

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение дополнительного образования детей  
«Заочная физико-техническая школа  
Московского физико-технического института  
(государственного университета)»**

**ФИЗИКА**

**Тонкие линзы**

Задание №5 для 8-х классов

(2012 – 2013 учебный год)



г. Долгопрудный, 2013

*Составитель:* В.П. Слободянин, доцент кафедры общей физики МФТИ.

Физика: задания №5 для 8-х классов (2012 – 2013 учебный год), 2013, 20 с.

**Дата отправления заданий по физике и математике – 15 апреля 2013 г.**

Учащийся должен стараться выполнить все задачи и контрольные вопросы в заданиях. Некоторая часть теоретического материала, а также часть задач и контрольных вопросов являются сложными и требуют от учащегося больше усилий при изучении и решении. В целях повышения эффективности работы с материалом они обозначены символом «\*» (звёздочка). Мы рекомендуем приступать к этим задачам и контрольным вопросам в последнюю очередь, разобравшись вначале с более простыми.

Составитель:

**Слободянин Валерий Павлович**

Подписано 14.03.13. Формат 60×90 1/16.

Бумага типографская. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,25.

Уч.-изд. л. 1,11. Тираж 400. Заказ №12-з.

Заочная физико-техническая школа  
Московского физико-технического института  
(государственного университета)

ООО «Печатный салон ШАНС»

Институтский пер., 9, г. Долгопрудный, Москов. обл., 141700.

ЗФТШ, тел./факс (495) 408-51-45 – **заочное отделение**,

тел./факс (498) 744-63-51 – **очно-заочное отделение**,

тел. (499) 755-5580 – **очное отделение**.

*e-mail:* [zftsh@mail.mipt.ru](mailto:zftsh@mail.mipt.ru)

**Наш сайт:** [www.school.mipt.ru](http://www.school.mipt.ru)

© ЗФТШ, 2013

## §1. Преломление света на тонком клине

Прежде чем изучать тонкие линзы, давайте решим задачу о прохождении узкого пучка света через тонкий клин. Тонким клином называется стеклянная призма, у которой угол  $\alpha$  при вершине мал ( $\alpha \ll 1$ ). Чтобы изготовить такой клин в заводских условиях, берут стеклянную плоскопараллельную пластинку и на шлифовальном станке часть одной из её граней стачивают под малым углом  $\alpha$  (рис. 1.1). Если левую грань клина сошлифовать так, что она уменьшится на толщину плоскопараллельной пластинки  $ABCD$ , то угол отклонения узкого пучка света, падающего под малым углом  $\varphi_1$  на клин, не изменится. Поэтому договорились изображать клин так, как показано на рис. 1.2. Пусть  $n$  – показатель преломления материала клина. Найдём угол  $\delta$  отклонения луча от исходного направления. Задачу будем решать в предположении, что углы  $\alpha$  и  $\varphi_1$  малы. На рис. 1.3 эти углы для наглядности сильно увеличены.

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= n\psi_1, \\ \varphi_2 &= n\psi_2. \end{aligned} \right\} \text{ Приближенный закон Снелла (см. §7 задания 4).}$$

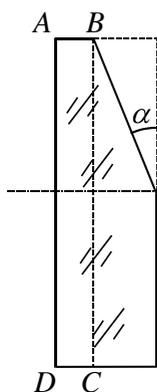


Рис. 1.1

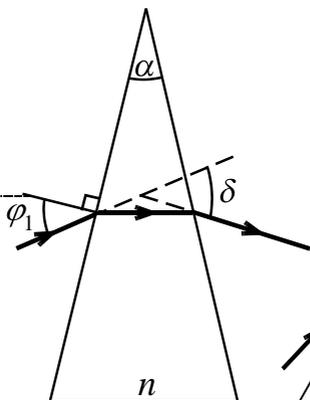


Рис. 1.2

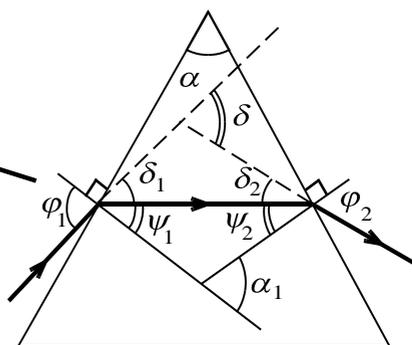


Рис. 1.3

Угол отклонения луча на первой грани  $\delta_1 = \varphi_1 - \psi_1 = (n-1)\psi_1$ .

Угол отклонения луча на второй грани  $\delta_2 = \varphi_2 - \psi_2 = (n-1)\psi_2$ .

По теореме о внешнем угле треугольника угол отклонения луча, прошедшего сквозь клин, равен  $\delta = \delta_1 + \delta_2 = (n-1)(\psi_1 + \psi_2)$ .

