

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.

$$1/F_1 + 1/F_2 = 1/F_{12} = 1/F_{21}$$

$$D_{12} = D_{21} = D_1 + D_2$$

# 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  $45^\circ$ .
- 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  $f$  –  $F_2$ .

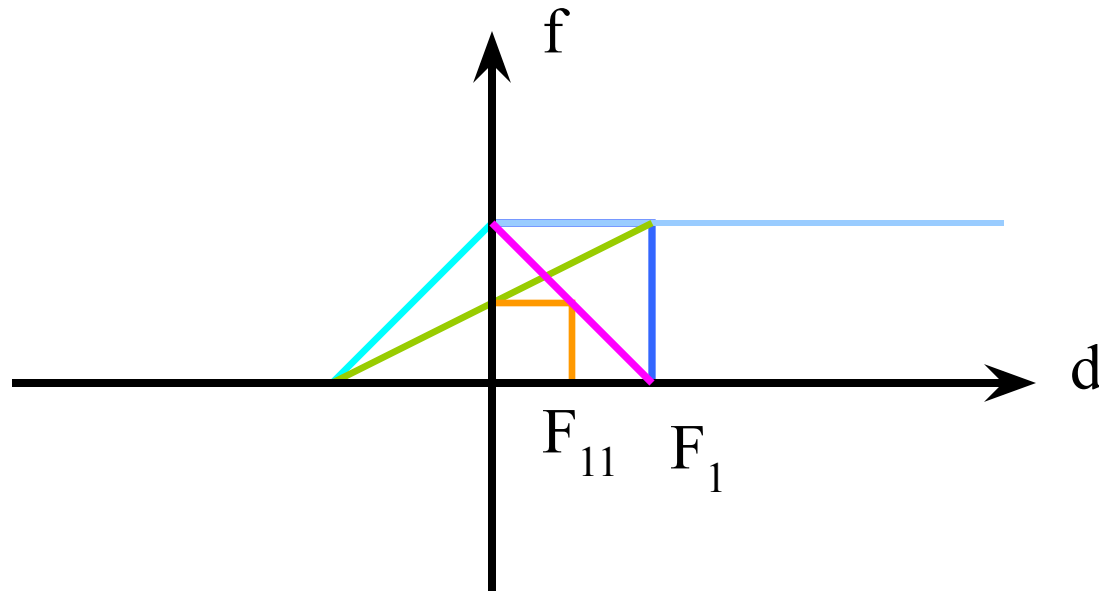
Каков физический смысл этого выражения?

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.

