

Лабораторная работа 4.1.1

Геометрическая оптика

Балдин Виктор Б01-303

14 мая 2025 г.

Цель работы: изучение свойств оптических систем: определение фокусных расстояний линз, определение фокусных расстояний и положения главной и фокальной плоскостей сложной оптической системы, изучение aberrаций оптических систем.

В работе используются: оптическая скамья с набором рейтеров, положительные и отрицательные линзы, экран, осветитель с ирисовой диафрагмой, зрительная труба, кольцевые диафрагмы, линейка.

1. Введение

Определения фокусных расстояний

Формула тонкой линзы имеет вид

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b},$$

где f – фокусное расстояние, a – расстояния от предмета до линзы, b – расстояние от изображения до линзы.

Для измерения фокусного расстояния тонкой собирающей линзы может использоваться схема с рис. 1. и формула (2).

$$f = \frac{L^2 - l^2}{4L}$$

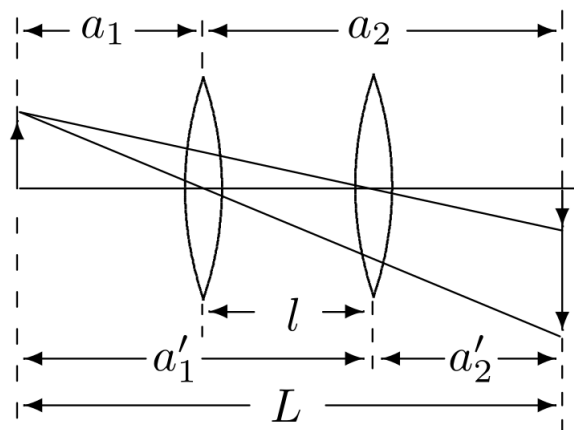


Рис. 1: Схема измерения фокуса тонкой собирающей линзы

Также фокусное расстояние тонкой собирающей линзы можно измерить с помощью зрительной трубы, настроенной на бесконечность. Если расположить линзу между предметом и трубой и найти четкое изображение предмета, то расстояние от линзы до предмета будет равно фокусному.

Для определения расстояния тонкой рассеивающей линзы воспользуемся схемой на рис. 2 и формулой тонкой линзы. Также можно воспользоваться зрительной трубой, настроенной на бесконечность. Если расположить предмет у нее в фокусе, то изображение переместится в бесконечность, что можно проверить с помощью зрительной трубы.

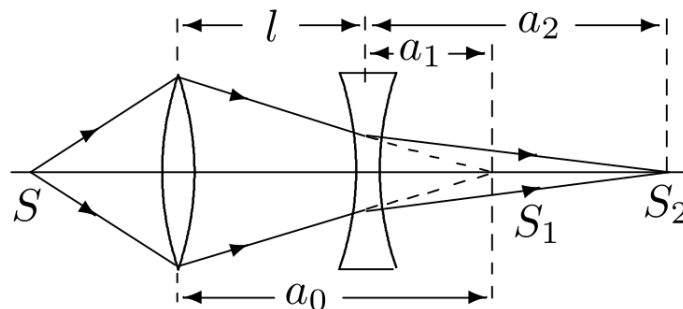


Рис. 2: Схема измерения фокуса тонкой рассеивающей линзы

Для определения фокусного расстояния и положения главных плоскостей сложной оптической системы может использоваться метод Аббе: схема на рис. 3 и формула (3).