По той же теореме  $\alpha_1 = \psi_1 + \psi_2$ , а углы  $\alpha$  и  $\alpha_1$  равны как углы со взаимно перпендикулярными сторонами. В итоге мы получим:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = (n-1)(\psi_1 + \psi_2) = (n-1)\alpha_1 = (n-1)\alpha.$$

Итак, **угол отклонения  $\delta$  пучка параллельных лучей, прошедших сквозь тонкий клин, не зависит от угла падения и остаётся постоянной величиной:**

$$\delta = (n-1)\alpha. \tag{1.1}$$

Иногда у плоскопараллельной пластинки стачивают под малыми углами обе половины одной из граней (см. рис. 1.4). По-



Рис. 1.4

лучившееся устройство называют *бипризмой*. Если на бипризму пустить широкий пучок параллельных лучей света, то после прохождения бипризмы пучки станут сходящимися. Рассмотрим **пример 1.1**. На бипризму, изготовленную из стекла с показателем преломления  $n = 1,5$  и имеющую ширину  $b = 3$  см, пустили широкий пучок параллельных лучей света. Углы при вершине бипризмы одинаковы и равны  $\alpha = 0,05$  рад. За бипризмой образовалось два сходящихся пучка параллельных лучей.

1) Под каким углом  $\varphi$  будут сходящиеся лучи?

Если за бипризмой установить экран, то на нём можно наблюдать

область, освещённую обоими пучками.

2) На каком расстоянии  $L_1$  от бипризмы нужно установить экран, чтобы область перекрытия пучков была максимальной?

3) На каком максимальном расстоянии  $L_2$  от бипризмы пучки лучей ещё будут пересекаться?

**Решение.** 1) Изобразим

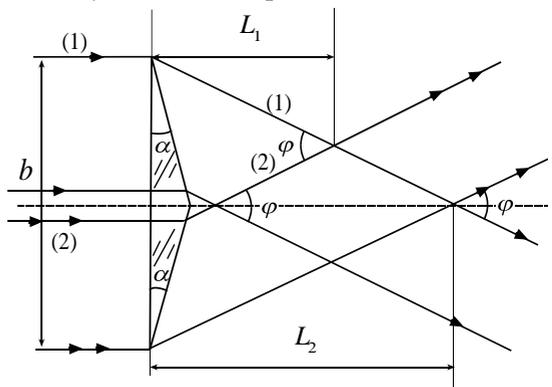


Рис. 1.2

ход лучей за бипризмой (рис. 1.2). Верхняя половина бипризмы отклонит падающий пучок лучей вниз на угол

$$\delta_1 = (n-1)\alpha = 0,025 \text{ рад},$$

а нижняя – вверх на такой же по величине угол

$$\delta_2 = (n-1)\alpha.$$

Следовательно, пучки будут сходиться под углом

$$\varphi = 2\delta_1 = 2(n-1)\alpha = 0,05 \text{ рад}.$$

2) Максимальная область перекрытия пучков находится там, где пересекаются лучи (1) и (2) (см. рис. 1.2).

В силу малости угла  $\varphi$  искомое расстояние  $L_1 \approx \frac{b}{2\varphi} = \frac{b}{4\alpha(n-1)} = 30 \text{ см}.$

3) Из того же рисунка легко видеть, что максимальное расстояние  $L_2 = 2L_1 = 60 \text{ см}.$

## §2. Тонкая линза

Слово «линза» произошло от латинского *lens* – чечевица. В оптике под линзой понимают прозрачное тело, ограниченное выпуклыми или вогнутыми поверхностями и преобразующее форму светового пучка. Одна из поверхностей линзы может быть плоской. Мы будем рассматривать линзы, находящиеся в воздухе, если иное специально не оговорено. Если линза преобразует пучок параллельных лучей в сходящийся, её называют *собирающей* или *положительной*. Если после прохождения линзы пучок параллельных лучей становится расходящимся, линзу называют *рассеивающей* или *отрицательной*. Существует огромное разнообразие типов линз. Так, для решения некоторых научных задач используют цилиндрические линзы (рис. 2.1). Но наиболее широкое распространение получили линзы, обе преломляющие поверхности которых представляют собой части сфер с разными радиусами кривизны.

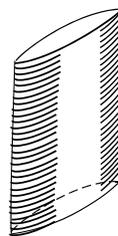


Рис. 2.1

Такие линзы относительно просты в изготовлении. Собирающие линзы делятся на двояковыпуклые, плосковыпуклые, вогнутовыпуклые. Рассеивающие – на двояковогнутые, плосковогнутые и

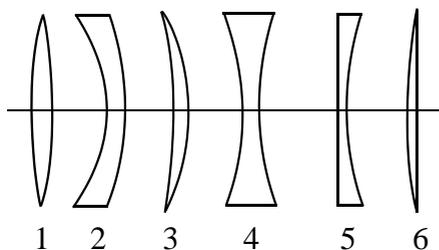


Рис. 2.2

отметить, что упрощённый подход, который мы будем использовать в нашем исследовании, с одной стороны, позволяет ясно понять основные свойства тонких линз, с другой, – не позволяет учесть некоторые эффекты, например

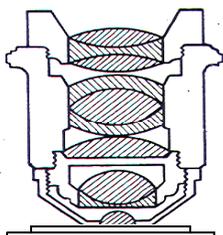


Рис. 2.3

искажения (их называют абберациями), неизбежно возникающие при прохождении света через реальные *толстые* линзы.

Здесь уместно отметить, что упрощённый подход, который мы будем использовать в нашем исследовании, с одной стороны, позволяет ясно понять основные свойства тонких линз, с другой, – не позволяет учесть некоторые эффекты, например искажения (их называют абберациями), неизбежно возникающие при прохождении света через реальные *толстые* линзы.

