

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?

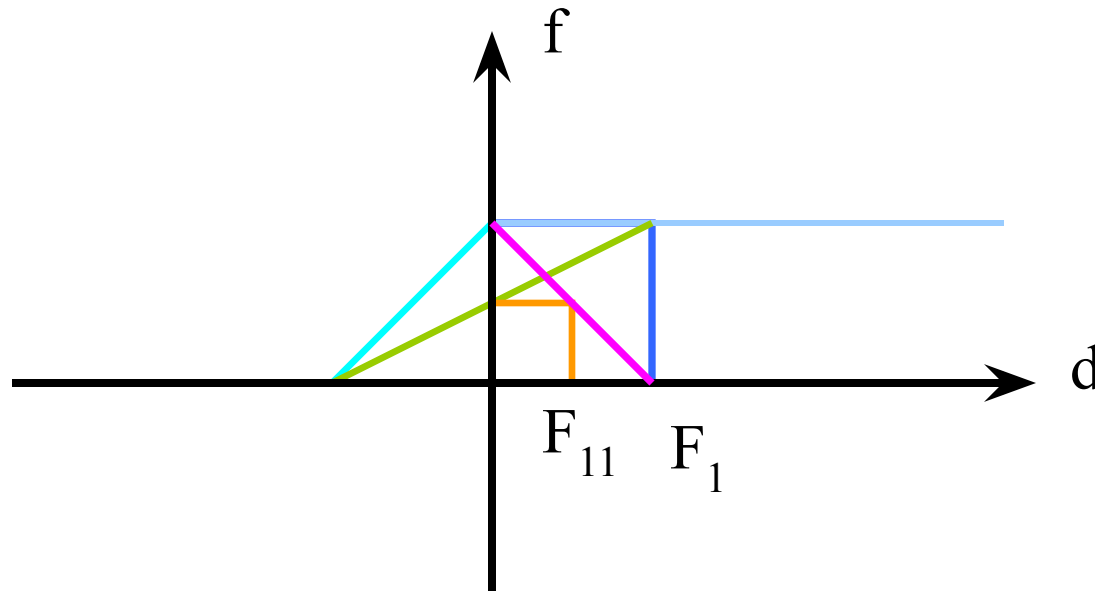
Уравнение Гаусса, в котором роль d играет F_1 , а роль f – F_2 .

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.

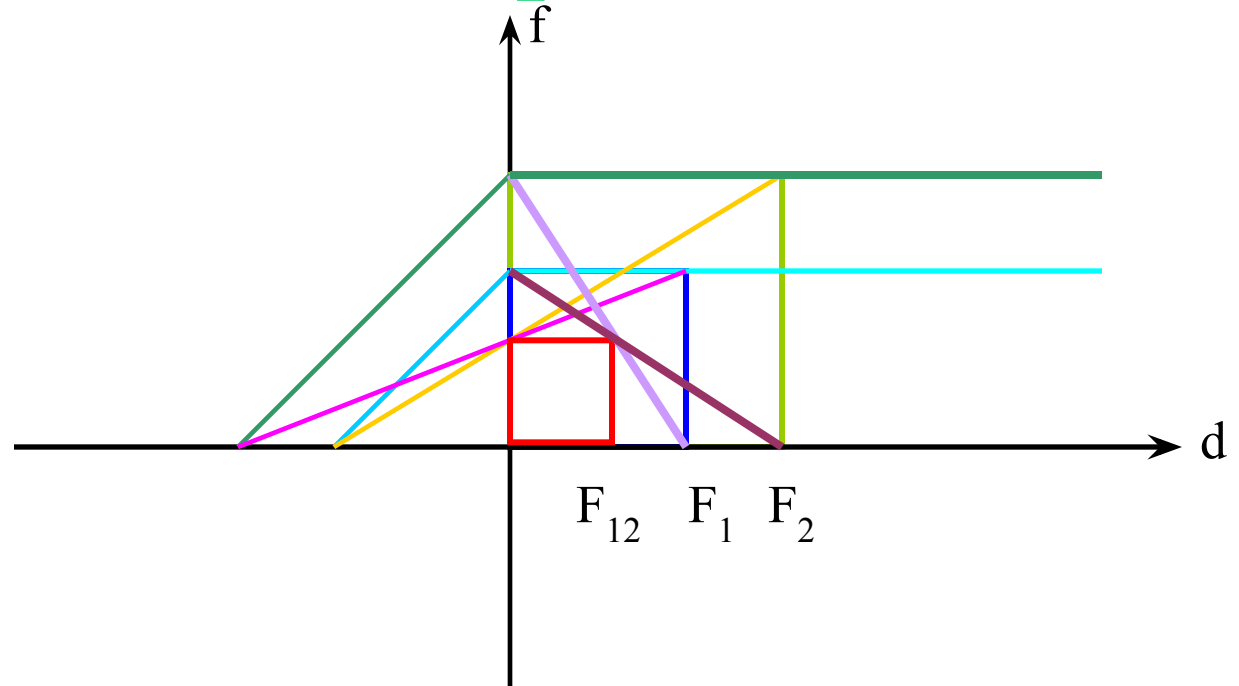
Поэтому, если провести линию, соединяющую фокусы, лежащие на разных осях, то она должна пройти через вершину квадрата, соответствующего общему фокусу.