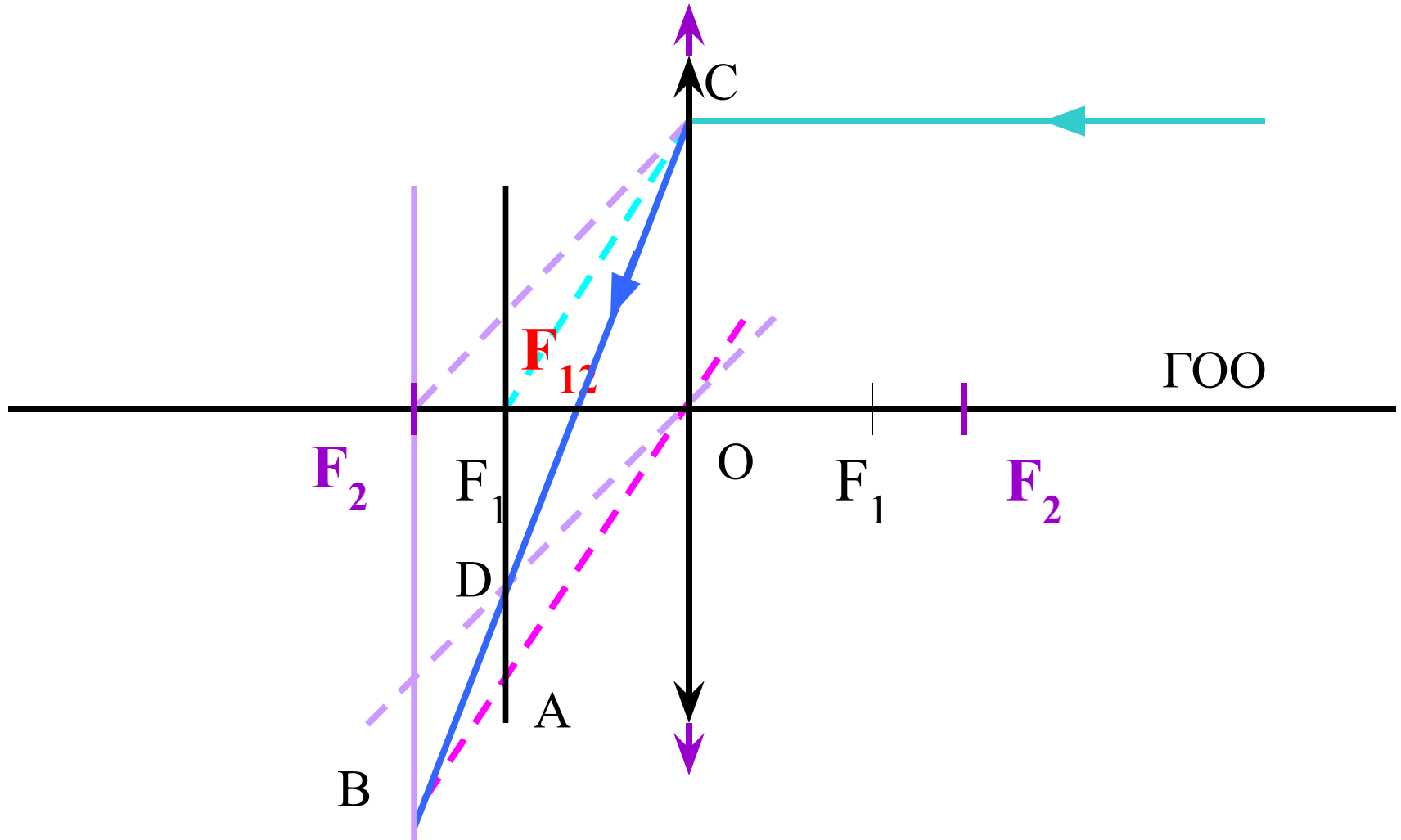


изображение получится в точке  $f = F_1$ : так как оно является  
фокальным то получится на расстоянии  $F_1$  от второй линзы второй  
поточка, и наоборот, на расстоянии  $F_1$  от первой линзы, под  
методом, который применяется в оптике, будут две ступенчатые линзы,  
линзы которые в данном случае совпадают.  
него номограмму системы;  $45^\circ$  построения видно, что фокусное  
наклоненной под углом  $45^\circ$  к оси  $d$ , отметим точку  $d = F_1$   
расстояние системы в два раза меньше фокусных расстояний  
положение мнимого источника,  
сложенных линз;





# Построение лучей в системе двух разных линз.



Для построения луча, прошедшего через систему, проведём  
 луч от точки B, параллельно оптической оси, до второй линзы,  
 если бы он прошёл через точку  $F_1$  первой линзы, то он бы  
 прошёл через точку  $F_2$  второй линзы, а так как он не  
 проходит через  $F_1$ , то он будет продолжением луча, проходящего  
 через  $F_1$  первой линзы. Точка пересечения этой прямой с  
 оптической осью и будет точкой  $F_1$  второй линзы (т.  
 е. бы не было первой линзы, то луч прошёл бы в точку  $F_2$ ,  
 если бы он прошёл через  $F_1$ ).