Для того чтобы исправить абберации, при производстве оптических приборов часто используют составные линзы или линзы, поверхность которых имеет специальную форму, например, параболическую.

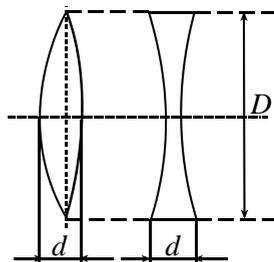


Рис. 2.4

Заметим, что хороший объектив микроскопа может содержать более десяти линз (рис. 2.4).

### §3. Фокусные расстояния плосковыпуклой линзы

Рассмотрим линзу, представляющую собой кусок стекла, который с одной стороны ограничен плоской поверхностью, а с другой – сферической (рис. 3.1). Пусть радиус сферической поверхности равен  $R$ , а показатель преломления стекла  $n$ . Глав-

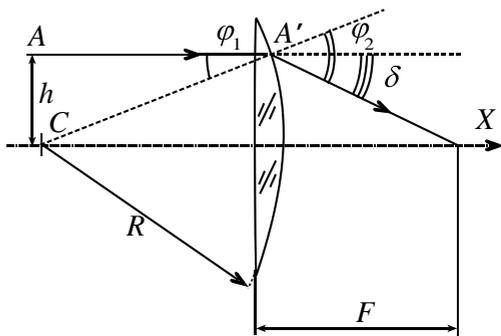


Рис. 3.1

**ной оптической осью** такой линзы назовём прямую  $CX$ , перпендикулярную плоской поверхности линзы и проходящую через центр кривизны  $C$  выпуклой поверхности. Предположим, что слева на плоскую поверхность линзы падает пучок лучей, параллельных главной оптической оси. Выберем из этого пучка произвольный луч  $AA'$ , проходящий на расстоянии  $h$  от главной оптической оси. Этот луч, преломившись на сферической поверхности, пересечёт главную оптическую ось на некотором расстоянии  $F$  от линзы. Если угол падения  $\varphi_1$  мал, то мы сможем воспользоваться приближённым законом Снелла:  $n \varphi_1 = \varphi_2$ .

Угол отклонения

$$\delta = \varphi_2 - \varphi_1 = (n - 1) \varphi_1. \quad (3.1)$$

Так как углы  $\delta$  и  $\varphi_1$  малы, запишем приближённое равенство:

$$\delta \approx \frac{h}{F}; \quad \varphi_1 \approx \frac{h}{R}.$$

Если полученные выражения подставить в формулу (3.1) и сократить на общий множитель  $h$ , то мы получим:  $\frac{1}{F} = P = \frac{n-1}{R}$ , или

$$F = \frac{R}{n-1}. \quad (3.2)$$

**Внимание!** Длина отрезка  $F$  не зависит от произвольно выбранной нами высоты  $h$ , следовательно, все лучи из падающего пучка пересекутся в одной и той же точке, называемой **фокусом** линзы. Само же расстояние  $F$  называют **фокусным расстоянием линзы**, а физическую величину  $P$  – **оптической силой линзы**. В системе СИ она измеряется в диоптриях и обозначается **дптр**. По определению 1 дптр – это оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м.

**Пример 3.1.** Вычислите оптическую силу линзы с фокусным расстоянием  $F = 16$  см.

**Решение.** Выразим фокусное расстояние линзы в метрах:  $16 \text{ см} = 0,16 \text{ м}$ . По определению оптическая сила  $P = 1/(0,16 \text{ м}) = 6,25$  дптр.

**Ответ:**  $P = 6,25$  дптр.

Можно показать (подумайте, как), что если пучок лучей, параллельных главной оптической оси, направить справа на выпуклую поверхность плосковыпуклой линзы, то все они, дважды преломившись в лин-

зе, пересекутся на главной оптической оси в точке, отстоящей от линзы на таком же расстоянии  $F$ . То есть у линзы два фокуса. В этой связи договорились один фокус, в котором собираются параллельные лучи света, прошедшие сквозь собирающую линзу, называть *задним*, а другой фокус – *передним*. Для рассеивающих линз задний фокус (тот, в котором пересекаются продолжения параллельных лучей, падающих на линзу) находится со стороны источника, а передний – с противоположной стороны.

### §4. Формула тонкой собирающей линзы

Рассмотрим двояковыпуклую собирающую линзу. Прямая  $OX$ , проходящая через центры кривизны преломляющих поверхностей линзы, называется её **главной оптической осью** (сравните это определение с определением из §3 для плосковыпуклой линзы). Предположим, что точечный источник света  $S_1$  расположен на этой оси. Проведём из точки  $S_1$  два луча. Один – вдоль главной оптической оси, а другой – под углом  $\varphi_1$  к ней, в точку  $M$  линзы, отстоящую от главной оптической оси на расстоянии  $h$  (рис. 4.1). Преломившись в линзе, этот луч пересечёт главную оптическую ось в некоторой точке  $S_2$ , которая есть изображение источника  $S_1$ .

