

## ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

### §3.1. ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА

Геометрическая оптика — один из древнейших разделов физики. Первые оптические законы — прямолинейное распространение и отражение света — были установлены Евклидом в III веке до нашей эры. Концепция геометрической оптики заключается в том, что всякий источник света испускает световые лучи, которые, распространяясь по определенным траекториям, попадают в глаз наблюдателя.

**3.1.1. Представление о световых лучах. Закон прямолинейного распространения и отражения света.** Экспериментально определить, лежат несколько точек на одном световом луче или нет, можно следующим образом. Поместим в данные точки маленькие предметы (например, воткнем булавки в картон). Если при определенном угле зрения удастся увидеть, что предметы расположены точно один за другим, — световой луч проходит через точки, в которых расположены предметы. Как вытекает из многочисленных наблюдений, *свет в однородной среде распространяется прямолинейно* — световые лучи являются прямыми линиями.

Закон прямолинейного распространения света используется при решении задач на отбрасывание теней и угловые размеры предметов.

При попадании лучей на зеркало закон прямолинейного распространения света нарушается. Как показали многочисленные эксперименты, известные со времен Евклида,

- перпендикуляр  $n$ , проходящий через точку падения луча на поверхность зеркала, падающий и отраженный лучи лежат в одной плоскости;
- падающий и отраженный лучи лежат по разные стороны от прямой  $n$ ;
- угол падения (острый угол между прямой  $n$  и падающим лучом) равен углу отражения (углу между прямой  $n$  и отраженным лучом), см. рис. 3.1.

Совокупность этих трех утверждений называется *законом отражения света*.

При падении светового пучка на сферическую поверхность нормалью (перпендикуляром) к ней считается радиус, проведенный в точку падения.

### 3.1.2. Построение изображения точечного источника в плоском зеркале. Мнимый характер изображения.

Пусть на расстоянии  $l$  от плоского зеркала расположен точечный источник света  $S$ . Используя закон отражения света, объясним, почему наблюдатель видит изображение этого источника, и определим, на каком расстоянии от зеркала оно находится.

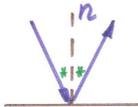


Рис. 3.1. \*\*\*

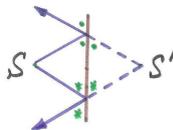


Рис. 3.2. \*\*\*

Рассмотрим два луча, исходящие из источника  $S$  (рис. 3.2). После отражения от зеркала они будут распространяться согласно рисунку. Предположим, что эти два луча попали в глаз наблюдателя. Тогда, увидев эти лучи, наблюдатель подумает, что они испущены из точки  $S'$  пересечения продолжения лучей. Обозначая на рисунке равные углы одинаковыми символами и используя равенство треугольников, получаем, что точка  $S'$  расположена симметрично точке  $S$  относительно зеркала, то есть на расстоянии  $l$  от зеркала.

Поскольку изображение является пересечением не самих лучей, а их продолжений, его называют *мнимым*.

**3.1.3. Отражение параллельного пучка света от сферического зеркала. Фокус. Фокусное расстояние сферического зеркала.** Зажигательное действие вогнутых зеркал, основанное на том, что параллельный пучок лучей после отражения от такого зеркала сходится в точку («фокус»), было известно еще в Древней Греции: именно таким способом Архимед сжигал военные корабли противника.

Объясним явление фокусировки пучка света, считая зеркало сферой радиуса  $R$ . Найдем расстояние от фокуса до поверхности зеркала (*фокусное расстояние* зеркала).

Пусть один из лучей параллельного пучка света прошел через центр сферы  $O$ , отразился и пошел назад по прежней траектории (пунктир). Другой луч, отразившись от сферы в точке  $A$  под малым углом, пересек первый луч в точке  $F$  (рис. 3.3).