# 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.

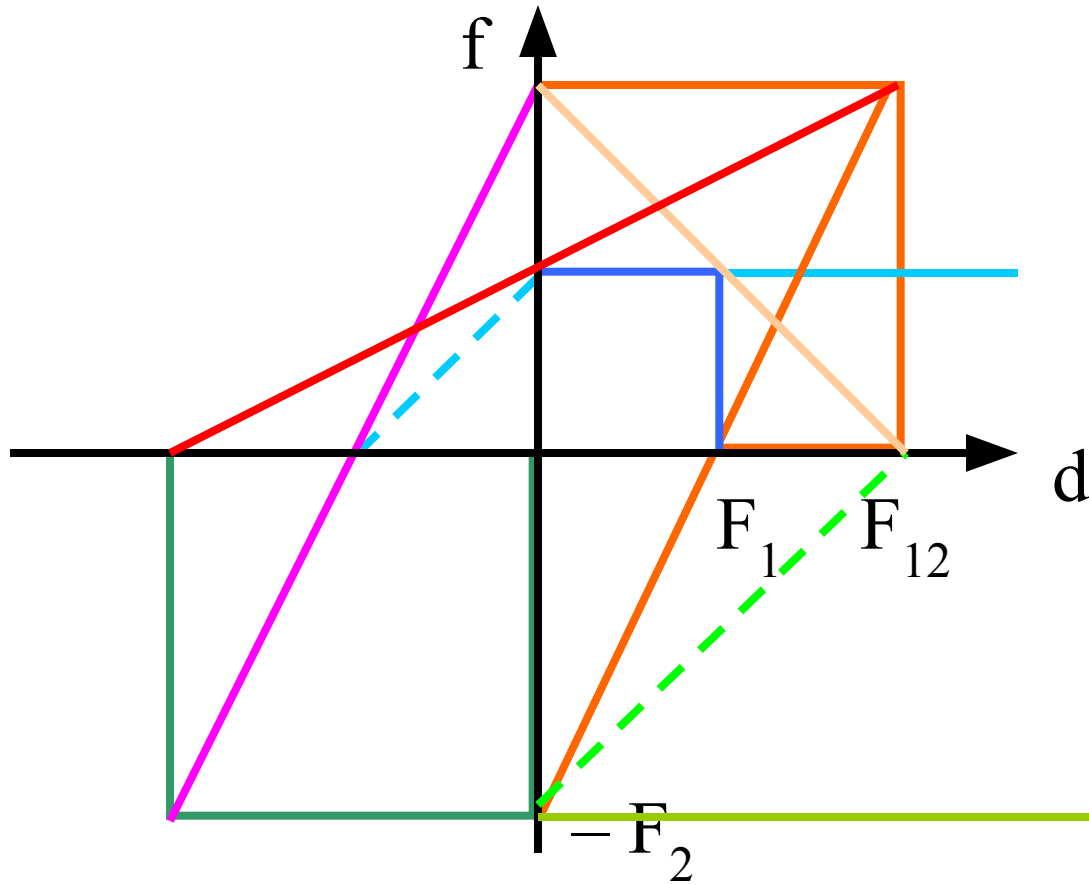
# Нахождение фокусного расстояния рассеивающей линзы