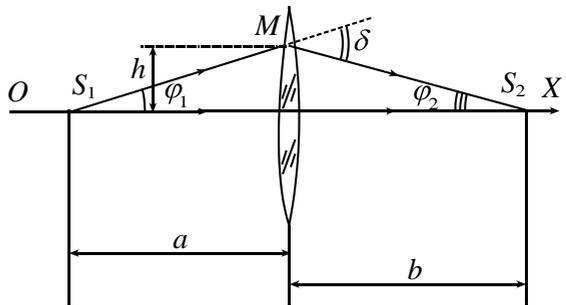


Рис. 4.1

Предположим, что углы, которые рассматриваемый луч образует с главной оптической осью линзы, малы. Тогда

$$\varphi_1 \approx \frac{h}{a}, \quad \varphi_2 \approx \frac{h}{b}. \quad (4.1)$$

Легко видеть, что угол отклонения  $\delta$  является внешним для треугольника  $S_1MS_2$ . По теореме о внешнем угле треугольника

$$\varphi_1 + \varphi_2 = \delta. \quad (4.2)$$

Фрагмент линзы в окрестности точки  $M$ , через которую прошёл рассматриваемый луч, можно считать тонким клином. Ранее мы показали, что для тонкого клина угол отклонения есть величина постоянная и не зависит от угла падения. Значит, сместив источник  $S_1$  вдоль главной оптической оси и удалив его на бесконечность, мы добьёмся того, что после прохождения линзы луч пройдёт через её фокус, а угол отклонения будет

$$\delta \approx \frac{h}{F}. \quad (4.3)$$

Здесь  $F$  – фокусное расстояние линзы. Подставим выражения (4.1) и (4.3) в формулу (4.2). После сокращения на множитель  $h$  получим:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}. \quad (4.4)$$

Мы получили формулу тонкой собирающей линзы. Не забудьте, что она получена в параксиальном приближении (для малых углов  $\varphi_1, \varphi_2, \delta$ ). Первенство в выводе этой формулы приписывают замечательному французскому естествоиспытателю Рене Декарту.

Обычно предметы или источники света изображают слева от линзы.

**Задача 4.1.** Найдите фокусное расстояние  $F$  линзы, составленной из двух собирающих линз с фокусными расстояниями  $F_1$  и  $F_2$ . Линзы прижаты вплотную одна к другой, а их главные оптические оси совпадают.

**Решение.** Линзу, составленную из двух плотно прижатых друг к другу тонких линз, тоже можно считать тонкой собирающей линзой, а это значит, что и для неё справедлива формула (4.4). Поместим точечный источник света  $S_1$  в переднем фокусе первой линзы. Для составной линзы  $a = F_1$ . Лучи, испущенные  $S_1$ , после прохождения первой линзы пойдут параллельно её главной оптической оси. Но рядом находится вторая линза. Пучок параллельных лучей, падающих на вторую линзу, сойдётся в её заднем фокусе (точка  $S_2$ ) на расстоянии  $F_2$ . Для составной линзы расстояние  $b = F_2$ . Выполнив соответствующие подстановки в (4.4), получим:

$$\frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} = \frac{1}{F}. \quad (4.5)$$

Это соотношение можно выразить через оптические силы линз:

$$P_1 + P_2 = P. \quad (4.6)$$

Мы получили очень важный результат – *оптическая сила системы линз, плотно прижатых друг к другу, равна сумме их оптических сил.*

### §5. Формула тонкой рассеивающей линзы

Рассмотрим двояковогнутую рассеивающую линзу.  $OX$  – её главная оптическая ось. Предположим, что точечный источник света  $S_1$  расположен на этой оси. Как и в предыдущем параграфе, проведём из точки  $S_1$  два луча. Один – вдоль главной оптической оси, а другой – под углом к ней в точку  $M$  линзы, отстоящую от главной оптической оси на расстоянии  $h$  (рис. 5.1). Преломившись в линзе, этот луч будет ещё сильнее удаляться от главной оптической оси. Если его продолжить обратно, за линзу, то он пересечёт главную оптическую ось в некоторой точке  $S_2$ , называемой изображением источника  $S_1$ . Поскольку изображение получено в результате мысленного, воображаемого пересечения лучей, то и называют его *мнимым*.

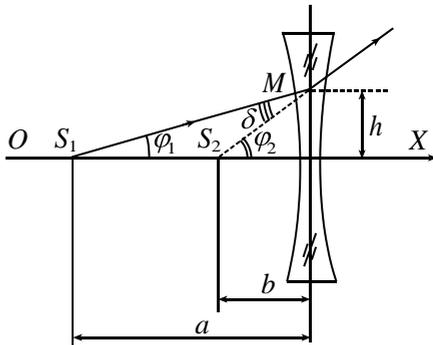


Рис. 5.1

Легко видеть, что угол  $\varphi_2$  является внешним для треугольника  $S_1MS_2$ . По теореме о внешнем угле треугольника

$$\varphi_1 + \delta = \varphi_2. \quad (5.1)$$

Фрагмент линзы, в окрестности точки  $M$  через которую прошёл рассматриваемый луч, можно рассматривать как тонкий клин. Смещая источник  $S_1$  вдоль главной оптической оси и, удаляя его на бесконечность, мы добьёмся того, что луч, параллельный главной оптической оси, после преломления в линзейдёт через её фокус, а угол отклонения будет равен

$$\delta \approx \frac{h}{F}, \quad (5.2)$$

где  $F$  – фокусное расстояние линзы. Мы по-прежнему считаем, что углы, которые рассматриваемый луч образует с главной оптической осью линзы, малы. Тогда

$$\varphi_1 \approx \frac{h}{a}, \quad \varphi_2 \approx \frac{h}{b}. \quad (5.3)$$

Подставим выражения (5.2) и (5.3) для углов в формулу (5.1). После сокращения на общий множитель  $h$  получим:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{F} = \frac{1}{b}. \quad (5.4)$$

Обычно выражение (5.4) записывают в несколько ином виде:

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{F}. \quad (5.5)$$

Мы получили формулу так называемой тонкой рассеивающей линзы. В качестве расстояний  $a$ ,  $b$ ,  $F$  берутся их арифметические значения.

