

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ

Факультет физики

Лабораторная работа

«Изучение центрированных оптических систем»

Работу выполнил студент 3 курса
Захаров Сергей Дмитриевич



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Москва
2020

Содержание

1. Цели работы	2
2. Определение фокусное расстояния плоской положительной линзы	2
2.1. Определение фокусного расстояния с помощью зеркала	2
2.2. Определение фокусного расстояния с помощью экрана	3
3. Определение фокусного расстояния оптической системы с помощью метода Аббе	4
4. Определение фокусное расстояние и положение главных плоскостей системы линз	5
5. Определение углового увеличения телескопа	7
6. Вывод	8

1. Цели работы

Перед началом работы были поставлены следующие задачи:

- 1) Ознакомиться с базовыми оптическими приборами, а также некоторыми методами установки фокусных расстояний линз и оптических систем.
- 2) Определить фокусное расстояние плоской положительной линзы различными способами.
- 3) Определить фокусное расстояние оптической системы с помощью метода Аббе.
- 4) Определить фокусное расстояние и положение главных плоскостей системы линз.
- 5) Определить угловое увеличение телескопа.

2. Определение фокусное расстояния плоской положительной линзы

Определить фокусное расстояние можно как минимум двумя наивными способами, которые будут приведены ниже.

2.1. Определение фокусного расстояния с помощью зеркала

Принцип работы этого метода заключается в следующем: если объект находится от линзы в точности на фокусном расстоянии, то лучи, прошедшие через линзу, после отражения вновь пройдут через линзу и создадут перевернутое равновеликое изображение. Схема представлена на рисунке 1.

Для того, чтобы было проще определить, что изображение оказалось равновеликим, предмет был такой формы, чтобы его перевернутое равновеликое изображение дополняло его до круга.

Для верности линза была перевернута другой стороной и поставлена в необходимое положение еще раз.

В результате двух измерений были получены следующие значения:

№ измерения	Фокусное расстояние, мм
1	152 ± 0.5
2	150 ± 0.5

Таким образом, усреднив полученные значения, получаем:

$$F = 151 \pm 0.5 \text{ мм}$$

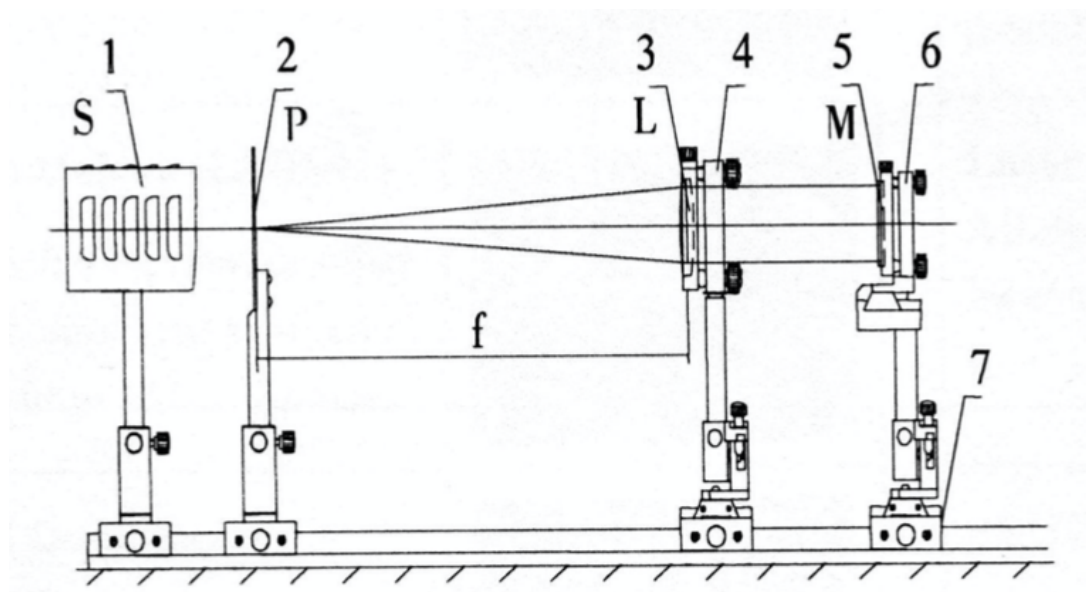


Рис. 1. Схема расположения оптических элементов в опыте по определению фокусного расстояния линзы с использованием плоского зеркала. На рисунке изображены следующие элементы: 1 – осветитель S; 2 – объект P (LMP-141); 3 – собирающая линза L ($f = 150$ мм); 4, 6 – двухосевой держатель оптических элементов (LMP-07); 5 – плоское зеркало M