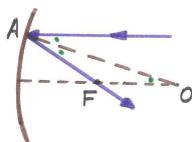


Рис. 3.3. \*\*\*

Обозначая равные углы на рисунке одинаковыми символами, находим, что  $\triangle OFA$  равнобедренный с основанием  $OA$  и малым углом при основании. Следовательно,  $OF = FA \simeq R/2$  — фокус  $F$  находится посередине между центром сферы и самой сферой.

Справедливо и обратное свойство: лучи света, испущенные помещенным в фокусе источником, образуют после отражения от зеркала параллельный пучок.

**3.1.4. Построение изображения точечного источника в сферическом зеркале.** Пусть точечный источник расположен в точке  $A$ . Определим построением, где находится его изображение в сферическом зеркале с центром  $O$  и радиусом  $R$ .

Рассмотрим два близких друг к другу луча, выходящих из источника  $A$ . Один из лучей проходит через центр сферы, отражается от нее и распространяется обратно по прежней траектории. Другой луч попадает на сферическое зеркало в точке  $C$ , отражается под малым углом и пересекает первый луч в точке  $B$ , которая и будет являться изображением источника  $A$  (рис. 3.4).

Введем обозначения  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  для трех углов в точках  $A$ ,  $B$ ,  $O$  (рис.). Обозначим расстояние от точки  $A$  до зеркала через  $a$ , от изображения  $B$  до зеркала — через  $b$ , от точки  $C$  до луча, проходящего через центр — через  $h$ .

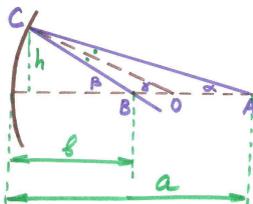


Рис. 3.4. \*\*\*

Равные углы падения и отражения обозначим одинаковыми символами.

Поскольку угол падения луча равен  $\gamma - \alpha$ , а угол отражения  $\beta - \gamma$ , имеем:

$$\gamma - \alpha = \beta - \gamma \iff 2\gamma = \alpha + \beta.$$

Учтем, что синус и тангенс малого угла приблизительно совпадают с радианной мерой такого угла:  $\gamma = \frac{h}{R}$ ,  $\alpha = \frac{h}{a}$ ,  $\beta = \frac{h}{b}$ . Отсюда

$$\frac{2}{R} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}. \quad (3.1)$$

Читателю предлагается самостоятельно подумать, что означали бы отрицательные значения  $a$  или  $b$  в соотношении (3.1).

## §3.2. ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА

**3.2.1. Закон преломления света по Птолемею и Снеллиусу. Относительный и абсолютный показатель преломления.** В неоднородной среде закон прямолинейного распространения света нарушается. В частности, при падении луча света на границу раздела двух сред он частично отражается от границы (по закону отражения света), а частично проходит внутрь второй среды, изменяя при этом направление своего распространения.

Первые качественные исследования преломления света были проведены Птолемеем во II веке нашей эры.

Согласно опытам Птолемея:

- падающий и преломленный лучи и нормаль, проведенная к поверхности раздела сред в точке падения, лежат в одной плоскости;
- падающий и преломленный лучи лежат в разных полуплоскостях относительно нормали;

- радианная мера угла  $\alpha_1$  между нормалью и падающим лучом (угла падения) в одно и то же число раз больше радианной меры угла  $\alpha_2$  между нормалью и преломленным лучом (угла преломления).

Как показали дальнейшие исследования, закон преломления Птолемея является *приближенным*. Точный закон преломления был установлен Снеллиусом в 1620-е годы: отношение *синусов* (а не радиантных мер) углов падения и преломления постоянно:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = n_{12}.$$

Константа  $n_{12}$  называется *показателем преломления* вещества 2 относительно вещества 1. Поскольку синус малого угла приближенно равен его радианной мере, при малых углах закон Снеллиуса переходит в закон Птолемея:

$$\frac{|\alpha_1|}{|\alpha_2|} \simeq n_{12}.$$

Показатель преломления среды относительно вакуума называется абсолютным показателем преломления среды. Как показывает опыт, относительный показатель преломления равен отношению абсолютных показателей преломления:

$$n_{12} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Таким образом (рис. 3.5),

