

# Лабораторная работа 4.1.1

## Геометрическая оптика

Рябов Олег, Шистко Степан Б04-302

15 апреля 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 аббераций 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).

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

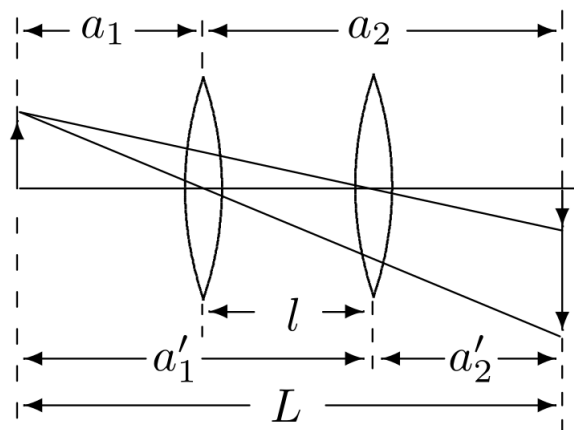


Рис. 1: Схема измерения фокуса тонкой собирающей линзы

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.

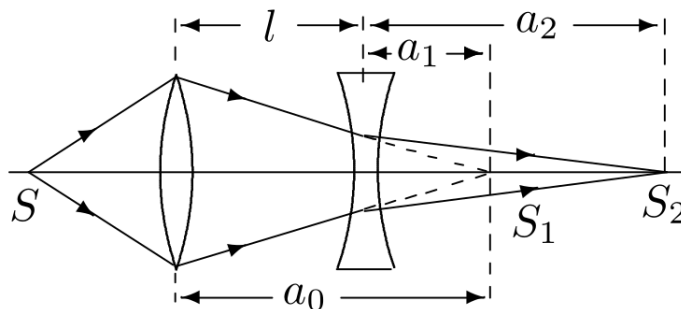


Рис. 2: Схема измерения фокуса тонкой рассеивающей линзы

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

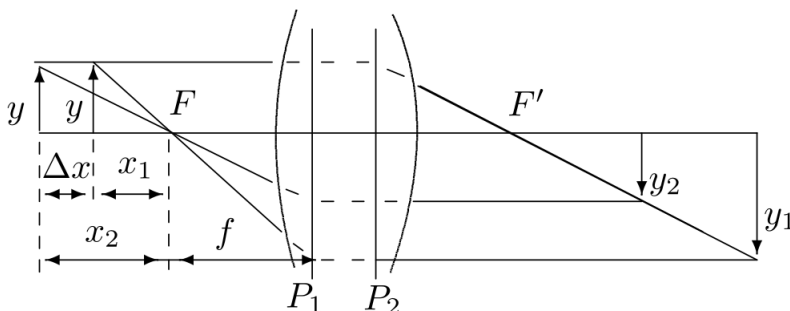


Рис. 3: Схема определения фокусного расстояния и положения главных плоскостей сложной оптической

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

Пусть пучок света, попадающий в объектив, составляет с оптической осью угол  $\varphi_1$ , а пучок, выходящий из окуляра, — угол  $\varphi_2$ . Увеличение  $\gamma$  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