2.2. Определение фокусного расстояния с помощью экрана

Этот способ основывается на том, что в случае, когда расстояние от предмета до экрана превышает $4F$, появляется два положения линзы, в которых получается четкое изображение предмета на экране. Схема опыта представлена на рисунке 2

Пусть d – расстояние от предмета до линзы, f – расстояние от линзы до изображения, L – расстояние между линзой и изображением (экраном). В таком случае, в силу обратимости лучей, становится понятно, что $d_1 = f_2$, и $d_2 = f_1$. Пусть необходимая сдвигка для получения второго изображения равна l . Тогда:

$$d_1 = \frac{L - l}{2}$$

$$d_2 = \frac{L + l}{2}$$

С учетом формулы тонкой линзы, получим:

$$F = \frac{L^2 - l^2}{4L} \quad (1)$$

Таким образом, необходимо определить необходимую сдвигку линзы l из первого положения, в котором появляется четкое изображение предмета, до второго при заданном L . Для верности данное действие было проделано трижды для различных L , а в каждой серии экспериментов линзу переворачивали другой стороной и вновь измеряли l .

В ходе трех серий экспериментов были получены следующие результаты:

№ серии	L , мм	l_1 , мм	l_2 , мм
1	790 ± 0.5	397 ± 0.5	400 ± 0.5
2	935 ± 0.5	570 ± 0.5	563 ± 0.5
3	983 ± 0.5	615 ± 0.5	610 ± 0.5

После усреднения всех полученных фокусных расстояний, получаем:

$$F = 148.507 \pm 0.5 \text{ мм}$$

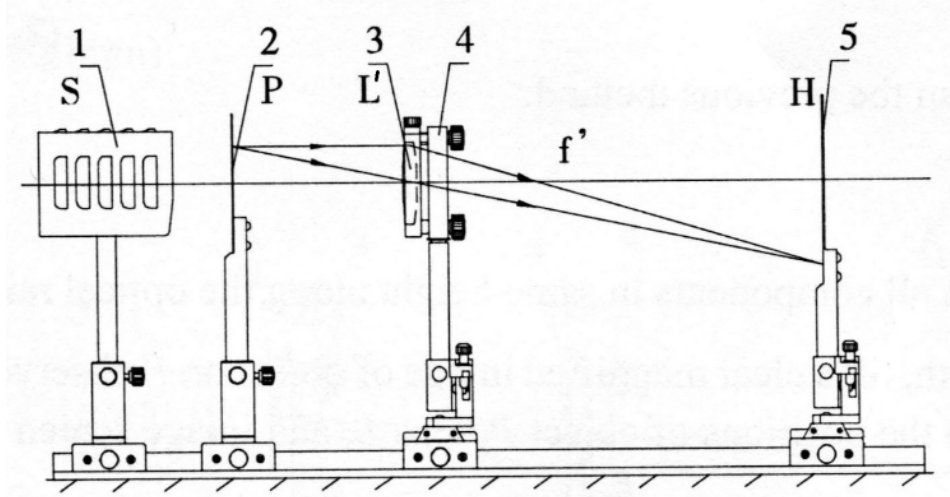


Рис. 2. Схема расположения оптических элементов в опыте по определению фокусного расстояния линзы с использованием экрана. На рисунке изображены следующие элементы: 1 – осветитель S; 2 – объект P (LMP-14); 3 – собирающая линза L' ($f = 150 \text{ мм}$); 4 – двухосевой держатель оптических элементов (LMP-07); 5 – экран H