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1}.$$

**3.2.2. Явление полного внутреннего отражения.** Пусть световой луч переходит из среды с большим показателем преломления в среду с меньшим показателем преломления ( $n_2 < n_1$ ). Тогда может оказаться, что нельзя будет построить угол  $\alpha_2$  с синусом

$$\sin \alpha_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin \alpha_1,$$

так как  $\frac{n_1}{n_2} \sin \alpha_1$  окажется больше единицы. Тогда луч, падающий на границу сред, *не сможет преломиться* — будет наблюдаться только отраженный луч. Это явление называется *полным внутренним отражением*.

**3.2.3. Понятие о принципе наименьшего времени. Скорость света в среде и показатель преломления.** В середине XVII века П.Ферма проинтерпретировал закон преломления света следующим образом. Предположив, что скорости распространения света в двух средах равны  $c_1$  и  $c_2$ , Ферма поставил следующую задачу: найти такую траекторию светового луча, при распространении по которой время распространения из данной точки  $A$ , находящейся в среде 1, в данную точку  $B$ , находящуюся в среде 2, является наименьшим. Ферма пришел к выводу о том, что свет должен распространяться так, чтобы отношение синусов углов падения и преломления равнялось отношению скоростей света в первой и второй средах <sup>1)</sup>:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{c_1}{c_2}. \quad (3.2)$$

Сравнив соотношение (3.2) с законом Снеллиуса, Ферма пришел к выводу о том, что скорость света в среде обратно пропорциональна показателю преломления среды (в вакууме

<sup>1)</sup> Для доказательство соотношения (3.2) крайне желательно овладеть методами дифференциального исчисления.

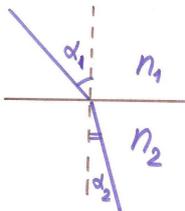


Рис. 3.5. \*\*\*

скорость света  $c$ , в средах 1 и 2 — равны  $c/n_1$  и  $c/n_2$  соответственно).

Отметим, что аналог принципа наименьшего времени для явления отражения света был сформулирован еще в I веке Героном Александрийским.

**3.2.4. Построение изображения в плоскопараллельной пластинке.** Пусть на расстоянии  $l$  от точечного источника  $S$  расположена плоскопараллельная пластинка толщины  $d$ , изготовленная из материала с показателем преломления  $n$ . Глядя через пластинку на источник, наблюдатель видит изображение  $S'$ , приближенное по сравнению с источником на расстояние  $a$  к наблюдателю. Найдем это смещение  $a$ , считая направление взгляда наблюдателя перпендикулярным пластинке.

Рассмотрим два близких друг к другу световых луча, выходящих из источника  $S$ . Один из них (пунктир) проходит перпендикулярно пластинке. Другой, под малым углом  $\alpha$  к первому, падает на пластинку в точке  $A$ , преломляется под углом  $\gamma \simeq \alpha/n$  и выходит из пластинки в точке  $B$ . Продолжение вышедшего из пластинки луча пересекается с первым лучом в точке  $S'$ , являющейся изображением источника  $S$  (рис. 3.6).

Отметим, что при распространении в воздухе луч сместился в поперечном направлении на расстояние  $l\alpha$ , при распространении в пластинке — на расстояние  $d\gamma = d\alpha/n$ . Испущенный из точки  $S'$  луч смещается в поперечном на-

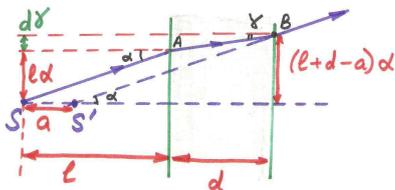


Рис. 3.6. \*\*\*

правлении на расстояние  $(l + d - a)\alpha$ . Следовательно,

$$l\alpha + d\frac{\alpha}{n} = (l + d - a)\alpha \iff a = d(1 - 1/n).$$

### 3.2.5. Прохождение светового луча через призму.

Рассмотрим задачу о прохождении светового луча через прямую треугольную призму из материала с показателем преломления  $n$  в плоскости, параллельной основанию.

