

Тема:

«Оптические свойства системы линз, сложенных вплотную».

Цель:

Провести экспериментальное и теоретическое исследование оптических свойств линз, сложенных вплотную.

Вопросы для повторения.

1. Какие характеристики сферической линзы Вы знаете? (устно)
2. Сформулируйте уравнение Гаусса и величины, в него входящие. (устно)
3. Нарисуйте номограмму для собирающей линзы и объясните, как ей пользоваться. (на доске)
4. Нарисуйте номограмму для рассеивающей линзы и объясните, как ей пользоваться. (на доске)
5. Как и какие стандартные лучи используют для построения изображения в собирающей линзе? (устно)
6. Как и какие стандартные лучи используют для построения изображения в рассеивающей линзе? (устно)
7. Нарисуйте прохождение произвольного луча через собирающую линзу. (на доске)
8. Нарисуйте прохождение произвольного луча через рассеивающую линзу. (на доске)
9. Как найти фокусное расстояние собирающей линзы с помощью линейки?

Оборудование.

- Шесть линз на подставках:
- две серого цвета – собирающие;
- две зеленого цвета – собирающие;
- две серого цвета – рассеивающие;
- Трибометр, используемый как поставка и как измерительная линейка;
- Металлический экран белого цвета.

Экспериментальное исследование.

1. Измерьте фокусные расстояния F_1 серых линз и F_2 зеленых линз. Найдите их оптические силы D_1 и D_2 . Запишите результат в тетради.
2. Сложите вместе две серые линзы, измерьте их общее фокусное расстояние F_{11} , найдите общую оптическую силу D_{11} , запишите результаты в тетради. Какой можно сделать вывод?
3. Сложите вместе две зеленые линзы, измерьте их общее фокусное расстояние F_{22} , найдите общую оптическую силу D_{22} , запишите результаты в тетради. Какой можно сделать вывод?
4. Сложите вместе серую и зеленую линзы, измерьте их общее фокусное расстояние F_{12} и F_{21} , найдите общую оптическую силу D_{12} и D_{21} , запишите результаты в тетради. Какой можно сделать вывод?

Выводы:

1. Фокусное расстояние системы двух одинаковых линз уменьшилось вдвое, а их оптическая сила увеличилась вдвое.
2. Фокусное расстояние системы двух разных линз не зависит от порядка расположения линз и оказалось меньше наименьшего, а оптическая сила системы равна сумме оптических сил линз, составляющих систему.

$$\frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} = \frac{1}{F_{12}} = \frac{1}{F_{21}}$$
$$D_{12} = D_{21} = D_1 + D_2$$

Обсуждение вывода

- Является ли этот вывод абсолютно верным?
Мы не можем однозначно ответить на этот вопрос, так как точность наших вычислений невелика, и не потому, что мы пользовались сантиметровыми делениями, а потому, что наши линзы не идеально тонкие.
- Как можно проверить наш результат?
Получить его теоретически для идеальных объектов – абсолютно тонких линз, каковые мы и изучаем.

Теоретическое исследование.

Проверка с помощью номограмм.

До сих пор мы рисовали номограммы для одной линзы. Как применить их к системе линз?

- Сделать это просто, если учесть, что f_1 для первой линзы является d_2 для второй, причем если $f_1 > 0$, то $d_2 < 0$ и наоборот.
- Найдя с помощью номограммы f_1 мы перенесем её на ось Od с помощью линии, направленной под углом 45° .
- Найдем f_2 и соединим её с d_1 .
- Если под получившуюся линию подрисовать квадрат, одна вершина которого находится в начале координат, то его сторона и даст фокусное расстояние системы.

Проверка верности построения

Как можно проверить верность построения?

Посмотрим внимательно на уравнение связывающее фокусные расстояния линз:

$$1/F_1 + 1/F_2 = 1/F_{12}$$

Какое уравнение оно напоминает?