Применение номограммы для двух одинаковых линз.



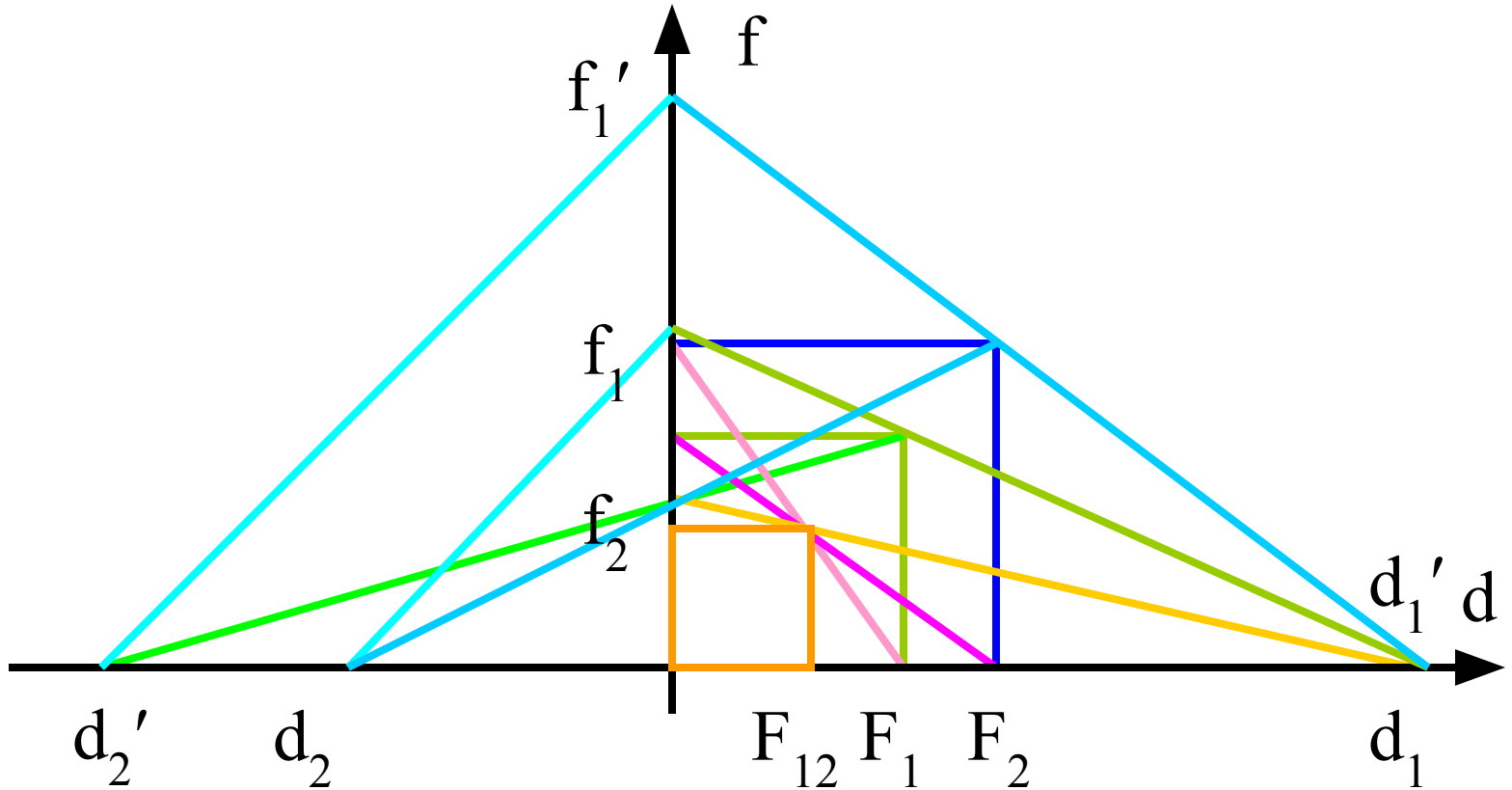
изображение получится в точке $f = F_1$: так как оно является
 совпадением фокусов линз, нарисуйте номограмму для фокусных расстояний второй
 линзы, которая совпадает с первой линзой. Система линз будет находиться под
 него номограмму системы; 45° построения видно, что фокусное
 расстояние системы в два раза меньше фокусных расстояний
 положения мнимого источника,
 сложенных линз;