3. Определение фокусного расстояние оптической системы с помощью метода Аббе

Фокусное расстояние оптической системы может быть измерено также с помощью метода Аббе. Получим расчетную формулу:

Предположим, что линейный размер предмета равен y , а находится он на расстоянии x_1 от главного фокуса F **положительной** оптической системы. Изображение предмета в таком случае имеет размер y_1 , а линейное увеличение равно $\beta_1 = y_1/y = F/x$. Если же теперь передвинуть предмет на небольшое расстояние Δx , то увеличение изменится и станет равным $\beta_2 = y_2/y = F/x$. В таком случае, легко получить:

$$F = \frac{\Delta x}{\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2}} \quad (2)$$

Таким образом, необходимо определить линейное увеличение β_1 в одном положении линзы, и линейное увеличение β_2 в сдвинутом относительно первого на Δx . Схема опыта представлена на рисунке 3.

В результате экспериментов были полученные следующие данные:

β_1	$\Delta x, \text{ мм}$	β_2
1	10	1.5

Тогда, с учетом формулы (2), получаем значение фокусного расстояния:

$$F = 30 \text{ мм}$$

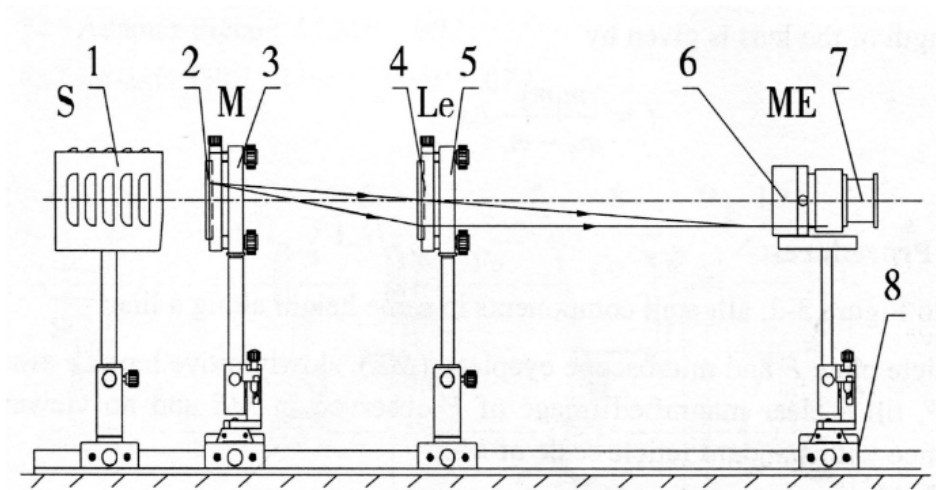


Рис. 3. Схема расположения оптических элементов в опыте по определению фокусного расстояния линзы с помощью метода Аббе. На рисунке изображены следующие элементы: 1 – осветитель S; 2 – слайд с делениями M (Reticle); 3 – держатель бипризм (LMP-41); 4 – линза Le ($f = 35$ мм); 5 – двухосевой держатель оптических элементов (LMP-07); 6 – окуляр микроскопа ME; 7 – держатель микроскопа (LMP-09)

4. Определение фокусное расстояние и положение главных плоскостей системы линз

Пусть у нас теперь есть оптическая система, которая состоит из двух центрированных собирающих линз, которые расположены на известном расстоянии друг от друга.

Известным является факт, что если система состоит из двух собирающих линз, то фокусное расстояние системы можно рассчитать следующим образом:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} - \frac{l_{12}}{F_1 F_2} \quad (3)$$

Здесь l_{12} — расстояние между линзами.

Сперва определим фокусное расстояние с помощью метода Аббе. Схема опыта представлена на рисунке 4. После эксперимента были получены следующие данные:

β_1	Δx , мм	β_2
1.6	30	1.2

Тогда по формуле (2) получаем:

$$F_{\text{Abbe}} = 150 \text{ мм}$$

Поскольку фокусные расстояния каждой из линз известны (написаны на их ободке) и равны $F_1 = 190$ мм и $F_2 = 300$ мм, по формуле же (3), которая выведена для конкретной системы, получим:

$$F_{\text{theor}} = 144 \text{ мм}$$

Для определения фокальных плоскостей предлагается воспользоваться еще одной линзой, которая была установлена перед исследуемой системой на фокусном расстоянии от объекта.