Обозначим через  $\varphi$  угол при вершине призмы (он называется преломляющим углом). Найдем угол поворота луча, падающего на призму под малым углом.

Отметим на рисунке углы  $\alpha_1$  и  $\gamma_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\gamma_2$  (рис. 3.7). Согласно закону преломления для малых углов,

$$\alpha_1 \simeq n\gamma_1, \quad \alpha_2 \simeq n\gamma_2.$$

Также учтем, что по теореме о сумме углов треугольника

$$\varphi + (90^\circ - \gamma_1) + (90^\circ - \gamma_2) = 180^\circ.$$

При первом преломлении луч отклоняется на угол  $(\alpha_1 - \gamma_1)$ , при втором — на угол  $(\alpha_2 - \gamma_2)$ . Следовательно, при прохождении через призму общий угол отклонения составит

$$\delta = (\alpha_1 - \gamma_1) + (\alpha_2 - \gamma_2) = (n\gamma_1 - \gamma_1) + (n\gamma_2 - \gamma_2) =$$

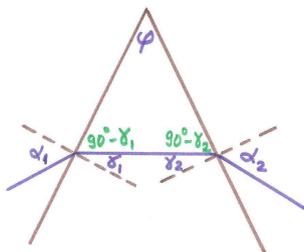


Рис. 3.7. \*\*\*

$$= (n - 1)(\gamma_1 + \gamma_2) = (n - 1)\varphi.$$

Таким образом, при прохождении через призму с малым преломляющим углом  $\varphi$  луч света поворачивается на угол с радианной мерой  $(n - 1)\varphi$ .

**3.2.6. Опыт Ньютона. Дисперсия света.** Пропуская пучок белого света через стеклянную призму, Ньютон обнаружил, что он расщепляется на лучи разных цветов, которые отклоняются на разные углы. Ньютон проинтерпретировал результат опыта следующим образом: белый свет является смесью различных цветов, для каждого из которых показатель преломления стекла свой. Явление зависимости показателя преломления материала от цвета называется дисперсией.

Подтверждением дисперсии света также является радуга: лучи разных цветов при преломлении в капле воды отклоняются на разные углы.

В дальнейшем при изучении линз мы столкнемся с еще одним проявлением дисперсии: пучки лучей разных цветов фокусируются линзами в разные точки.

### §3.3. Линзы

**3.3.1. Тонкая линза как оптический прибор, формирующий точечное изображение точечного источника. Ось симметрии и фокусы тонкой линзы.** Тонкая линза представляет собой изготовленное из прозрачного материала тело, имеющее ось симметрии; толщина линзы предполагается много меньшей ее размеров. Поэтому пересечение оси симметрии с линзой можно рассматривать как точку, называемую центром линзы.

Тонкие линзы используются в различных оптических приборах для построения изображений. Первые такие приборы были изобретены еще в средние века. Общая теория

построения изображений развита Кеплером в начале XVII века.

Тонкие линзы обладают следующим свойством: для любого точечного источника вблизи оси симметрии его изображение также является точечным. В частности, падающий на линзу параллельный пучок света или собирается линзой в одной точке (такая линза называется собирающей), или переводится в пучок, выходящий из некоторого мнимого источника (такая линза называется рассеивающей). Точка, в которой сходятся лучи (или их продолжения), падающие на линзу параллельно оси симметрии, называется фокусом линзы; поскольку лучи могут падать на линзу с двух сторон, фокусов у линзы два (рис. 3.8).

**3.3.2. Прохождение луча через центр линзы без преломления. Фокусировка параллельного пучка, падающего на линзу под углом к оси симметрии. Фокальная плоскость. Симметрия фокусов относительно линзы, фокусное расстояние.** Вблизи оси симметрии линзу можно считать тонкой плоскопараллельной пластинкой, при прохождении через которую световой луч не испытывает преломления. Следовательно, *луч, проходящий через центр линзы, не преломляется.*

Используя данное свойство, исследуем, в какой точке фокусируется параллельный пучок, падающий под углом к оси симметрии линзы.