## §6. Построение изображений, даваемых тонкой линзой

На оптических схемах линзы принято обозначать в виде отрезка со стрелками на концах. У собирающих линз стрелки направлены наружу, а у рассеивающих – к центру отрезка.

Рассмотрим порядок построения изображений, которые создаёт собирающая линза (рис. 6.1). Поместим слева от линзы на расстоянии, большем фокусного, вертикальную стрелку (предмет)  $AB$ . Из точки  $B$  пустим на линзу луч (1) параллельно главной оптической оси. Преломившись, этот луч пройдёт через задний фокус вправо и вниз. Второй луч пустим через передний фокус. Преломившись в линзе, он пойдёт вправо параллельно главной оптической оси. Существует точка  $B_1$  в которой оба луча пересекутся.  $B_1$  есть изображение точки  $B$ . Любой другой луч, вышедший из  $B$  и прошедший сквозь линзу, также должен прийти в точку  $B_1$ . Аналогичным образом построим изображение точки  $A$ . И так, мы построили изображение предмета  $AB$  в тонкой линзе. Из рис. 6.1 видно что:

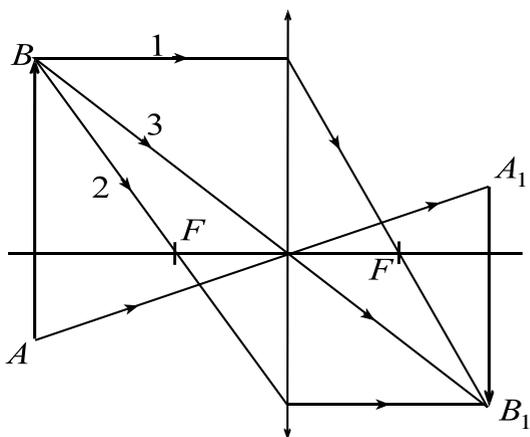


Рис. 6.1

1) изображение стрелки **действительное** (если на место изображения стрелки поместить плоский экран, то на нём можно увидеть её изображение);

2) изображение **перевернутое** (относительно самой стрелки). Как сама стрелка

$AB$ , так и её изображение  $A_1B_1$  перпендикулярны главной оптической оси.

Отметим два достаточно общих свойства тонкой линзы:

- **прямую линию линза отображает в прямую;**
- **если плоский предмет перпендикулярен главной оптической оси, то и его изображение будет перпендикулярным этой оси.**

Вообще же, углы у протяжённых предметов, расположенных вдоль главной оптической оси, и углы у их изображений различны. Это видно из рис. 6.2. Квадрат  $ABCD$  линза «превратила» в трапецию  $A_1B_1C_1D_1$ .

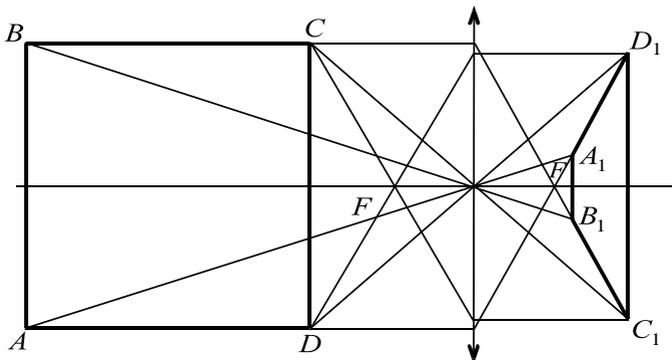


Рис. 6.2

Если справа и слева от тонкой линзы находится одна и та же среда (обычно это воздух), то для построения изображения заданной точки может оказаться полезным ещё один «замечательный» луч – тот, который идёт через центр линзы. На рис. 6.1 он помечен как луч (3). Проходя через линзу, он не меняет своего направления и так же, как и первые луча, два приходит в точку  $B_1$ .

Иногда такой луч, проходящий через центр линзы, за его «несгибаемость» называют **побочной оптической осью**.

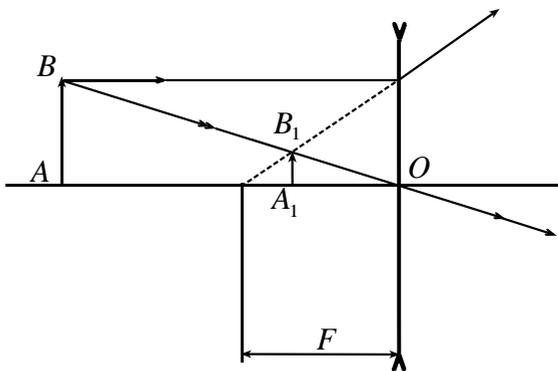


Рис. 6.3

Теперь построим изображение предмета  $AB$  в рассеивающей линзе. Для этого пустим луч из точки  $B$  параллельно главной оптической оси. Преломившись в линзе, он пойдёт вверх так, как будто был испущен из фокуса и шёл не преломляясь (рис. 6.3). Воображаемую часть луча от фокуса до линзы обозначим пунктирной линией. Другой луч пустим через оптический центр  $O$  линзы. Изображение  $B_1$  точки  $B$  будет лежать на пересечении этого луча с воображаемой (пунктирной линией). Изображение точки  $A$  лежит на пересечении вертикальной линии, проходящей через  $B_1$ , с главной оптической осью.