Таким образом, изображение от нее оказывается на бесконечности и, следовательно, проходя через оптическую систему оказывается в задней фокальной плоскости, что позволяет нам определить ее положение. В ходе эксперимента было определено взаимное положение фокальных плоскостей относительно оптической системы, представленное на рисунке 5.

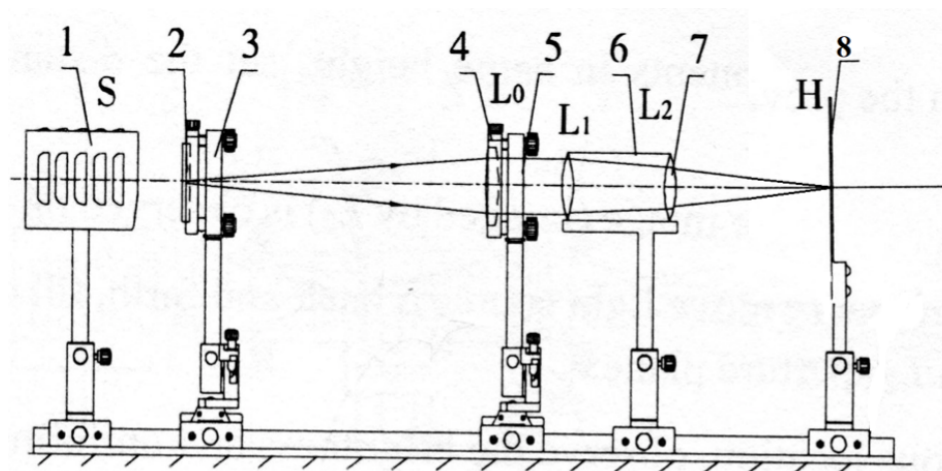


Рис. 4. Схема расположения оптических элементов в опыте по определению фокусного расстояния оптической системы с помощью метода Аббе. На рисунке изображены следующие элементы: 1 – осветитель S; 2 – слайд с линейкой (Millimetre Ruler); 3 – держатель бипризм (LMP-41); 4 – линза L_0 ($f = 150$ мм); 5 – двухосевой держатель оптических элементов (LMP-07); 6 – оптическая система, состоящая из линз L_1 ($f = 190$ мм) и L_2 ($f = 300$ мм); 7 – держатель группы линз (LMP-28); 8 – экран H (LMP-13)