Применение номограмм для двух разных собирающих линз



теперь нам необходимо вывести формулы, описывающие номограмму:
положив $d = -F_1$ и $f = F_2$, найдем $f = F_2$ для второй линзы;
изобразим на номограмме единичный квадрат, вершинами которого являются точки $(0,0)$ и $(-F_1, F_2)$.
параллельно оси d отложим отрезок $d = -F_1$, перпендикулярно оси f отложим отрезок $f = F_2$.
мнимый источник F_1 для первой линзы, номограмма двух линз;
предметом для второй линзы, то с помощью линии, наклоненной
наклоненной под углом 45° к оси d , отметим точку $d = -F_2$ —
под углом 45° к оси d , отметим точку $d = -F_1$ — положение мнимого
положение мнимого источника;
источника;

Проверка с помощью номограмм при произвольном ходе лучей.

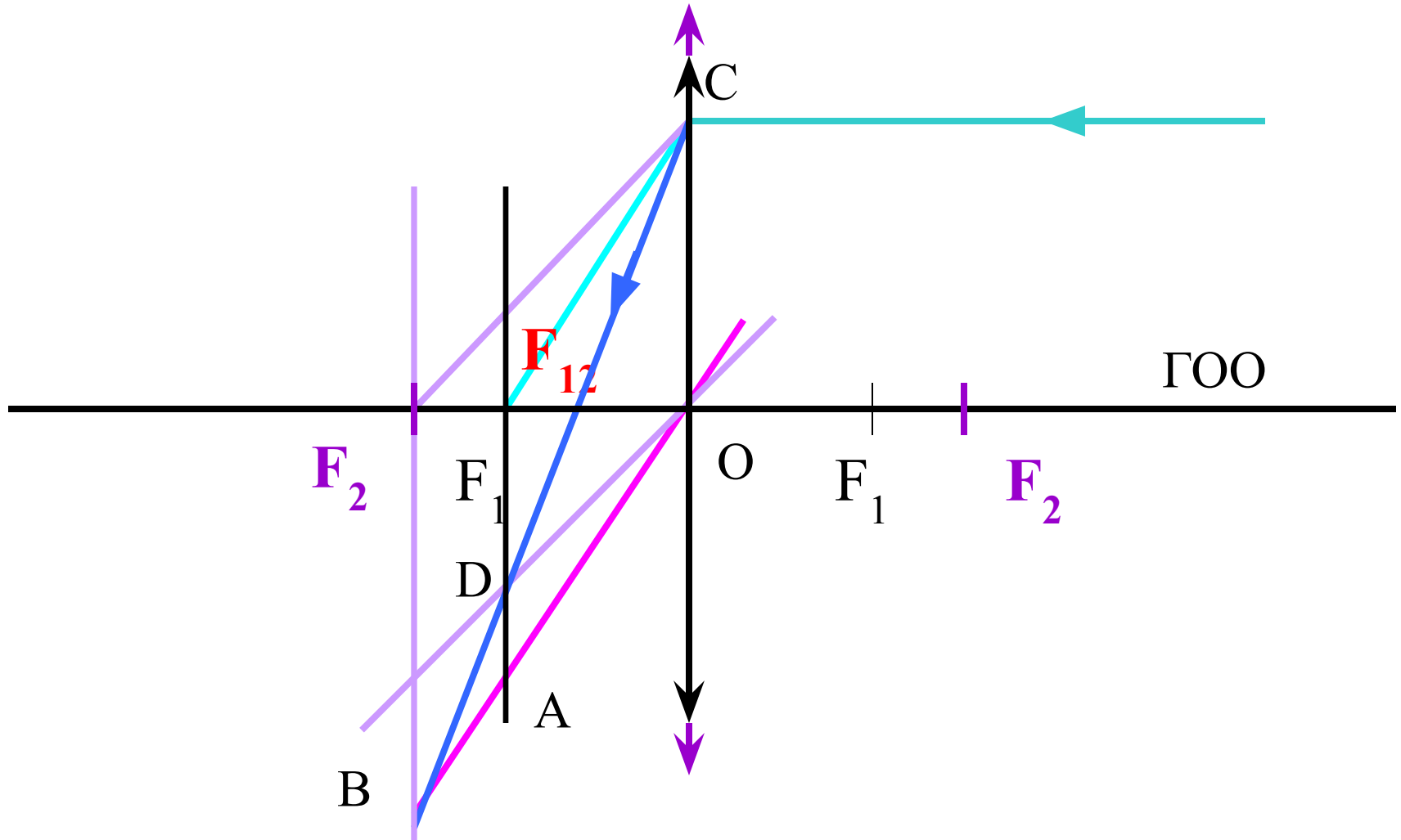


вторая прямая прошла через ту же точку f на оси f , то есть f — это f_1 . Если же вторая прямая прошла через другую точку f на оси f , то это будет f_2 . Если же вторая прямая прошла через точку f на оси f , то это будет f_1 . Если же вторая прямая прошла через точку f на оси f , то это будет f_2 . Если же вторая прямая прошла через точку f на оси f , то это будет f_1 . Если же вторая прямая прошла через точку f на оси f , то это будет f_2 .