## §7. Поперечное увеличение

Линзы, зеркала или более сложные оптические инструменты обладают некоторыми общими свойствами. При рассмотрении этих свойств удобно называть рассматриваемые инструменты *оптическими системами* (ОС). Пусть стрелка  $AB$  расположена перед (ОС) перпендикулярно её главной оптической оси.

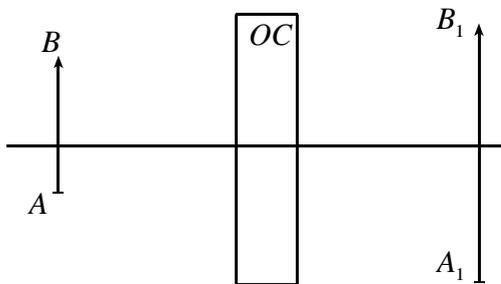


Рис. 7.1

Пусть, далее,  $A_1B_1$  – изображение этой стрелки (рис. 7.1).

**Определение.** *Поперечным увеличением* оптической системы называется отношение длины изображения предмета  $A_1B_1$  к длине  $AB$  самого предмета. Здесь важно запомнить, что предмет лежит в плоскости, перпендикулярной к главной оптической оси системы. Будем обозначать такое увеличение буквой  $\Gamma$ .

Выведем формулы для поперечного увеличения тонкой линзы. Пусть расстояние от стрелки  $AB$  до линзы равно  $a$ , а расстояние от линзы до её изображения  $A_1B_1$  равно  $b$  (рис. 7.2). Из подобия треугольников  $ABO$  и  $A'B'O'$  следует, что:

$$\Gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{b}{a}. \quad (7.1)$$

Для  $\Gamma$  можно получить и другие выражения. Из подобия треугольников  $ABC$  и  $ODC$  получим:

$$\Gamma = \frac{OD}{AB} = \frac{OC}{AC} = \frac{F}{a-F}, \quad (7.2)$$

или

$$\Gamma = \frac{A'B'}{OK} = \frac{b-F}{F}. \quad (7.3)$$

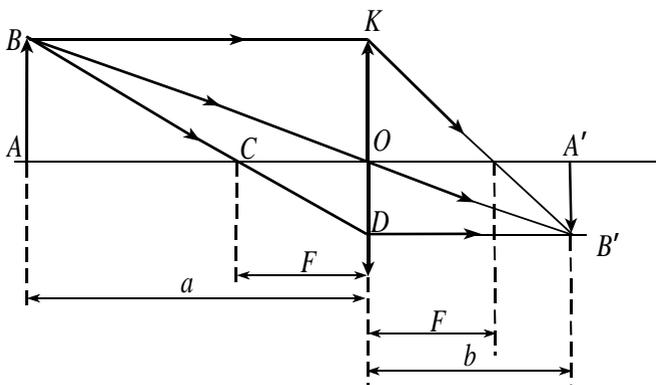


Рис. 7.2

Для собирающей линзы в таблице 1 приведены качественные характеристики изображения плоского предмета, зависящие от отношения расстояний  $a$  и  $F$ .

Таблица 1.

Расстояние от линзы до предмета	Изображение прямое или перевёрнутое	Изображение действительное или мнимое	Изображение увеличенное или уменьшенное
$a < F$	прямое	мнимое	увеличенное
$F < a < 2F$	перевёрнутое	действительное	увеличенное
$a > 2F$	перевёрнутое	действительное	уменьшенное

С помощью построений убедитесь в правильности данной таблицы.

## §8. Примеры решения задач

**Задача 8.1.** Луч света, выходящий из воды ( $n_1 = 4/3$ ), падает на её поверхность под предельным углом полного отражения. Выйдет ли луч

в воздух, если на поверхности воды налить слой кедрового масла ( $n_2 = 1,52$ )?

**Решение.** Запишем условие прохождения луча света через воду, кедровое масло и (возможно) воздух. Согласно формуле (5.1) предыдущего задания,  $n_1 \sin \varphi_{\text{кр},1} = n_2 \sin \varphi_2 = \sin 90^\circ = 1$ . Следовательно, луч света, проникший в плёнку из кедрового масла, будет падать на границу раздела масло-воздух под углом  $\varphi_2$  (предельным углом для кедрового масла), а это значит, что он и в этом случае не выйдет в воздух.