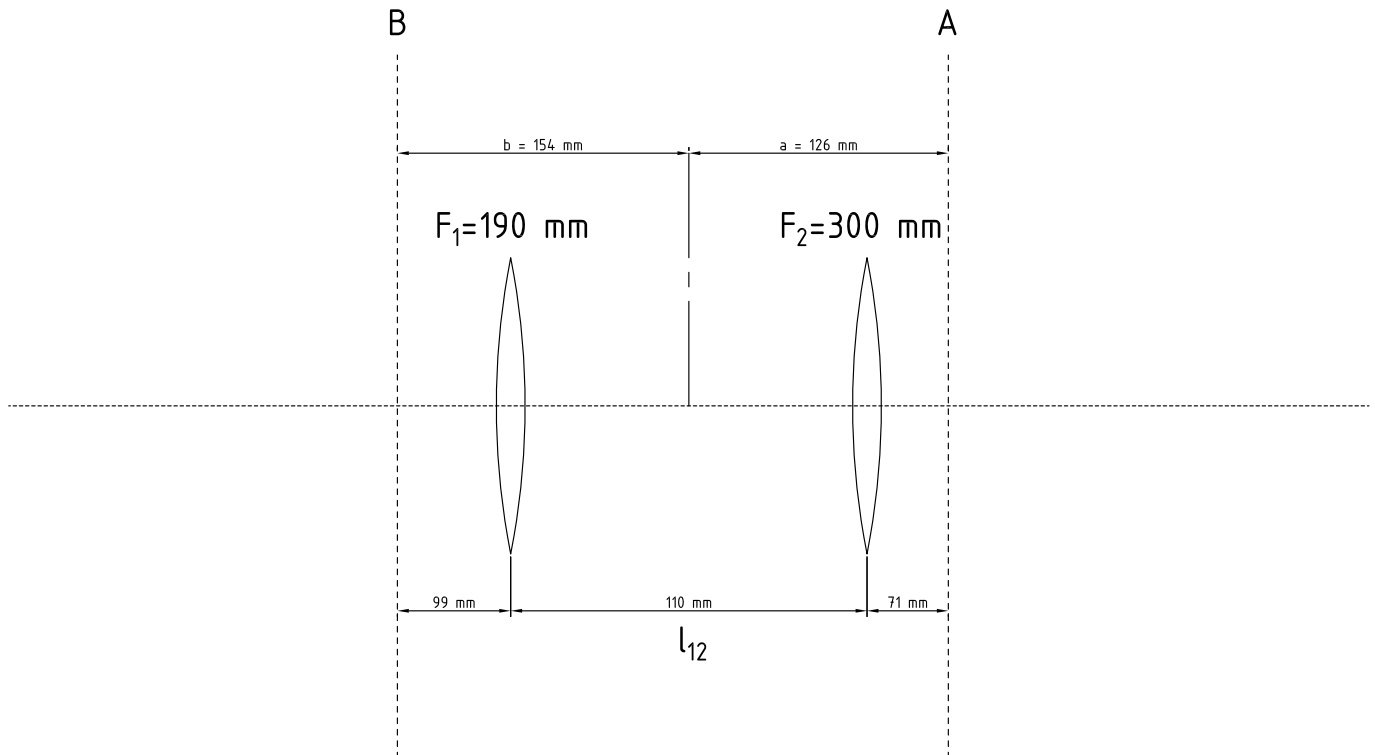


Рис. 5. Взаимное расположение фокальных плоскостей оптической системы относительно линз

5. Определение углового увеличения телескопа

Для определения углового увеличения телескопа было сделано следующее.

После слайда-линейки, который выступает в роли объекта, была установлена на ее фокусном расстоянии линза. Это позволяет получить параллельный пучок света, с которым обычно и работают при использовании телескопа. После этого с помощью зрительной трубы было определено число штрихов на линейке $N_1 = 10$, которые укладывались в поле зрения трубы. Затем после линзы была установлена собранная труба Кеплера ($F_1 = 190 \text{ mm}$, $F_2 = 105 \text{ mm}$) и данная операция была проделана еще раз, с получившимся $N_2 = 5$.

Угловым увеличением в таком случае по определению будет являться:

$$\gamma_N = \frac{N_1}{N_2} = 2 \quad (4)$$

С другой стороны, воспользовавшись законами геометрии, возможно получить еще одно соотношение:

$$\gamma_f = \frac{F_1}{F_2} = 1.81$$

Как видно, полученные двумя различными способами значения совпадают с известной точностью.

6. Вывод

- 1) Ознакомление с приборами и методами определения фокуса было проведено.
- 2) Было установлено фокусное расстояние линзы с помощью двух методов: с использованием зеркала и с использованием экрана, которые дали результаты, неплохо сходящиеся с реальностью и друг с другом: $F = 151 \pm 0.5$ мм для метода с зеркалом и $F = 148.507 \pm 0.5$ мм для метода с использованием экрана.
- 3) С помощью метода Аббе было установлено фокусное расстояние линзы $F = 30$ мм.
- 4) Для имеющейся системы из двух собирающих линз было определено ее фокусное расстояние, оказавшееся равным $F_{abbe} = 150$ мм по данным эксперимента и $F_{theor} = 144$ мм по предсказаниям теории. Было также получено расположение главных плоскостей системы относительно ее центра, представленное на рисунке 5.
- 5) Было определено угловое увеличение телескопа, которое оказалось равным $\gamma_N = 2$ из эксперимента и $\gamma_f = 1.81$ из теории.