Если же вторая прямая прошла через точку f на оси f , то это будет f_1 . Если же вторая прямая прошла через точку f на оси f , то это будет f_2 . Если же вторая прямая прошла через точку f на оси f , то это будет f_1 . Если же вторая прямая прошла через точку f на оси f , то это будет f_2 .

Если же вторая прямая прошла через точку f на оси f , то это будет f_1 . Если же вторая прямая прошла через точку f на оси f , то это будет f_2 . Если же вторая прямая прошла через точку f на оси f , то это будет f_1 . Если же вторая прямая прошла через точку f на оси f , то это будет f_2 .

Построение лучей в системе двух разных линз.



для построения луча, прошедшего через систему, проведём
первую главную плоскость системы, проведём её центр, проведём
основную ось системы, проведём её центр, проведём её фокус, проведём
ее фокус, проведём её фокус, проведём её фокус, проведём её фокус,
пересечения строка первой плоскости (O1D) второй линзы (т.
бы не было первой линзы, то луч шел бы в точку F_2 ,
прошло бы через F_1 ,
B);

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.

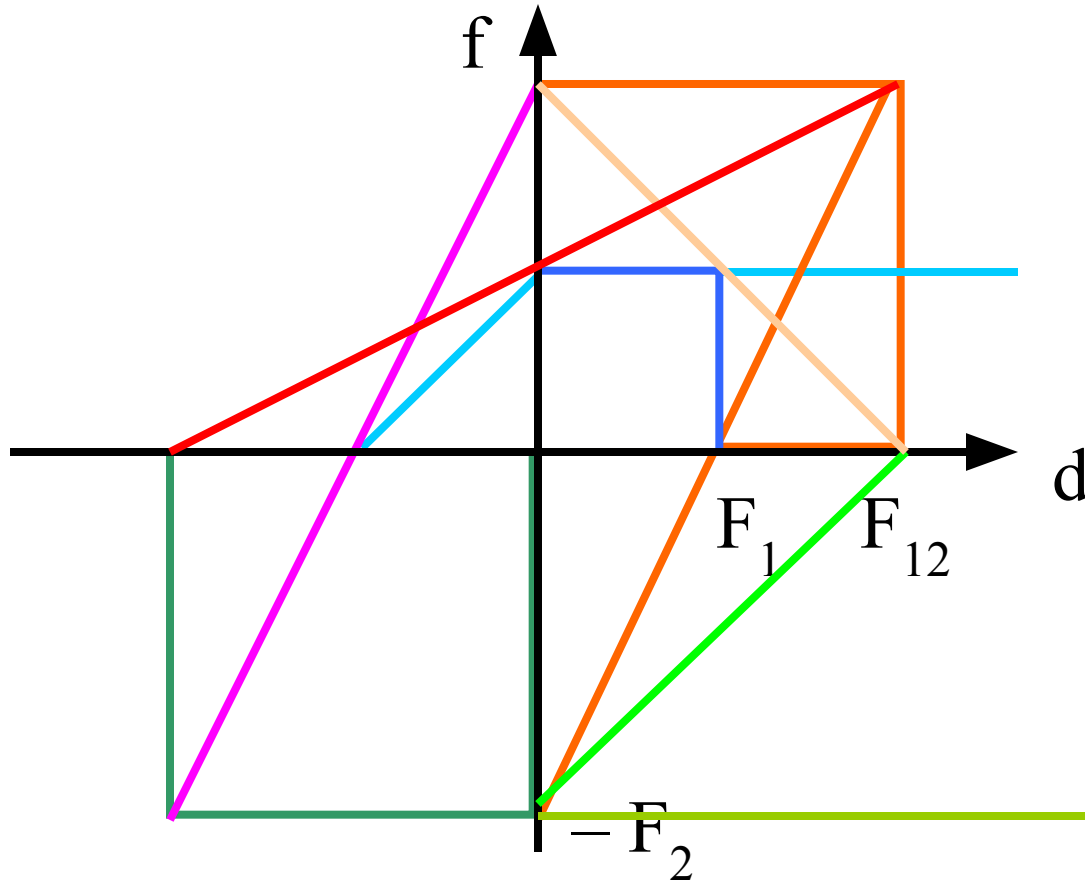
Нахождение фокусного расстояния рассеивающей линзы