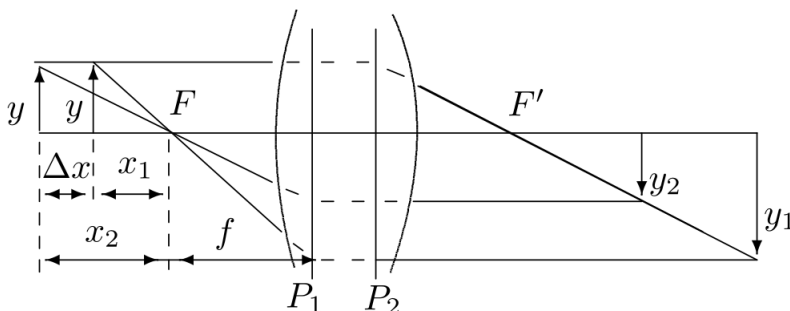


Рис. 3: Схема определения фокусного расстояния и положения главных плоскостей сложной оптической

$$f = \frac{\Delta x}{y/y_1 - y_2/y_1}$$

Пусть пучок света, попадающий в объектив, составляет с оптической осью угол φ_1 , а пучок, выходящий из окуляра, — угол φ_2 . Увеличение γ зрительной трубы по определению равно

$$\gamma = \frac{\tan \varphi_2}{\tan \varphi_1},$$

но также из рис. 3 следует, что

$$\gamma_K = \frac{f_1}{f_2} = \frac{D_1}{D_2},$$

где D_1 - ширина пучка, прошедшего через объектив, а D_2 - ширина пучка, вышедшего из окуляра

1.1. Моделирование трубы Галилея

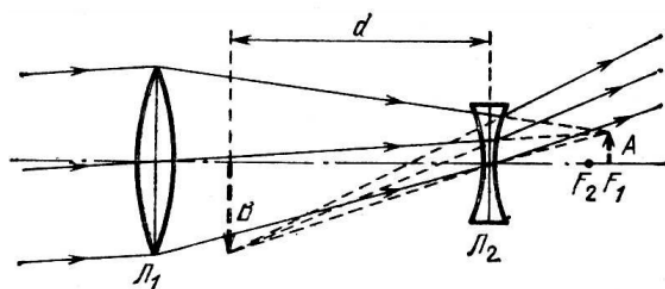


Рис. 4: Ход лучей в трубе Галилея

1.2. Моделирование микроскопа

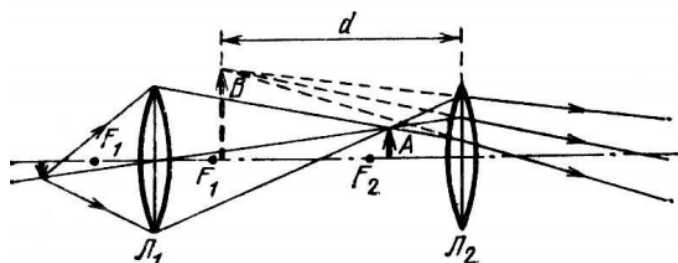


Рис. 5: Ход лучей в микроскопе

Ход лучей в микроскопе показан на рис. 6. Увеличение микроскопа вычисляется по формуле

$$\gamma_M = \Gamma_{ob} \Gamma_{oc} = \frac{\Delta}{f_1} \frac{L}{f_2},$$

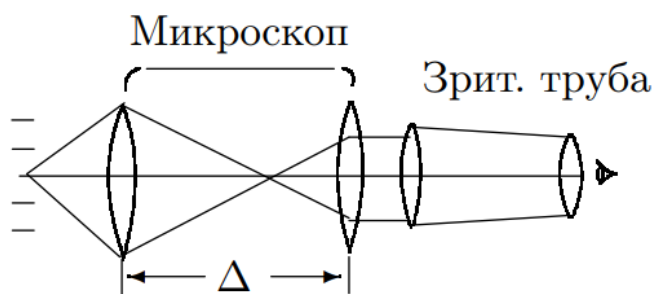


Рис. 6: Схема микроскопа

2. Ход работы

2.1. Подготовка к работе

Работал я за установкой №3. Визуально определим, какие линзы являются собирающими, а какие – рассеивающими. Собирающие линзы: 1, 2, 3, 4; рассеивающая линза: 5. Откорректируем высоту линз. Линза 1 не опускается ниже определённого уровня, так что использовать её далее мы не будем.