Пусть линза собирающая. Рассмотрим два луча из параллельного пучка. Один проходит через центр линзы  $O$  и

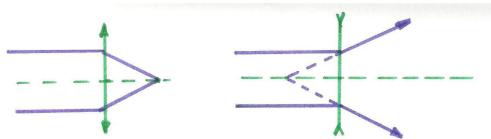


Рис. 3.8. \*\*\*

не преломляется; другой — через фокус  $F_1$ : он после преломления на линзе распространяется параллельно оси симметрии. Эти два луча пересекаются в точке, находящейся на расстоянии  $OF_1 = F$  от плоскости линзы, то есть в *фокальной плоскости* (плоскости, находящейся на расстоянии  $F$  от линзы), см. рис. 3.9.

Пучок света, параллельный оси симметрии, можно рассматривать как предельный случай пучка, падающего на линзу под очень малым углом. Поэтому такой пучок соберется в точке  $F_2$ , симметричной фокусу  $F_1$  относительно линзы. Таким образом, два фокуса  $F_1$  и  $F_2$  расположены от линзы на одинаковом расстоянии, которое называется *фокусным расстоянием линзы*.

В случае рассеивающей линзы фокусным расстоянием называют отрицательную величину, равную по модулю расстоянию от любого из фокусов до линзы.

**3.3.3. Закон преломления светового луча на линзе. Оптическая сила линзы. Сложение оптических сил линз, приложенных вплотную друг к другу.** Исследуем, на какой угол  $\delta$  отклонится световой луч, падающий на линзу с фокусным расстоянием  $F$  на расстоянии  $h$  от центра линзы.

Пусть линза собирающая. Проведем через центр линзы еще один световой луч, параллельный данному лучу. После прохождения через линзу оба луча встречаются в фокальной плоскости. Следовательно, угол отклонения луча  $\delta \simeq h/F$  (рис. 3.10).

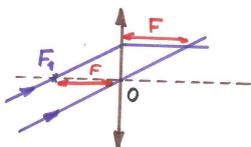


Рис. 3.9. \*\*\*

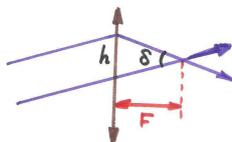


Рис. 3.10. \*\*\*

Таким образом, световой луч при преломлении на собирающей линзе отклоняется на угол

$$\delta = \frac{h}{F}, \quad (3.3)$$

пропорциональный расстоянию  $h$  от точки падения до центра линзы. Коэффициент пропорциональности  $1/F$  называется *оптической силой* линзы. Она измеряется в диоптриях (1 диоптрия — это  $1 \text{ м}^{-1}$ ).

При падении светового луча на рассеивающую линзу угол отклонения, вычисленный по формуле (3.3), оказывается отрицательным. Это связано с тем, что рассеивающая линза отклоняет луч в другую сторону по сравнению с собирающей.

Из закона (3.3) вытекает, что оптические силы  $1/F$  линз, приложенных друг к другу, складываются (так как складываются углы отклонений лучей, пропорциональные оптическим силам). В частности, совокупность сложенных вместе собирающей и рассеивающей линзы с равными по модулю фокусными расстояниями никак не действует на лучи света.

**3.3.4. Построение изображения точечного источника в тонкой линзе. Формула тонкой линзы; поперечное увеличение.** Пусть  $A$  — точечный источник света, находящийся на расстоянии  $a$  от тонкой линзы с фокусным расстоянием  $F$  и смещенной на расстояние  $l_A$  относительно оси симметрии линзы. Построим изображение  $B$  этого источника.

