

Сложные (составные) оптические системы

Кучер С.Е., учитель физики и астрономии,
МБОУ «Гатчинская СОШ№9 с углубленным
изучением отдельных предметов»

**Сложная оптическая система
состоит из нескольких оптических
систем — компонентов**

$$\delta = \delta_1 + \delta_2$$

$$\operatorname{tg} \delta = O_2 K / F = L / F$$

$$\frac{L}{F} = \frac{L}{F_1 - l} + \frac{L}{F_2}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1 - l} + \frac{1}{F_2}$$

Такая оптическая система обладает меньшим фокусным расстоянием, чем каждая из линз в отдельности

Изменение расстояния между линзами позволяет менять фокусное расстояние оптической системы, что широко используется в фото- и видеосъемочной аппаратуре

Мнимое изображение, создаваемое лучами 1 и 2 в рассеивающей линзе, находится в её главном мнимом фокусе F_1 . Это изображение находится на расстоянии $d_2 = |F_1| + l$ от собирающей линзы (l — расстояние между линзами) и является как бы предметом. Изображение этого предмета будет находиться в фокусе оптической системы: $f_2 = F$.

$$\frac{1}{F_2} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2}$$

$$\frac{1}{F_2} = \frac{1}{|F_1| + l} + \frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1 - l} + \frac{1}{F_2}$$

$$D = -|D_1| + D_2$$

Для рассеивающей линзы оптическая сила отрицательна, т. е. $D_1 = -|D_1|$. Оптическая сила такой системы меньше, чем оптическая сила собирающей линзы, а фокусное расстояние больше: $F > F_2$.

Примеры задач с решениями

Две собирающие линзы с оптическими силами $D_1 = 5$ дптр и $D_2 = 6$ дптр расположены на расстоянии $l = 60$ см друг от друга. Найдите, где находится изображение предмета, расположенного на расстоянии $d = 40$ см от первой линзы, и поперечное увеличение системы.

Задача 4 (к § 64).

Решение.

Оптическая сила системы

$$D = \frac{D_1}{1 - lD_1} + D_2; \quad D = \frac{5 \text{ дптр}}{1 - 0,6 \text{ м} \cdot 5 \text{ дптр}} + 6 \text{ дптр} = 3,5 \text{ дптр.}$$

d — отсчитывается от передней линзы, f — от задней.

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{d}{Dd - 1};$$

$$f = \frac{0,4 \text{ м}}{3,5 \text{ дптр} \cdot 0,4 \text{ м} - 1} = 1 \text{ м.}$$

Изображение расположено на расстоянии 1 м по ходу света от задней линзы.

Модуль поперечного увеличения системы

$$|\Gamma| = \frac{f}{d} = \frac{1 \text{ м}}{0,4 \text{ м}} = 2,5.$$

Театральный бинокль содержит собирающую ($F_1 = 3,6$ см) и рассеивающую ($F_2 = -1,2$ см) линзы. При каком расстоянии между линзами зритель видит отдалённый объект на расстоянии $f = 25$ см от глаза?

№ 5.

Дано:

$$f_1 = 25 \text{ см}$$

$$F_1 = 3,6 \text{ см}$$

$$F_2 = -1,2 \text{ см}$$

$$l = ?$$

Решение:

Так как объект отдален, то от объекта к линзам приходит параллельный пучок, он собирается в главном фокусе оптической системы, поэтому $F = f$

$$1/f = 1/(F_1 - l) + 1/F_2 \Rightarrow l = F_1 - (1/f - 1/F_2)^{-1}$$

$$l = 3,6 \text{ см} - (1/25 \text{ см} + 1/1,2 \text{ см})^{-1} = 2,34 \text{ см}$$

Ответ: $l = 2,34$ см.

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

При рассмотрении удаленных предметов $d \rightarrow \infty$, следовательно,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f}; F = f.$$

Поскольку изображение должно находиться против хода света, система должна работать как рассеивающая линза.

Предмет находится на расстоянии 27 мм от объектива оптического микроскопа. Оптические силы объектива и окуляра одинаковы $D_1 = D_2 = 40$ дптр. Каким должно быть расстояние между объективом и окуляром? Каким при этом будет коэффициент увеличения микроскопа?

Задача 4 (к § 66).

Решение.

