема складывается из суммы горизонтальных проекций участков этого луча в воздухе и в воде:

$$l = l_1 + l_2 = h \cdot \operatorname{ctg}(\varphi) + H \cdot \operatorname{tg}(\beta).$$

Угол преломления луча  $\beta$  определяется из закона преломления: так как  $\alpha = \frac{\pi}{2} - \varphi$ , то

$$\sin(\beta) = \frac{\sin(\alpha)}{n} = \frac{\cos(\varphi)}{n}, \text{ и поэтому } \operatorname{tg}(\beta) = \frac{\sin(\beta)}{\sqrt{1 - \sin^2(\beta)}} = \frac{\cos(\varphi)}{\sqrt{n^2 - \cos^2(\varphi)}}. \text{ Итак:}$$

$$l = h \cdot \operatorname{ctg}(\varphi) + \frac{a \cos(\varphi)}{\sqrt{n^2 - \cos^2(\varphi)}} \approx 200 \text{ см.}$$

Ответ: 200.

### Задача 11 (4 балла) [тонкая линза, построение хода лучей, оптическая сила, формула линзы]

В плоскости, параллельной плоскости тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием  $F = 10$  см, движется по окружности со скоростью  $v = 5$  м/с точечный источник света. Расстояние между плоскостями равно  $a = 15$  см, центр окружности находится на главной оптической оси линзы. Найдите скорость движения изображения этого источника. Сделайте пояснительный чертёж, указав ход лучей в линзе. Ответ запишите в м/с.

Подсказка 1: Если построить изображение в линзе радиуса окружности, по которой движется источник света, то станет ясно, что это действительное увеличенное изображение.

Подсказка 2: Расстояние от плоскости линзы до плоскости, в которой движется это изображение, определяется из формулы линзы:  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F} \Rightarrow b = \frac{aF}{a - F} = 30$  см.

Подсказка 3: Отношение радиусов окружностей определяется из подобия треугольников.

Решение:

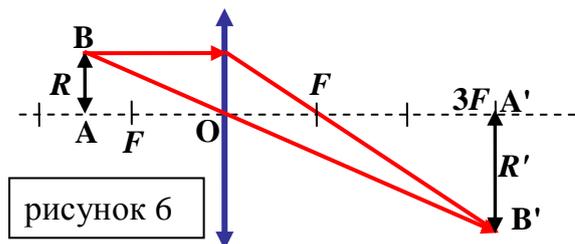


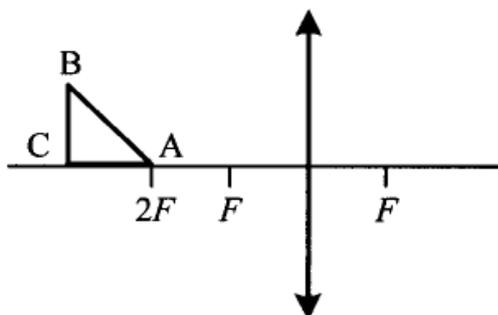
рисунок 6

Начнем с того, что, в соответствии с условием сделаем поясняющий рисунок 6. Изображение радиуса АВ окружности, по которой движется точечный источник света – отрезок А'В'. Как видно, это действительное увеличенное изображение. Расстояние от плоскости линзы до плоскости, в которой движется это изображение, определяется из формулы линзы:  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F} \Rightarrow b = \frac{aF}{a-F} = 30\text{см}$ . Из подобия треугольников ОАВ и ОА'В' следует, что радиус окружности, по которой движется изображение, больше радиуса окружности, по которой движется источник, в  $\frac{R'}{R} = \frac{b}{a} = \frac{F}{a-F} = 2$  раза. Во столько же раз больше и длина соответствующей окружности. Ясно, что период обращения источника и изображения одинаков. Поэтому во столько же раз больше будет и скорость изображения:  $v' = \frac{F}{a-F} v = 2v = 10\text{м/с}$ .

Ответ: 10.

**Задача 12 (4 балла) [тонкая линза, построение хода лучей, оптическая сила, формула линзы]**

Равнобедренный прямоугольный треугольник ABC с длиной катета  $l = 20\text{см}$  расположен перед тонкой собирающей линзой оптической силой  $D = 3\frac{1}{3}$  дптр так, что один его катет лежит на главной оптической оси линзы, как показано на рисунке. Расстояние от оптического центра линзы до точки А равно удвоенному фокусному расстоянию. Постройте изображение треугольника в линзе и определите площадь получившейся фигуры. Ответ выразить в  $\text{см}^2$  и запишите в виде целого числа.