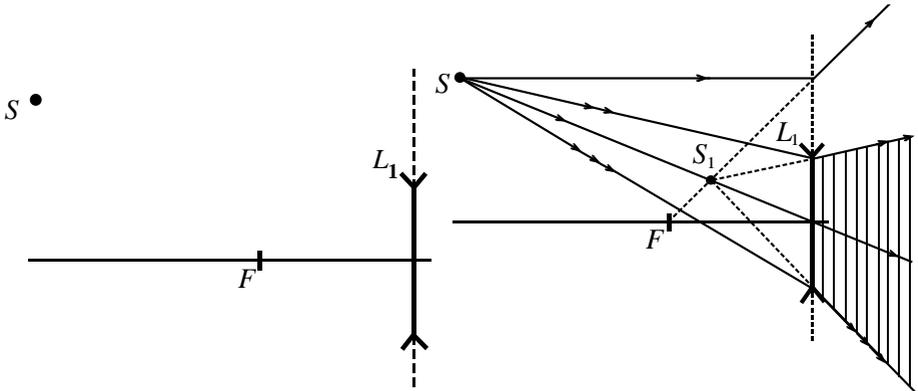


Рис. 8.1

Рис. 8.2

**Задача 8.2.** Перед рассеивающей линзой  $L_1$  с известным диаметром  $D$  находится точечный источник  $S$ , не лежащий на главной оптической оси этой линзы (рис. 8.1). Постройте изображение  $S_1$  источника. Покажите штриховкой область, из которой наблюдатель может видеть изображение  $S_1$ .

**Решение.** Порядок построения изображения в рассеивающей линзе описан в §6. Наблюдателю, который видит сквозь линзу изображение  $S_1$ , будет казаться, что лучи, не преломляясь, идут от изображения  $S_1$ . Штриховкой (рис. 8.2) отмечена искомая область. Из других мест изображение  $S_1$  увидеть нельзя.

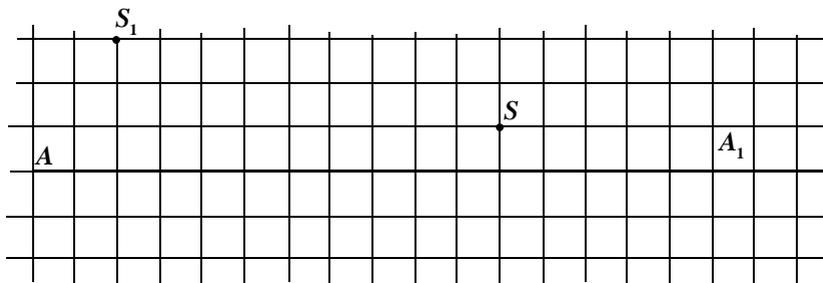


Рис. 8.3

**Задача 8.3.** Тонкая линза создаёт изображение  $S_1$  точечного источника  $S$  (рис. 8.3).  $AA_1$  – главная оптическая ось линзы. Восстановите положение линзы. Собирающая или рассеивающая эта линза?

**Решение.** Проведём через точки  $S_1$  и  $S$  прямую до пересечения с главной оптической осью (рис. 8.4). Эта прямая – побочная оптическая ось (см. §6). Следовательно, точка  $O$  пересечения оптических осей – оптический центр линзы. Плоскость линзы перпендикулярна главной оптической оси. Проведём из точки  $S$  луч (1) параллельно главной оптической оси. Преломившись в линзе, он должен пройти через её фокус. Кроме того, этот луч (или его продолжение) должен пройти через точку  $S_1$  (изображение точки  $S$ ). Т. к. через  $S_1$  проходит воображаемое продолжение луча, то изображение мнимое, прямое, увеличенное, а линза собирающая (см. таблицу 1).

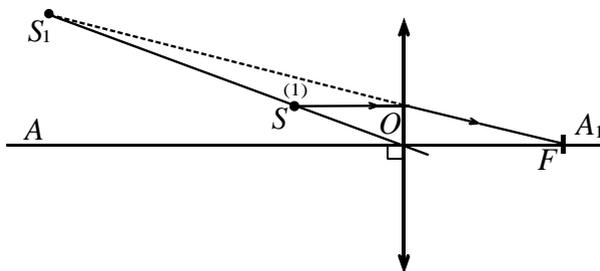


Рис. 8.4

### Контрольные вопросы

1. На главной оптической оси собирающей линзы находится точеч-

ный источник света  $S$ . Он отстоит от оптического центра на расстоянии  $x(2F < x < 3F)$ . Постройте изображение  $S_1$  этого источника.

2. Плосковыпуклую линзу с фокусным расстоянием  $F_1 = 20$  см и плосковогнутую линзу с фокусным расстоянием  $F_2 = -25$  см соединили вместе плоскими сторонами. Вычислите оптическую силу  $P$  составной линзы?

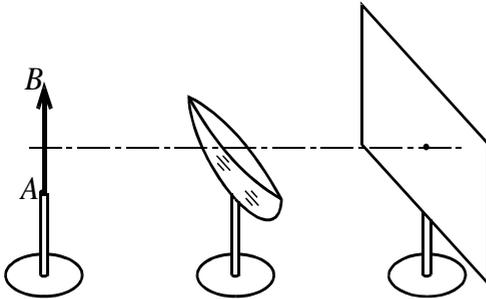


Рис. 1

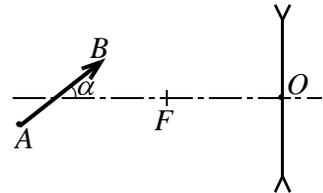


Рис. 2

3. Собирающая линза давала на экране перевёрнутое изображение предмета  $AB$ . Какие изменения произойдут с изображением, если целую линзу заменить на сломанную, у которой отколота верхняя половина (рис. 1)? Будет ли теперь на экране видно все изображение предмета или только его часть?