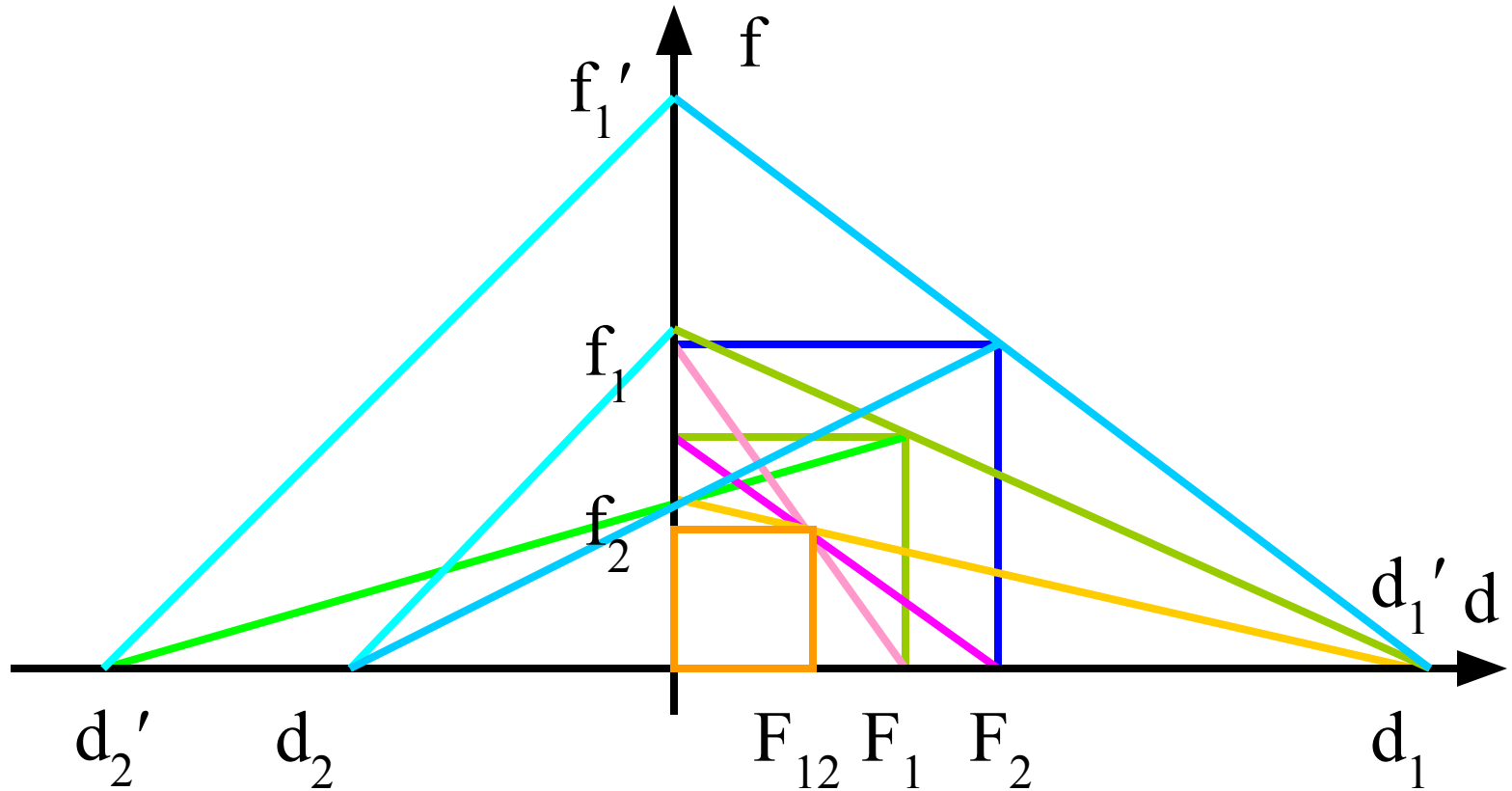
Уравнение Гаусса, в котором роль d играет F_1 , а роль f – F_2 .

Каков физический смысл этого выражения?

Если мы поместим источник в фокус первой линзы, то после прохождения пучка через неё он станет параллельным ГОО и, следовательно, сойдется в фокусе второй линзы.

Поэтому, если провести линию, соединяющую фокусы, лежащие на разных осях, то она должна пройти через вершину квадрата, соответствующего общему фокусу.

Проверка с помощью номограмм при произвольном ходе лучей.



вторая прямая прошла через ту же точку f на оси f , то есть
 соединив точку f на оси f с точкой d_1 на оси d , мы получим
 изображение предмета, находящегося в фокусе первой линзы, второй
 линзы. Если предмет для второй линзы, то с помощью линии,
 соединяющей точку f на оси f с точкой d_1 на оси d , мы
 найдем положение действительного изображения предмета, находящегося
 в фокусе первой линзы, второй линзы. Если предмет для второй
 линзы, то с помощью линии, соединяющей точку f на оси f с
 точкой d_1 на оси d , мы найдем положение мнимого источника,
 который является источником на огибающей системы;
 положение мнимого источника,

Аналитический вывод оптической силы системы линз, сложенных вплотную.

Выведем соотношение для общей оптической силы системы из уравнения Гаусса.

Запишем его для первой линзы:

$$1/d_1 + 1/f_1 = D_1$$

отсюда: $1/f_1 = D_1 - 1/d_1$.