Для микроскопа формула системы линз имеет вид

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{d_n}.$$

Изображение смещено от окуляра против луча света на расстояние наилучшего зрения.

$$F = \frac{dd_n}{d_n - d} = \frac{2,7 \text{ см} \cdot 25 \text{ см}}{25 \text{ см} - 2,7 \text{ см}} = 3 \text{ см}.$$

$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{0,03 \text{ м}} = 33,3 \text{ дптр}.$$

Оптическая сила системы из двух линз

$$D = \frac{1}{F_1 - l} + \frac{1}{F_2} = \frac{D_1}{1 - lD_1} + D_2;$$

$$l = \frac{D - D_1 - D_2}{D_1(D - D_2)};$$

$$l = \frac{33,3 - 40 - 40}{40 \cdot (33,3 - 40)} = 0,174 \text{ (м)}.$$

Коэффициент углового увеличения

$$\Gamma_\alpha = D_1 D_2 d_n L;$$

$$L = l - \frac{1}{D_1} - \frac{1}{D_2} = l - \frac{2}{D_1};$$

$$L = 0,174 - 0,05 = 0,124 \text{ (м)};$$

$$\Gamma_\alpha = 40 \cdot 40 \cdot 0,25 \cdot 0,124 = 49,6.$$

5. Человек носит очки с оптической силой $D = -2,25$ дптр. Найдите для него расстояние наилучшего зрения.

Задача 5.

Решение.

Без очков расстояние наилучшего зрения d , с очками — $d_{\text{н}}$. Отсюда

$$\frac{1}{d} = \frac{1}{d_{\text{н}}} - D;$$

$$\frac{1}{d} = 4 \text{ дптр} - (-2,25) \text{ дптр} = 6,25 \text{ дптр};$$

$$d = 0,16 \text{ м.}$$

Под каким углом зрения можно наблюдать Луну в телескопе-рефракторе, если оптическая сила объектива $D_1 = 0,5$ дптр, а окуляра — $D_2 = 60$ дптр? Расстояние до Луны 385 000 км, её диаметр 3480 км.

Задача 5 (к § 66).

Решение.

Угловое увеличение телескопа

$$\Gamma_{\alpha} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{60 \text{ дптр}}{0,5 \text{ дптр}} = 120.$$

Невооруженным глазом Луна видна под углом

$$\frac{3480 \text{ км}}{385\,000 \text{ км}} = 0,009 \text{ рад} = 0,52^{\circ}.$$

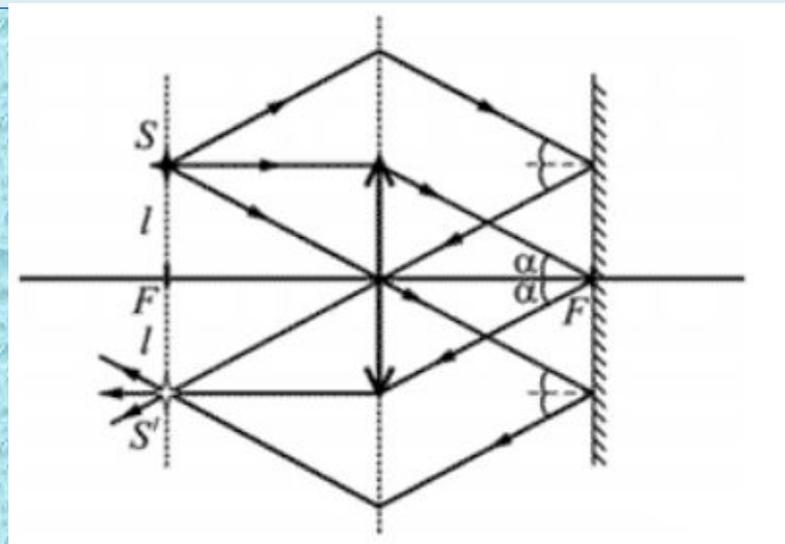
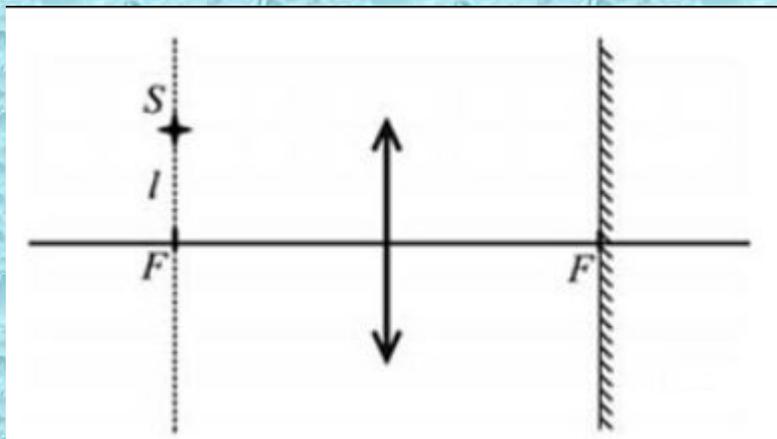
С помощью телескопа этот угол увеличивается в 120 раз:

$$\alpha = 0,52^{\circ} \cdot 120 = 62^{\circ}.$$

Оптическая система может состоять из одних линз или линз и зеркал, в которых последовательно получают изображения предмета.