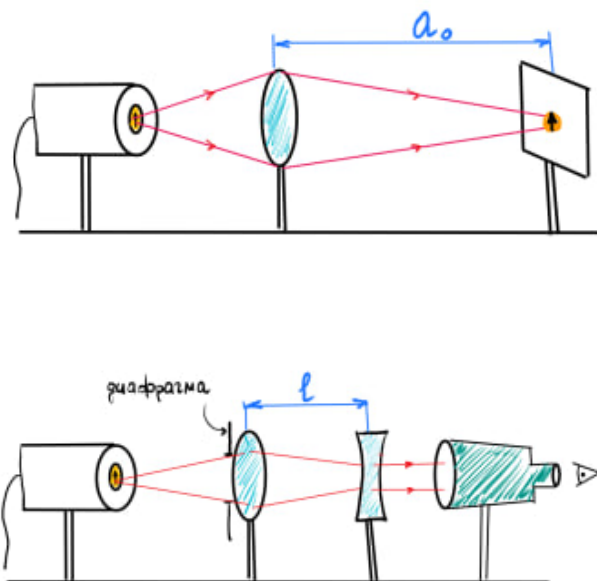
Определим фокусные расстояния линз с помощью экрана. С помощью формулы тонкой линзы подбирая расстояния между экраном, линзой и источником, находим оценочные фокусные расстояния линз. Для нахождения фокусного расстояния рассеивающей линзы, поставим вплотную к ней собирающую, оптическая сила будет суммой сил каждой из линз. Тогда получаем

F_2 , см	F_3 , см	F_4 , см	F_5 , см
16	20	30	-10

2.2. Определение фокусных расстояний линз с помощью зрительной трубы

Так как мы настроили зрительную трубу на бесконечность, то, если линза будет находится ровно на фокусном расстоянии от источника, то глядя в трубу мы будем видеть четкое изображение.

Для нахождения фокусного расстояния отрицательной линзы так же воспользуемся вспомогательной положительной, создавая для отрицательной линзы мнимый источник. Тогда фокусное расстояние отрицательной линзы будет $f = a_0 - l$



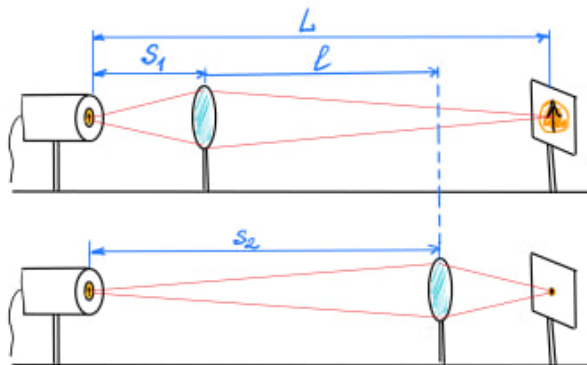
F_2 , см	F_3 , см	F_4 , см	F_5 , см
14.9	19.4	29.6	-11.5

Для оценки того, тонкие линзы или нет, развернем линзы на 180 градусов и посмотрим как изменится фокусное расстояние. В частности для линзы 4 получается $F_4 = 29.5$, поэтому в пределах погрешности будем считать линзы тонкими.

2.3. Измерение фокусных расстояний линз по формуле тонкой линзы и методом Бесселя

Возьмем линзу 2. Поставим экран от источника на расстояние порядка $1.2 \cdot 4F_2 = 71.5$ см. Поместим линзу в 2 положения на расстояниях s_1 и s_2 . Получаем $s_1 = 38.0$ см, $s_2 = 66.5$ см.

Тогда $l = s_2 - s_1 = 28.5$ см



Тогда по приближенной формуле Бесселя:

$$f = \frac{L^2 - l^2}{4L} = 15.0 \text{ см}$$

При переворачивании линзы получим точно такой же результат.