Но $d_2 = -f_1$, следовательно, уравнение Гаусса для второй линзы $1/d_2 + 1/f_2 = D_2$ примет вид:
 $1/d_1 - D_1 + 1/f_2 = D_2$ или:

$$1/d_1 + 1/f_2 = D_2 + D_1$$

Так как d_1 это d для всей системы, а f_2 это f для всей системы, то мы получаем:

$$1/d + 1/f = D_2 + D_1 = D, \text{ ч.т.д.}$$

Обсуждение аналитического вывода

- Так как уравнение Гаусса справедливо для любых линз, то и полученное соотношение тоже справедливо для комбинации любых линз – как собирающих, так и рассеивающих.
- Поэтому, перейдем к рассмотрению рассеивающих линз.

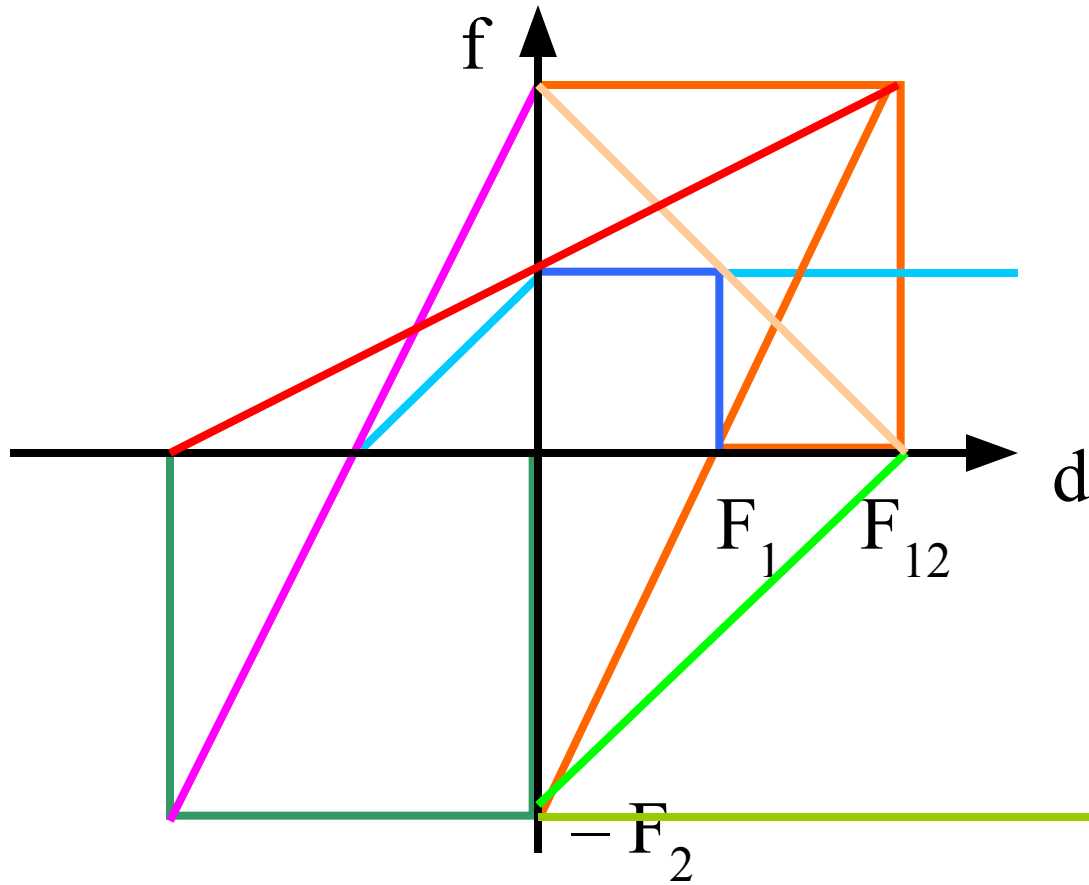
Нахождение фокусного расстояния рассеивающей линзы

- Можно ли, опираясь на полученное соотношение, найти фокусное расстояние для рассеивающей линзы?

Да, если сложить её с собирающей линзой большей оптической силы.

- Давайте с помощью номограмм проверим его справедливость для трех случаев:
 - 1. Оптическая сила собирающей линзы больше оптической силы рассеивающей;
 - 2. Меньше;
 - 3. Равна.

Номограмма для случая, когда $D_+ > -D_-$



построим номограмму для случая, когда $D_+ > -D_-$. Для этого сделаем предметную линзу L_1 рассеивающей, а окулярную L_2 собирающей. Тогда $D_+ > -D_-$.