Задача: Построить изображение предмета, помещенного в фокальную плоскость собирающей линзы, если за линзой на расстоянии X расположено плоское зеркало, параллельное плоскости линзы.

Упростим задачу: Точечный источник света S находится в передней фокальной плоскости собирающей линзы на расстоянии l от ее главной оптической оси. За линзой в ее задней фокальной плоскости находится плоское зеркало (см. рис.). Построить действительное изображение источника в данной оптической системе и найти расстояние между точками S и S'



Лучи от точечного источника S , находящегося в фокальной плоскости собирающей линзы, после линзы образуют пучок параллельных лучей, идущих под таким углом к главной оптической оси линзы, что

$$\text{(здесь } l \text{ — фокусное расстояние данной линзы).}$$

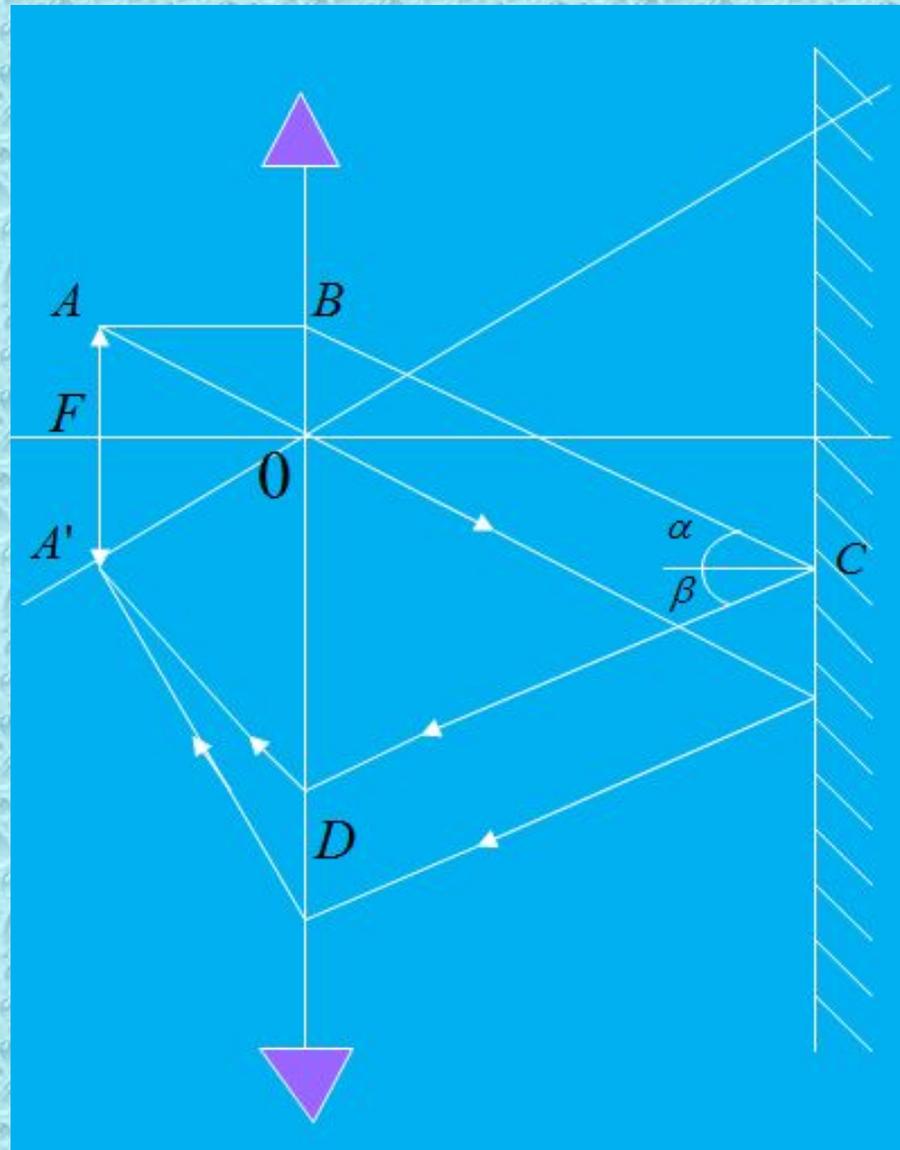
$$\text{tg } \alpha = \frac{l}{F}$$

Согласно закону отражения света, этот пучок отразится от плоского зеркала симметрично относительно перпендикуляра к зеркалу под тем же углом и пойдет в обратном направлении, к линзе. После преломления в собирающей линзе параллельный пучок света превратится в сходящийся и сформирует в передней фокальной плоскости изображение источника S' в виде точки, расположенной симметрично с S относительно главной оптической оси. $SS' = 2 \cdot l$

Передвинем зеркало дальше от линзы (X больше F) - результат не изменится

A^{\wedge} расположена симметрично с A относительно главной оптической оси: $AF = A^{\wedge}F$.
(лучи $A^{\wedge}O$ и DC параллельны)

Аналогичный результат - если передвинуть зеркало ближе к линзе, на расстояние X меньше F (вариант для самостоятельной проверки).