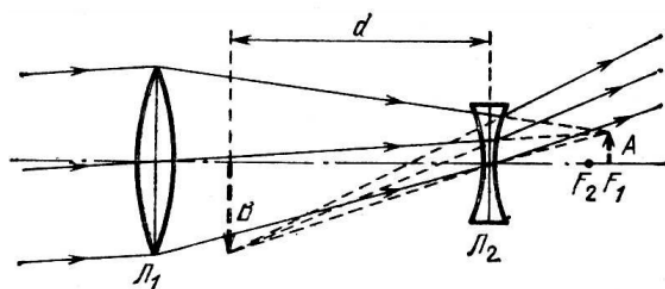


Рис. 4: Ход лучей в трубе Галилея

## 1.2. Моделирование микроскопа

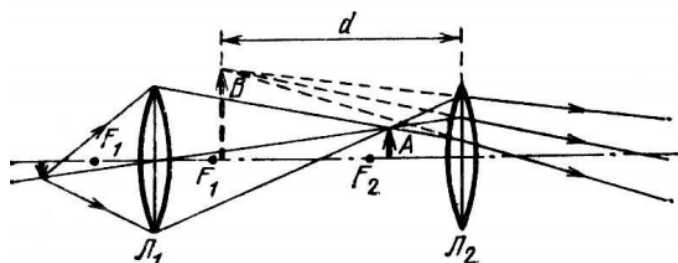


Рис. 5: Ход лучей в микроскопе

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

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

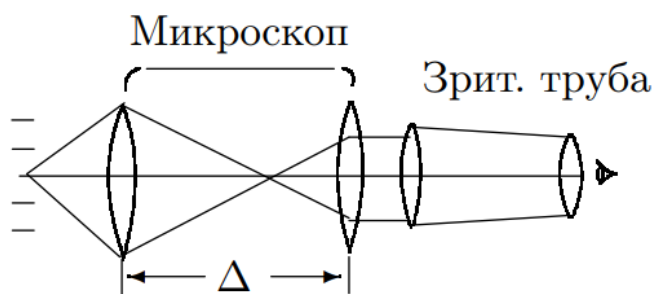


Рис. 6: Схема микроскопа

## 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.

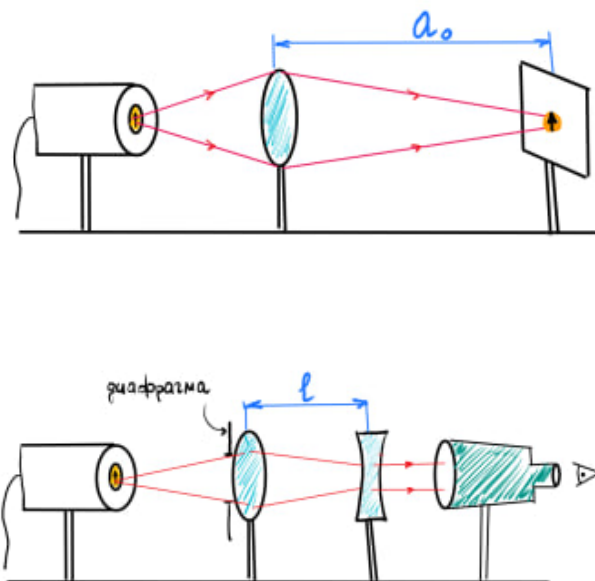
Определим фокусные расстояния линз с помощью экрана. С помощью формулы тонкой линзы подбирая расстояния между экраном, линзой и источником, находим оценочные фокусные расстояния линз. Для нахождения фокусного расстояния рассеивающей линзы, поставим вплотную к ней собирающую, оптическая сила будет суммой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

$F_1$ , см	$F_2$ , см	$F_3$ , см	$F_4$ , см	$F_5$ , см	$F_6$ , см
7	12	16	22	-9	5

### 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  $f = a_0 - l$



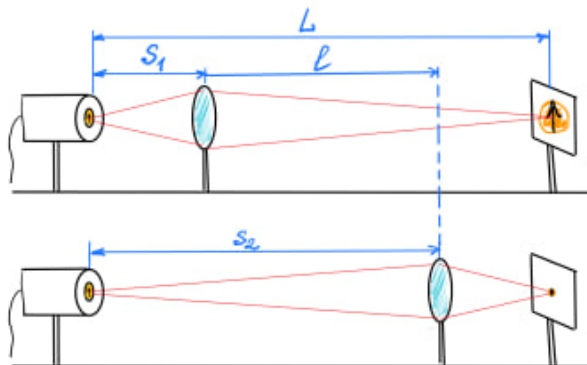
состояние	$F_1$ , см	$F_2$ , см	$F_3$ , см	$F_4$ , см	$F_5$ , см	$F_6$ , см
до переворота	7	15	20	29.6	-8	4.7
после переворота	8	15	19.5	29.2	-//-	5

Для оценки того, тонкие линзы или нет, развернем линзы на 180 градусов и посмотрим как изменится фокусное расстояние. В пределах погрешности будем считать линзы тонкими.

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

Возьмем линзу 1. Поставим экран от источника на расстояние порядка 33.7 см. Поместим линзу в 2 положения на расстояниях  $s_1$  и  $s_2$ . Получаем  $s_1 = 22.5$  см,  $s_2 = 10.4$  см.

Тогда  $l = s_2 - s_1 = 11.5$  см (измерено более точно, с помощью нилейки на оптической скамье)



Тогда по приближенной формуле Бесселя:

$$f = \frac{L^2 - l^2}{4L} = 7.4 \text{ см (после переворота так же)}$$

При переворачивании линзы получим точно такой же результат.

### 2.4. Измерение фокусных расстояний методом Аббе

Установим линзу 1 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  $\Delta x$  см от линзы. Затем передвинем экран к линзе на расстояние  $\Delta x'$  см до получения сфокусированного изображения с линейным размером  $y_2$ .