2.4. Измерение фокусных расстояний методом Аббе

Установим линзу 2 между осветителем и транспарантом в соответствии со схемой. В качестве физического предмета будем рассматривать изображение квадрата с линейным размером y_0 . При изначальной установке размер изображения y_1 . Отодвинем осветитель на некоторое расстояние $\Delta x = 4.8$ см от линзы. Затем передвинем экран к линзе на расстояние $\Delta x' = 15.9$ см до получения сфокусированного изображения с линейным размером y_2 .

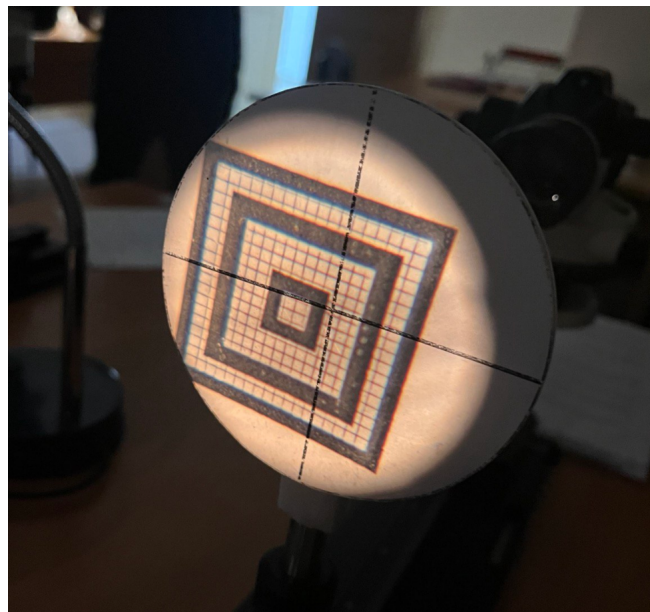
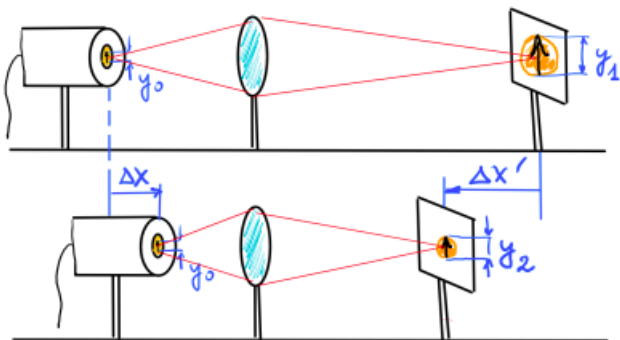
y_0 , см	0.5	1.3	1.9
y_1 , см	1.0	3.2	4.4
y_2 , см	0.5	1.7	2.4

Тогда вычислить фокусное расстояние можно по формуле (возьмём размер большего квадрата для лучшей точности):

$$f = \frac{\Delta x'}{y_1/y_0 - y_2/y_0} = 15.1 \text{ см}$$

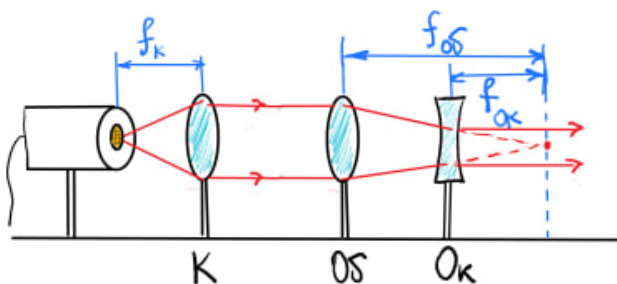
Или, если считать размер предмета неизвестным, то:

$$f^2 = \Delta x \cdot \Delta x' \cdot \frac{y_2 y_1}{(y_2 - y_1)^2} \Rightarrow f = 14.2 \text{ см}$$



2.5. Сборка и изучение подзорной трубы Галилея

Сделаем подзорную трубу Галилея. Выберем 3 линзы: коллиматорную (4), объектив (2) и окуляр (5). Соберем модель телескопа Галилея



Соберём телескоп Галилея. Для этого для начала симитируем удаленный объект. Для этого поставим длиннофокусную линзу и с помощью подзорной трубы, настроенной на бесконечность, найдем четкое изображение предмета.