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

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

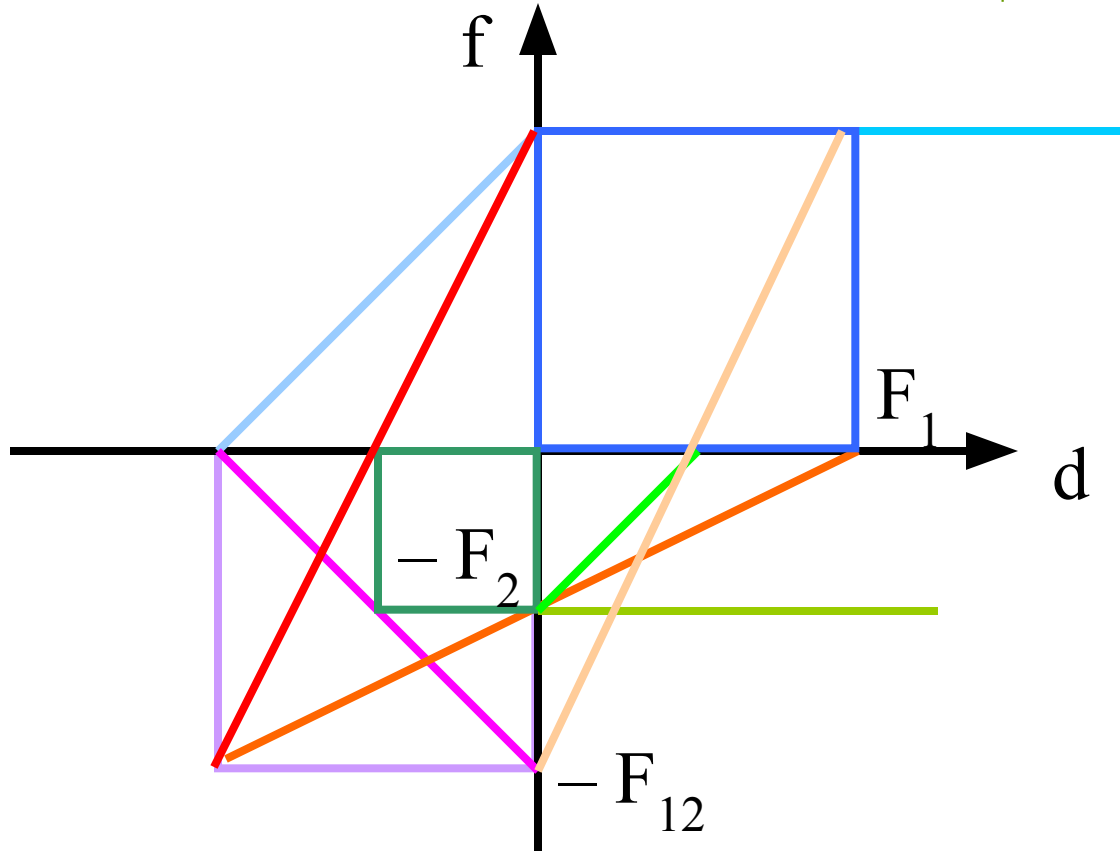
- Давайте с помощью номограмм проверим его справедливость для трех случаев:
 - 1. Оптическая сила собирающей линзы больше оптической силы рассеивающей;
 - 2. Меньше;
 - 3. Равна.