- 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 $D_+ > -D_-$

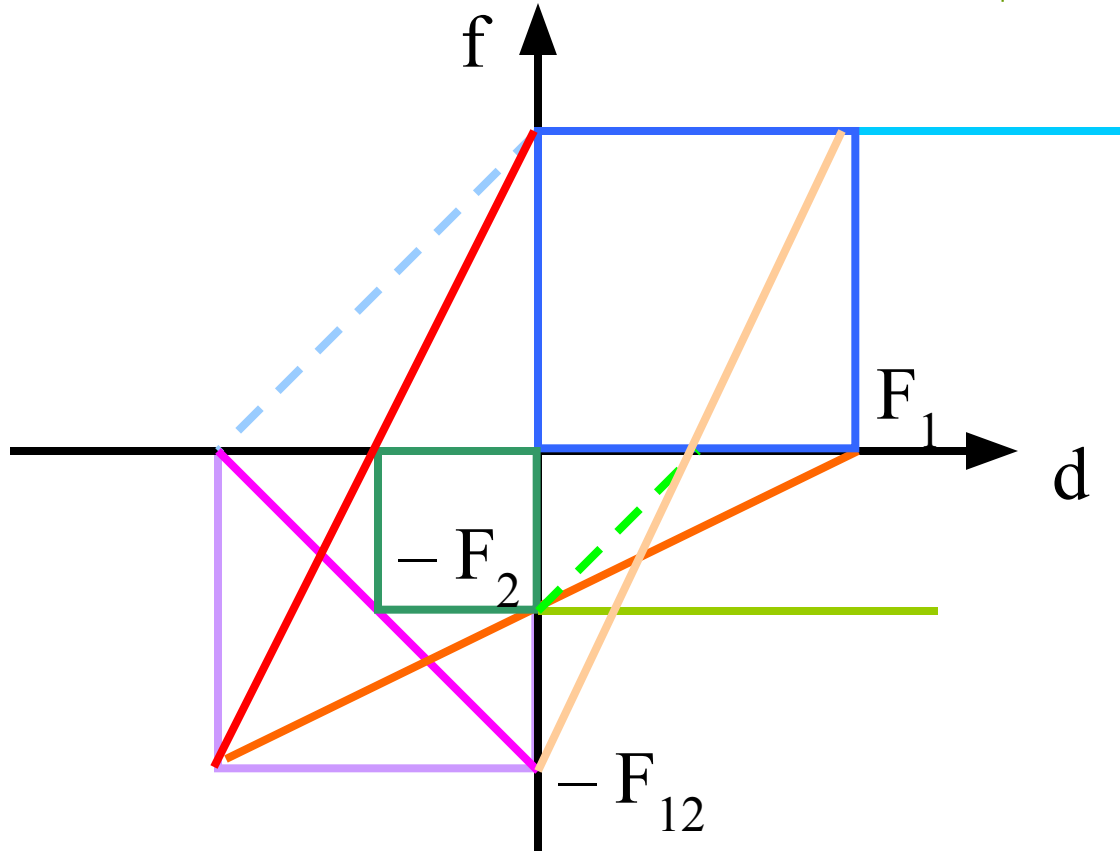


построим номограмму для случая, когда  $D_+ > -D_-$ . Для этого построим номограмму для системы из двух линз, в которой первая линза рассеивающая, а вторая собирающая. Пусть предмет находится на расстоянии  $d$  от первой линзы, а изображение образуется на расстоянии  $f$  от второй линзы. Тогда для системы линз справедливо соотношение  $D_+ = D_1 + D_2$ , где  $D_1 = -1/f_1$  и  $D_2 = 1/f_2$ . Если  $D_+ > -D_-$ , то  $f_2 > f_1$ .

Теперь поменяем линзы местами, то есть пошлем луч под углом  $45^\circ$  к оси  $d$  от точки  $d = F_2$  (положение источника), параллельный  $OO'$ , на вторую линзу; источник, поэтому с помощью линзы, наклоненной под углом  $45^\circ$  к оси  $d$ , отметим точку  $d = F_2$  – положение действительного источника;



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



пошли от точки  $f = F_1$  на оси  $f$  и  $d = -F_2$  на оси  $d$  и соединим их линией. Эта линия пересечет ось  $f$  в точке  $f = F_1$  и ось  $d$  в точке  $d = -F_2$ . Это и есть положение действительного источника. Если же предмет находится в мнимом фокусе, то с помощью линии первой линзы и видим, что изображение в системе не зависит от положения предмета. Если предмет находится в мнимом фокусе, то с помощью линии второй линзы, поэтому с помощью линзы, наклонённой под углом  $45^\circ$  к оси  $d$ , отметим точку  $d = F_2$  – положение мнимого источника,  $d$ , отметим точку  $d = F_2$  – положение действительного 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;

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

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