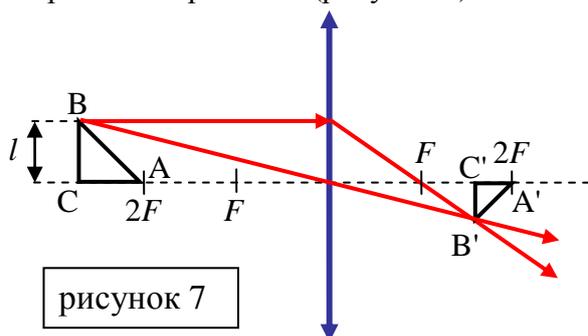
Подсказка 1: Ясно, что изображения точек А и С находятся на главной оптической оси линзы, и их положение проще всего найти с помощью формулы линзы.

Подсказка 2: Изображение точки В удобно искать как пересечение луча, идущего через оптический центр и луча, шедшего параллельно главной оптической оси линзы.

Подсказка 3: Мы должны получить, что  $|A'C'| = \frac{Fl}{F+l}$  и  $|B'C'| = \frac{Fl}{F+l}$ .

Решение:

Построим изображение (рисунок 7):



Ясно, что изображения точек А и С находятся на главной оптической оси линзы. Поэтому расстояния от линзы до них проще всего найти из формулы линзы:  $\frac{1}{2F} + \frac{1}{b_A} = \frac{1}{F} \Rightarrow b_A = 2F$ ,

и  $\frac{1}{2F+l} + \frac{1}{b_C} = \frac{1}{F} \Rightarrow b_C = \frac{F(2F+l)}{F+l}$ , где фокусное расстояние линзы  $F = \frac{1}{D} = 30\text{см}$ .

Следовательно,  $|A'C'| = b_A - b_C = \frac{Fl}{F+l}$ . С другой стороны, как видно из построения,

$|B'C'| = \frac{b_C}{2F+l}l = \frac{Fl}{F+l}$ , то есть изображение – тоже равнобедренный треугольник. Его

площадь равна  $S' = \frac{1}{2} \left( \frac{Fl}{F+l} \right)^2 = 72\text{см}^2$ .

Ответ: 72.

### Задача 13 (5 баллов) [тонкая линза, увеличение, формула линзы]

На экране с помощью тонкой линзы получено четкое изображение нити небольшой лампочки с увеличением  $k=5$ . Нить лампы размещена перпендикулярно главной оптической оси линзы, и экран также развернут перпендикулярно этой оси. Экран передвинули вдоль главной оптической оси линзы на расстояние  $s=28$  см. После этого, не меняя положение лампы, линзу сдвинули вдоль ее главной оси так, чтобы изображение на экране снова стало резким. После этого увеличение стало равно  $k'=3$ . Найдите фокусное расстояние линзы. Ответ записать в см.

Подсказка 1: Так как изображение получают на экране (оно является действительным), то линза является собирающей, и находится между предметом и его изображением на экране.

Подсказка 2: Из построения хода лучей понятно, что увеличение равно отношению расстояний от линзы до изображения предмета  $b$  и от предмета до линзы  $a$ :  $k = \frac{b}{a}$ , а с

помощью формулы линзы  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$  можно выразить  $a$  и  $b$  через  $k$  и  $F$ .

Подсказка 3: Поскольку лампу не перемещали, то  $s$  – это уменьшение расстояния между нитью лампы и экраном, то есть  $a+b$ .

Подсказка 4: Из подсказки 2 следует, что  $a = \frac{k+1}{k}F$  и  $b = (k+1)F$ , то есть  $a+b = \frac{(k+1)^2}{k}F$ .

Решение:

Так как изображение получают на экране (оно является действительным), то линза является собирающей, и находится между предметом и его изображением на экране. Снова (см. задачу 5) посмотрим на рисунок 4:

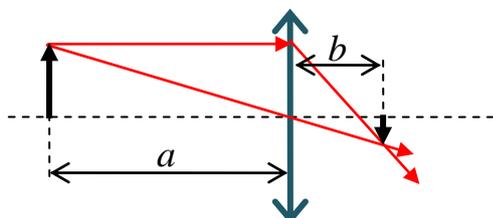


рисунок 4

Из него понятно, что увеличение равно отношению расстояний от линзы до изображения предмета  $b$  и от предмета до линзы  $a$ :  $k = \frac{b}{a}$ . Используем формулу линзы  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$  и

найдем, что  $a = \frac{k+1}{k}F$  и  $b = (k+1)F$ . Значит, расстояние между предметом и изображением

$a+b = \frac{(k+1)^2}{k} F = \frac{36}{5} F$ . Повторяя эти рассуждения для второго случая, получим, что  $a'+b' = \frac{(k'+1)^2}{k'} F = \frac{16}{3} F$ . Как видно, расстояние между нитью лампы (которую не перемещали) и экраном уменьшилось, то есть экран перемещали в сторону линзы. Значит,  $s = a+b - (a'+b') = \left[ \frac{(k+1)^2}{k} - \frac{(k'+1)^2}{k'} \right] F = \frac{28}{15} F$ . Из этого соотношения находим фокусное расстояние линзы:  $F = \frac{kk'}{(k-k')(kk'-1)} s = \frac{15}{28} s = 15 \text{ см.}$

Ответ: 15.