Теперь поменяем линзы местами, то есть пошлем луч параллельный OO' на вторую линзу, поэтому с помощью линзы L_2 источник S в точке $d = F_2$

сделаем предметную линзу L_1 собирающей, а окулярную L_2 рассеивающей. Тогда $D_+ < -D_-$.

Теперь поменяем линзы местами, то есть пошлем луч параллельный OO' на вторую линзу, поэтому с помощью линзы L_2 источник S в точке $d = F_2$

Выводы из построения номограмм

- В случае, когда $D_+ > -D_-$, мы получили систему с фокусным расстоянием > 0 .
- В случае, когда $D_+ < -D_-$, мы получили систему с фокусным расстоянием < 0 .
- В случае, когда $D_+ = -D_-$, мы получили систему с фокусным расстоянием $= \infty$, так как в систему вошел луч, параллельный ГОО, и на том же уровне снова вышел луч, параллельный ГОО.

Экспериментальное определение фокусного расстояния рассеивающей линзы.

Давайте визуально сравним оптические силы имеющихся у нас собирающих линз с оптической силой рассеивающей линзы.

- Соединим вместе рассеивающую линзу с серой собирающей. Получается уменьшенное изображение, следовательно, $-D_- > D_+$.
- Соединим вместе рассеивающую линзу с зеленой собирающей. Получается какое-то искаженное, примерно равное изображение. По-видимому, их оптические силы почти равны.
- Как же экспериментально найти D_- ?
Надо соединить вместе две собирающие линзы и одну рассеивающую. Здесь возможны три комбинации: все серые линзы, две серые и одна зеленая, две зеленые и одна серая.
- Сейчас вы проделаете все измерения, а дома оформите это как лабораторную работу, включив в неё и предыдущие измерения.

Итоги.

В результате нашего достаточно фундаментального исследования оптических свойств системы линз, сложенных вплотную, мы обнаружили, что оптическая сила системы равна алгебраической сумме оптических сил линз, входящих в систему:

$$D = \sum D_i; \quad 1/F = \sum 1/F_i$$

Но, опираясь на высказывание Рене Декарта: «Главное метод, а не результат», можно считать, что главным результатом нашего урока, было приобретение навыков проведения научного исследования.

Домашнее задание.

1. Оформить лабораторную работу.
2. Сделать построение хода лучей для случаев собирающей и рассеивающей линз, разобранных на номограммах.
3. Опираясь на чертеж построения лучей для двух разных собирающих линз, получить формулу

$$1/F_1 + 1/F_2 = 1/F_{12}$$

Задачи.

1. Точечный источник света помещен в фокусе рассеивающей линзы. Собирающая линза, приставленная вплотную к рассеивающей, превращает падающий на неё пучок лучей в параллельный. Найти отношение фокусных расстояний линз.
2. Предмет расположен на расстоянии $d = 18$ см от плоско-выпуклой линзы с фокусным расстоянием $F = 12$ см. Выпуклая поверхность линзы обращена к предмету, плоская поверхность линзы посеребрена. На каком расстоянии f от линзы находится изображение предмета?
3. Ученик привык читать книгу, держа её на расстоянии $d = 20$ см от глаза. Какова должна быть оптическая сила $D_{\text{ОЧК}}$ очков, чтобы читать книгу, держа её на расстоянии наилучшего зрения $d_0 = 25$ см?
4. Дальнозоркий человек может читать книгу, держа её на расстоянии не менее $d = 80$ см от глаза. Какова должна быть оптическая сила $D_{\text{ОЧК}}$ очков, чтобы читать книгу, держа её на расстоянии наилучшего зрения $d_0 = 25$ см?

Получение соотношения $1/F_{12} = 1/F_1 + 1/F_2$ из чертежа построения хода лучей в системе линз.

$$\Delta OF_{12}C \boxtimes \Delta F_2F_{12}B \Rightarrow \frac{OF_2 - OF_{12}}{OF_{12}} = \frac{F_2B}{OC};$$

$$\Delta OF_1A \boxtimes \Delta OF_2B \Rightarrow \frac{F_2B}{F_1A} = \frac{OF_2}{OF_1};$$

F_1A — часть параллелограмма $AFCO$ - 1

параллелограмм по построению;

$$OF_2 = F_2; OF_{12} = F_{12}; OF_1 = F_1 \Rightarrow$$

$$\frac{F_2 - F_{12}}{F_{12}} = \frac{F_2}{F_1} \Rightarrow \frac{F_2}{F_{12}} - 1 = \frac{F_2}{F_1} \Rightarrow \frac{1}{F_{12}} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2}$$