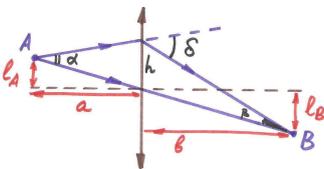


Рис. 3.11. \*\*\*

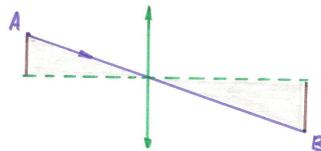


Рис. 3.12. \*\*\*

Для простоты будем считать линзу собирающей. Также предположим, что  $a > F$ .

Проведем из точки  $A$  два луча. Один проходит через центр линзы и не преломляется, другой падает на линзу на расстоянии  $h$  от ее центра и отклоняется на угол  $\delta = h/F$ . Два луча пересекаются в точке  $B$  на расстоянии  $b$  от плоскости линзы и  $l_B$  от оси симметрии (рис. 3.11).

Поскольку угол  $\delta$  связан с углами  $\alpha = h/a$  и  $\beta = h/b$  соотношением  $\delta = \alpha + \beta$ , имеем:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}. \quad (3.4)$$

Соотношение (3.4) называется *формулой тонкой линзы*.

Используя подобие заштрихованных треугольников (рис. 3.12), получим формулу для поперечного увеличения:

$$\frac{l_B}{l_A} = \frac{b}{a}.$$

Читателю предлагается самостоятельно рассмотреть случаи отрицательных  $a$ ,  $b$  или  $F$ .

**3.3.5. Конструкция тонкой линзы.** Приведем пример оптического прибора, удовлетворяющего закону преломления (3.3). Возьмем кусок материала с показателя преломления  $n$ , ограниченный с одной стороны плоской, а с другой — сферической поверхностью радиуса  $R$ . Покажем, что для луча, падающего на данный прибор в точке  $C$  на расстоянии  $l$  от оси симметрии, справедлив закон (3.3).

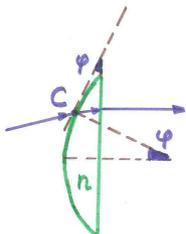


Рис. 3.13. \*\*\*

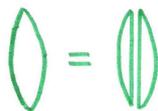


Рис. 3.14. \*\*\*

Преломление луча на линзе будет проходить точно так же, как и на призме, ограниченной плоской поверхностью линзы и касательной плоскостью в точке  $C$  (рис. 3.13).

Преломляющий угол  $\varphi$  такой призмы равен  $l/R$ . Следовательно, световой луч отклонится на угол  $(n - 1)l/R$ .

Таким образом, рассмотренная оптическая система является тонкой линзой с оптической силой

$$\frac{1}{F} = \frac{n - 1}{R}.$$

Вместо рассмотренной плосковыпуклой линзы можно исследовать и двояковыпуклую линзу, которую можно представить как совокупность двух плосковыпуклых линз с радиусами  $R_1$  и  $R_2$  (рис. 3.14).

Следовательно, оптическая сила такой линзы

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

### §3.4. ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

**3.4.1. Расстояние наилучшего зрения. Лупа и проекционный аппарат; расчет фокусного расстояния линз в этих приборах. Микроскоп как комбинация проекционного аппарата и лупы. Фотоаппарат.** Чтобы разглядеть мелкие детали на предметах, их желательно поднести как можно ближе к глазу: угловой размер каждой детали при этом становится больше. Однако подносить предмет на расстояние ближе примерно  $L_0 = 25$  см к глазу нельзя: рассматривая слишком близкие предметы, глаз переутомляется. Поэтому расстояние  $L_0 = 25$  см называют расстоянием наилучшего зрения.

Чтобы рассмотреть близко расположенный предмет без вреда для глаз, используют лупу, которая отдаляет предмет, помещая его изображение на расстояние  $L_0 = 25$  см (рис. 3.15).

Найдем фокусное расстояние  $F$  линзы, используемой в качестве лупы с увеличением  $k$ ; будем считать, что лупа подносится вплотную к глазу.

Пусть предмет находится на расстоянии  $a$  от лупы; тогда увеличение лупы  $k = L_0/a$ .