**Задача 14 (2 балла) [волны, длина волны, частота волны, показатель преломления]**

Источник с частотой колебаний  $2,5 \cdot 10^{14}$  Гц возбуждает в среде электромагнитные волны с длиной волны 800 нм. Чему равен показатель преломления этой среды? Ответ запишите с точностью до десятых.

Подсказка 1: При переходе электромагнитной волны из одной среды в другую частота остается неизменной, а скорость изменяется.

Подсказка 2: Скорость электромагнитной волны в среде равна произведению длины волны на частоту.

Решение:

При переходе электромагнитной волны из одной среды в другую частота остается неизменной, а скорость изменяется. По определению показателя преломления среды, он равен отношению скорости света в вакууме к скорости света в среде, а скорость электромагнитной волны в среде равна произведению длины волны на частоту. Таким образом,  $n = \frac{c}{\lambda \cdot \nu} = 1,5$ .

Ответ: 1,5.

**Задача 15 (3 балла) [дифракционная решетка, длина волны]**

Дифракционная решетка, имеющая 1000 штрихов на 1 см, расположена параллельно экрану на расстоянии 1,5 м от него. На решетку нормально падает пучок монохроматического света. Определите длину волны света, если расстояние на экране между максимумами второго порядка, расположенными по разные стороны от центрального максимума (нулевого порядка), равно 30 см. Считайте, что для угловых направлений на эти максимумы  $\text{tg}(\alpha) \approx \sin(\alpha)$ . Ответ дайте в нанометрах.

Подсказка 1: после прохождения решетки лучи, отвечающие максимуму порядка  $m$ , отклоняются на угол, определяемый условием  $d \sin(\varphi_m) = m\lambda$ .

Подсказка 2: Вторые максимумы расположены симметрично относительно главного, и расстояние между ними  $D$  на экране на расстоянии  $L$  за решеткой равно удвоенному расстоянию от главного до второго.

Подсказка 3: Поэтому  $D = 2L \text{tg}(\varphi_2)$ .

Решение:

После прохождения решетки лучи, отвечающие максимуму порядка  $m$ , отклоняются на угол, определяемый условием  $d \sin(\varphi_m) = m\lambda$ , где  $d$  – период решетки, равный  $\frac{4}{3} \cdot 10^{-5}$  м.

Поскольку можно считать, что  $\text{tg}(\varphi_2) \approx \sin(\varphi_2)$ , то  $\text{tg}(\varphi_2) \approx \frac{2\lambda}{d}$ . Вторые максимумы расположены симметрично относительно главного, и расстояние между ними  $D$  на экране

на расстоянии  $L$  за решеткой равно удвоенному расстоянию от главного до второго:

$$D = 2L \operatorname{tg}(\varphi_2) \approx \frac{4\lambda L}{d}. \text{ Значит, } \lambda \approx \frac{dD}{4L} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 500 \text{ нм}.$$

ОТВЕТ: 500.

### Задача 16 (4 балла) [дифракционная решетка, линза, длина волны]

Дифракционная решетка с периодом  $d = 10^{-5}$  м расположена параллельно экрану на расстоянии  $L = 2,5$  м от него. Между решеткой и экраном практически вплотную к решетке и параллельно ей расположена линза, которая фокусирует свет, прошедший через решетку, на экране. Решетка освещается нормально падающим монохроматическим пучком света, и при этом максимум порядка  $m = 2$  наблюдается на экране на расстоянии  $x = 15$  см от центра дифракционной картины. Найти длину волны света в нанометрах, округлив до целого значения.

Подсказка 1: после прохождения решетки лучи, отвечающие максимуму порядка  $m$ , отклоняются на угол, определяемый условием  $d \sin(\varphi) = m\lambda$ .

Подсказка 2: угол отклонения можно считать малым (так как  $x \ll L$ ), то есть  $\operatorname{tg}(\varphi) \approx \sin(\varphi) \approx \varphi$ .

Подсказка 3: линза собирает все такие лучи в точку, расположенную в фокальной плоскости, причем положение точки определяется по отклонению от оси линзы луча, проходящего под углом  $\varphi$  к оси через оптический центр линзы.

Решение:

После прохождения решетки лучи, отвечающие максимуму порядка  $m$ , отклоняются на угол, определяемый условием  $d \sin(\varphi) = m\lambda$ . Поскольку угол отклонения можно считать малым (так как  $x \ll L$ ), то  $\varphi \approx m \frac{\lambda}{d}$ . Линза собирает все такие лучи в точку, расположенную в фокальной плоскости (она попадает на экран, так как там наблюдается дифракционная картина). Ясно, что положение точки определяется по отклонению от оси линзы луча, проходящего под углом  $\varphi$  к оси через оптический центр линзы, то есть  $x = L \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \approx m \frac{\lambda L}{d}$ .

Выражая длину волны, находим:  $\lambda \approx \frac{dx}{mL} = 300 \text{ нм}$ .

Ответ: 300.