Простые задачи

2. Мальчик, сняв очки, читает книгу, держа ее на расстоянии 16 см от глаз. Какой оптической силы у него очки?

- А. $-2,25$ дптр.
- Б. $2,25$ дптр.
- В. 5 дптр.

5. Каково угловое увеличение микроскопа, если фокусное расстояние объектива 1 см, а окуляра — 4 см? Расстояние между объективом и окуляром 20 см.

- А. 125.
- Б. 250.
- В. 500.

5. Каково угловое увеличение телескопа-рефрактора, если оптическая сила объектива $D_1 = 0,5$ дптр, а окуляра — $D_2 = 50$ дптр?

- А. 50.
- Б. 125.
- В. 100.

Ответы: А; А; В.

Подборка задач для закрепления

СР-20. Оптические системы. Оптические приборы

Вариант 1

1. Определите фокусное расстояние системы из двух собирающих линз, расположенных на расстоянии 20 см друг от друга, если их фокусные расстояния 40 см и 80 см.
2. Какое наибольшее увеличение можно получить, пользуясь лупой с фокусным расстоянием 10 см?

Вариант 2

1. На каком расстоянии следует расположить две линзы с фокусными расстояниями 7,5 см и 13 см, чтобы получить модель микроскопа, увеличивающего в 10 раз?
2. Максимальное расстояние, на котором близорукий человек достаточно хорошо различает мелкие детали без чрезмерного утомления глаз, равно 15 см. Какой оптической силы очки должен носить такой человек, чтобы ему было удобно читать?

Вариант 3

1. Какое увеличение дает микроскоп, если главное фокусное расстояние объектива 4 мм, главное фокусное расстояние окуляра 15 мм и длина тубуса 12 см?
2. Линзу с оптической силой в 50 дптр хотят использовать в качестве лупы. Какое линейное увеличение она может дать?

Вариант 4

1. Увеличение микроскопа равно 600. Определите оптическую силу объектива, если фокусное расстояние окуляра 4 см, а расстояние между объективом и окуляром равно 24 см.
2. Ближняя точка находится на расстоянии 50 см от глаза дальнорядного человека. Очки какой оптической силы следует ему носить для наблюдения предметов на расстоянии наилучшего зрения?

Ответы

- СР-20. В—1. 1. 27 см. 2. 2,5.
В—2. 1. 39 см. 2. -2,7 дптр.
В—3. 1. 500. 2. 12,5.
В—4. 1. 400 дптр. 2. 2 дптр.
В—5. 1. 500. 2. 2,1 см.

Однотипные задачи средней сложности

6. Точечный источник света помещен на оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием $0,2$ м на расстоянии 50 см от нее. По другую сторону линзы в ее фокальной плоскости помещена рассеивающая линза. Каким должно быть фокусное расстояние рассеивающей линзы, чтобы мнимое изображение в ней источника совпало с самим источником?

6. На оптической скамье расположены две собирающие линзы с фокусным расстоянием 12 см и 15 см. Расстояние между линзами 36 см. Предмет находится на расстоянии 48 см от первой линзы. На каком расстоянии от второй линзы находится изображение предмета?

6. Рассеивающая и собирающая тонкие линзы с фокусными расстояниями соответственно -10 см и 15 см расположены вдоль общей главной оптической оси на расстоянии 30 см друг от друга. На расстоянии 12 см от рассеивающей линзы на главной оптической оси поместили точечный источник света. Определите расстояние между точечным источником и его действительным изображением в оптической системе.

6. Источник света находится на расстоянии 35 см от собирающей линзы с фокусным расстоянием 20 см. По другую сторону линзы на расстоянии 38 см расположена рассеивающая линза с фокусным расстоянием 12 см. Где будет находиться изображение источника?

Ответы

6. $0,1$ м

6. 60 см

6. 68 см

**6. $30,4$ см (от
рассеивающей
линзы)**

Литература

Физика. 11 класс : дидактические материалы к учебникам В. А. Касьянова / А. Е. Марон, Е. А. Марон. — М. : Дрофа, 2014. — 143, [1] с. : ил.

В.А. Касьянов. Физика. 11 класс. Методическое пособие. Углубленный уровень