4. Отрезок  $AB$  образует с главной оптической осью рассеивающей линзы острый угол  $\alpha$  (рис. 2). С помощью циркуля и линейки без делений постройте изображение  $A_1B_1$  этого отрезка.

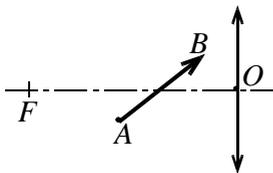


Рис. 3

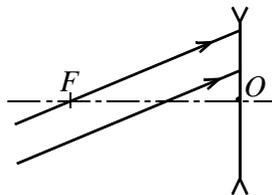


Рис. 4

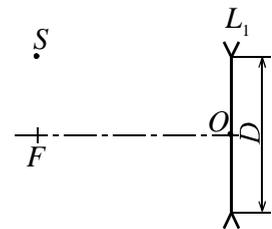


Рис. 5

5. Постройте изображение стрелки  $AB$ , находящейся перед тонкой собирающей линзой (между левым фокусом и линзой) (рис. 3).

6. На линзу падают два параллельных луча (рис. 4). Изобразите качественно ход лучей после их выхода из линзы.

7. Рассеивающая линза  $L_1$  известного диаметра  $D$  даёт мнимое изображение  $S_1$  точечного источника  $S$  (рис. 5). Сделайте чертёж, соответствующий этой ситуации. Покажите штриховкой область, из которой наблюдатель может видеть изображение  $S_1$ .

8. Имеется два тонких клина. У первого клина угол при вершине в 1,2 раза больше, а показатель преломления стекла, из которого он изготовлен, в 1,2 раза меньше, чем у второго клина. У какого клина угол отклонения больше?

### Задачи

1. На призму с преломляющим углом  $\alpha$  под углом  $\varphi_1$  падает луч света (рис. 6). Из призмы этот луч выходит под тем же углом  $\varphi_1$ . Найдите угол отклонения  $\delta$ .

2. В аквариум, заполненный жидкостью с показателем преломления  $n$ , поместили тонкий стеклянный клин с показателем преломления  $n_c$  (считайте, что  $n < n_c$ ) и углом при вершине, равным  $\alpha$  ( $\alpha \ll 1$ ). Найдите угол отклонения  $\delta$  световых лучей, прошедших сквозь клин (рис. 7) (угол падения считать малым).

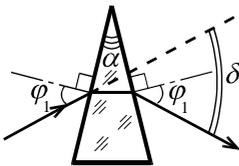


Рис. 6

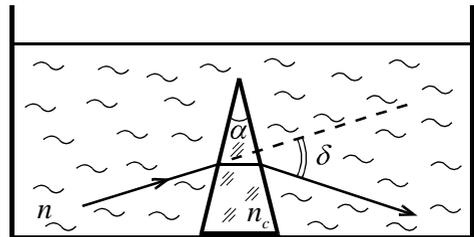


Рис.7

3. На рис. 8 изображена двояковыпуклая линза. Слева от линзы находится точечный источник света  $S$ . Укажите координаты точки пересечения лучей, вышедших из линзы.

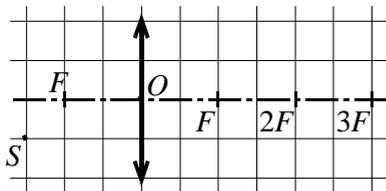


Рис. 8

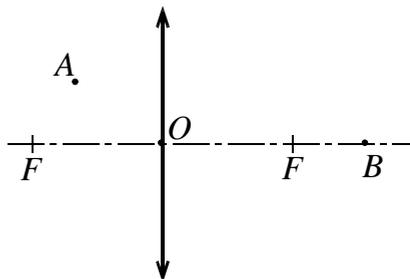


Рис. 9

4. Две плосковыпуклые линзы с одинаковым фокусным расстоянием имеют разные радиусы кривизны выпуклых поверхностей. Какая из линз изготовлена из вещества с меньшим показателем преломления?

5. Отрезок  $AB$  образует с главной оптической осью рассеивающей линзы острый угол  $\alpha$ , а его изображение – угол  $\beta$ . Можно ли однозначно сказать, какой из углов больше? Ответ обоснуйте.

6\*. Точечный источник света  $S$  находится на главной оптической оси линзы. Чему равно фокусное расстояние этой линзы, если расстояние от источника  $S$  до линзы и от линзы до его изображения  $S_1$  одинаково и равно  $L$  ( $L > 0$ )? Какая это линза – собирающая или рассеивающая?

7. Расстояние  $L$  между точечным источником  $S$  света и экраном равно 100 см. Между линзой и экраном помещают собирающую линзу. Каким может быть максимальное фокусное расстояние  $F$  этой линзы, при котором на экране ещё можно будет видеть чёткое изображение источника  $S$ ?

**8\***. На рис. 9 была изображена оптическая схема, в которой луч света проходит через точку  $A$  по направлению к собирающей линзе, а после преломления в ней идёт через точку  $B$ , лежащую на главной оптической оси. С помощью циркуля и линейки без делений восстановите ход луча.