Световой луч, попадающий на линзу на расстоянии  $h$  от центра, до преломления идет под углом  $h/a$  к оси симметрии, после преломления — под углом  $h/L_0$ , отклонившись на угол  $\frac{h}{a} - \frac{h}{L_0}$ , равный  $\frac{h}{F}$ . Отсюда:

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{L_0} = \frac{1}{F} \iff \frac{k}{L_0} - \frac{1}{L_0} = \frac{1}{F} \iff F = \frac{L_0}{k-1}.$$

Таким образом, в качестве лупы с увеличением  $k$  следует выбирать линзу с фокусным расстоянием  $\frac{L_0}{k-1}$ , а предмет размещать на расстоянии  $a = L_0/k$  от лупы.

Еще одним важным оптическим прибором является проекционный аппарат, проецирующий изображение с пленки на экран в увеличенном масштабе. В качестве проекционного аппарата можно использовать собирающую линзу. Найдем фокусное расстояние линзы, используемой в проекционном аппарате с увеличением  $k$  в кинозале размера  $L$  (рис. 3.16).

Чтобы получить увеличенное в  $k$  раз изображение, находящееся на расстоянии  $L$  от линзы, пленку надо разместить на расстоянии  $L/k$  от линзы; фокусное расстояние

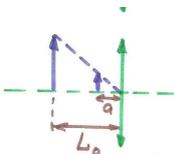


Рис. 3.15. \*\*\*

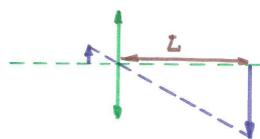


Рис. 3.16. \*\*\*

линзы определяется из соотношения:

$$\frac{k}{L} + \frac{1}{L} = \frac{1}{F} \iff F = \frac{L}{k+1}.$$

Обычно  $k \gg 1$ ; в этом случае можно считать  $F \simeq \frac{L}{k}$ . При этом пленка должна находиться от фокальной плоскости линзы на расстоянии  $\frac{L}{k} - \frac{L}{k+1} = \frac{L}{k(k+1)} \simeq \frac{L}{k^2}$ .

Комбинацией проекционного аппарата и лупы является микроскоп. Он состоит из объектива (проекционного аппарата, формирующего изображение мелкого предмета) и окуляра (лупы, используемой для рассматривания этого изображения).

Фотоаппарат создает изображение удаленных предметов на фотопленке. Основной проблемой является размытость изображения: при данном положении фотопленки четкими получаются только неподвижные изображения, находящиеся на заданном расстоянии от плоскости линзы фотоаппарата.

**3.4.2. Телескоп — оптический прибор, переводящий параллельный пучок света в параллельный. Конструкции Галилея и Кеплера. Телескоп-рефлектор.** Телескоп — оптический прибор, предназначенный для рассматривания удаленных предметов. Поскольку глаз, рассматривая удаленные предметы, приспособляется к падающему на него параллельному пучку света, желательно, чтобы телескоп также давал на выходе параллельный пучок, увеличивая при этом его интенсивность.

Таким образом, телескоп переводит параллельный пучок света в параллельный, уменьшая его поперечный размер и увеличивая угловые размеры удаленных предметов.

Телескоп можно сконструировать из двух линз, совместив их фокальные плоскости. Тогда падающий на систему линз параллельный пучок формирует точечное изображение в фокальной плоскости, исходящие из которого лучи в

дальнейшем формируют параллельный пучок на выходе (рис. 3.17).

В конструкции Галилея используют собирающую и рассеивающую линзы, в конструкции Кеплера — две собирающие, в телескопе-рефлекторе вместо линз используют зеркала.

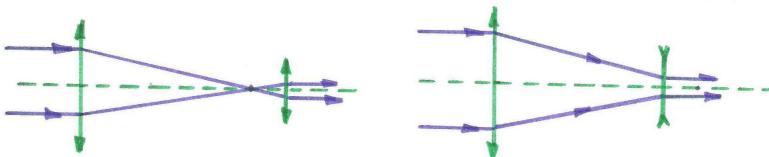


Рис. 3.17. \*\*\*