После определим угловой размер объекта α_0 как кол-во рисок к числу укладываемых периодов сетки (рис. 7).

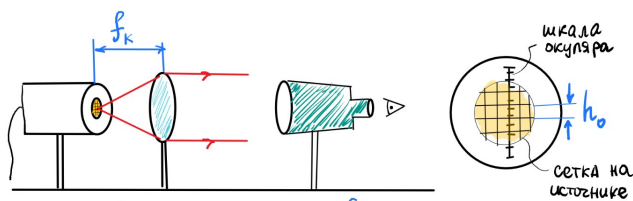


Рис. 7: Определение углового размера удалённого объекта

После начнем собирать телескоп. Для этого поставим две линзы $f_{ок}$ и $f_{об}$ (см. рис. 8) и с помощью подзорной трубы, двигая окуляр, найдём четкое изображение сетки. После чего аналогичным способом (по кол-ву рисок к одному квадратику) определим угловой размер изображения α в телескопе. После посчитаем угловое увеличение телескопа $\gamma = \alpha/\alpha_0$. Теоретическое значение увеличения при этом равно $\gamma_{теор} = |f_{об}/f_{ок}|$.

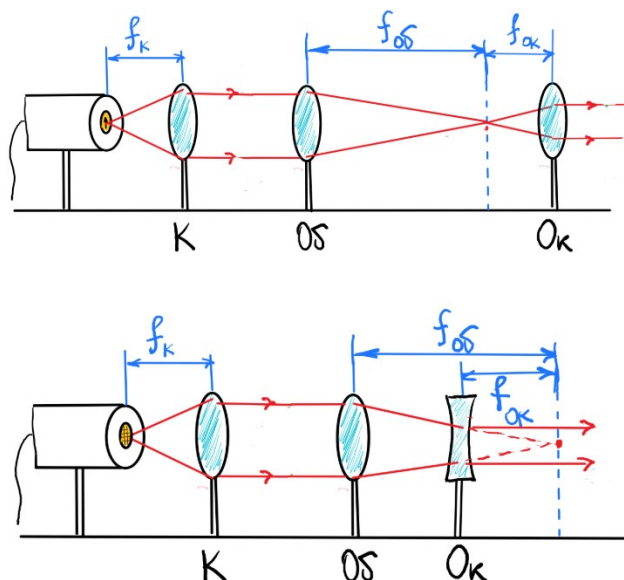


Рис. 8: Определение углового размера удалённого объекта в объективе телескопа

Также определить увеличение можно с помощью определения отношения диаметров изображения как $\gamma = D_{ок}/D_{об}$ (см. рис. 9).



Рис. 9: Определение углового увеличения удалённого по размеру изображения

Коллиматор – 300 мм, объектив – 200 мм, окуляр – 75 мм. Получаем теоретическое увеличение $\gamma_{теор} = 2,66$. Посчитанное по кол-ву клеток в риске увеличение $\gamma = 2,8 \pm 0.4$ (погрешность большая, так как клетки были большими). Посчитанное с помощью размеров пятна $\gamma = 2.75 \pm 0.13$.

3. Вывод

Были исследованы различные способы нахождения фокусных расстояний линзы. Наиболее эффективным оказался метод с использованием подзорной трубы – все значения совпали в пределах погрешности. Также неплохо показал себя метод Бесселя. Метод Аббе не получился из-за ошибки в выполнении.

Также были собраны телескоп Кеплера и микроскоп и измерены их увеличения (только для телескопа).

Также была изучена составная оптическая система. Найдены расстояния от линзы до фокальных плоскостей. Также с помощью метода Бесселя были найдены расстояния между фокусами линз и фокусное расстояние F_2 .

На глаз, см	Зрительная труба, см	Метод Бесселя, см	Метод Аббе, см
14.9	14.75	15.0	15.1