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



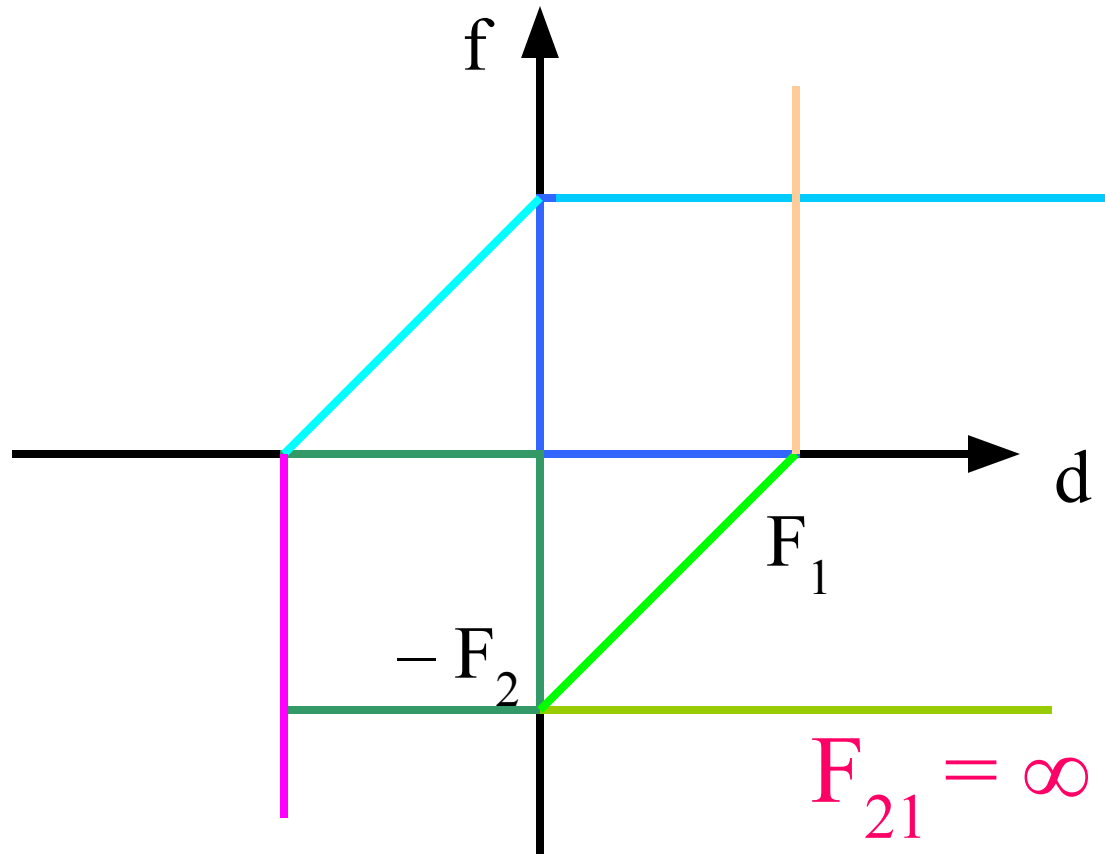
после сборки проведем ось d и f на рисунке номограммы обеих линз и предметом. Сделаем прообразку изопрообразную рассеянной линзы в действительный источник. Теперь поменяем линзы местами, то есть пошлем луч под углом 45° к оси d от точки $d = F_2$ параллельный OO' на вторую линзу; d , отметим точку $d = F_2$ - положение действительного источника;

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



пошли в обратном направлении от источника F_1 до тех пор, пока не достигнем точки F_2 . Однако для построения изображения создадим мнимый предмет F_2 в точке F_2 на оси d . Если мы рассмотрим изображение F_2 в системе из двух линз, то с помощью линзы первой линзы и увидим, что изображение в системе не зависит от изображения F_2 и является действительным предметом для второй линзы, поэтому с помощью линзы второй линзы, углом 45° к оси d , отметим точку $d = F_2$ – положение мнимого источника, d , отметим точку $d = F_2$ – положение действительного источника;

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



проведем оси d и f и нарисуем номограммы обеих линз:
 пошлем падающий луч \parallel OO' (на первую линзу,
 предметной стороной линзы, OO' — оптическая ось,
 под углом 45° к оси f , отменим, если f — положение мнимого
 источника;

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.

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

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

F_1A — часть параллелограмма $AFCO$ -

параллелограмм по построению;

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

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