$y_0$ , см	2.1	2.1	2.1
$y_1$ , см	4.2	4.2	4.2
$y_2$ , см	2.1	6.3	1.8

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

$$f = \frac{\Delta x'}{y_1/y_0 - y_2/y_0} = 7.6 \text{ см}$$

$$f = \frac{\Delta x'}{y_1/y_0 - y_2/y_0} = 8.3 \text{ см}$$

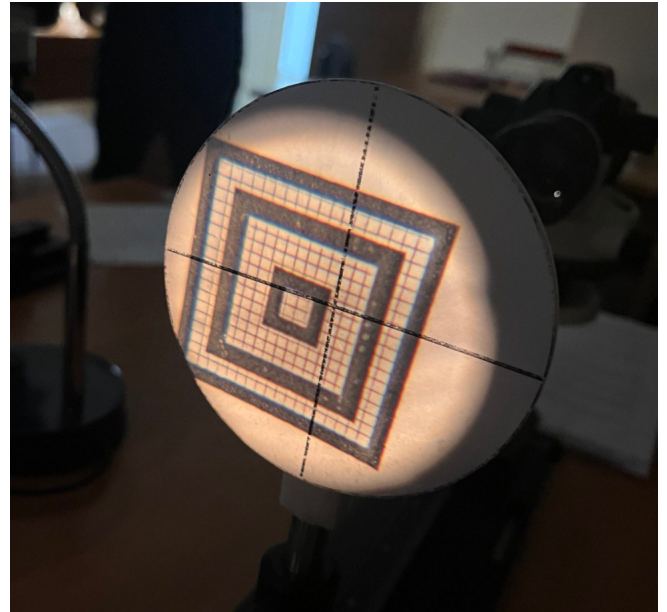
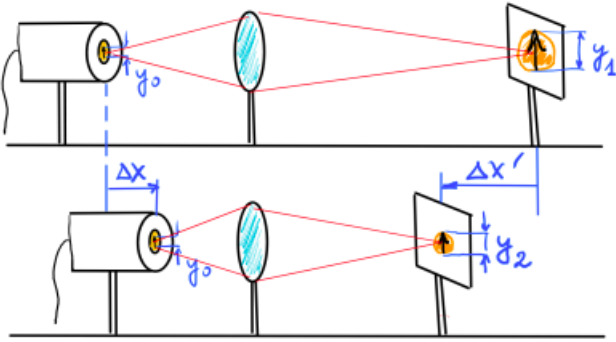
$$f = \frac{\Delta x'}{y_1/y_0 - y_2/y_0} = 7.35 \text{ см}$$

Или, если считать размер предмета неизвестным, то:

$$f^2 = \Delta x \cdot \Delta x' \cdot \frac{y_2 y_1}{(y_2 - y_1)^2} \Rightarrow f = 7.7 \text{ см}$$

$$f^2 = \Delta x \cdot \Delta x' \cdot \frac{y_2 y_1}{(y_2 - y_1)^2} \Rightarrow f = 7.9 \text{ см}$$

$$f^2 = \Delta x \cdot \Delta x' \cdot \frac{y_2 y_1}{(y_2 - y_1)^2} \Rightarrow f = 7.3 \text{ см}$$



## 2.5. Сборка и изучение подзорной трубы Галилея

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

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  $\alpha_0$  как кол-во рисок к числу укладываемыхся периодов сетки (рис. 7).

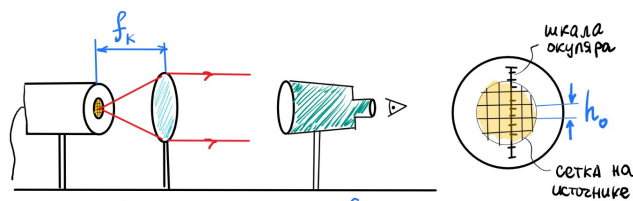


Рис. 7: Определение углового размера удалённого объекта

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  $\alpha$  в телескопе. После посчитаем угловое увеличение телескопа  $\gamma = \alpha/\alpha_0$ . Теоретическое значение увеличения при этом равно  $\gamma_{теор} = |f_{об}/f_{ок}|$ .

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

Коллиматор – 300 мм, объектив – 200 мм, окуляр – 150 мм. Получаем теоретическое увеличение  $\gamma_{теор} = 1,4$ . Посчитанное по кол-ву клеток в риске увеличение  $\gamma = 1,5 \pm 0.4$  (погрешность большая, так как клетки были большими). Посчитанное с помощью размеров пятна  $\gamma = 1,5 \pm 0.13$ .

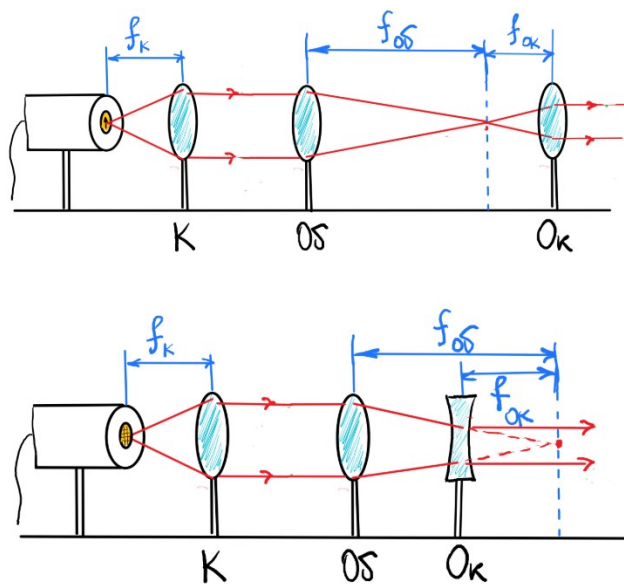


Рис. 8: Определение углового размера удалённого объекта в объективе телескопа



Рис. 9: Определение углового увеличения удалённого по размеру изображения

## 2.6. Сборка и изучение микроскопа

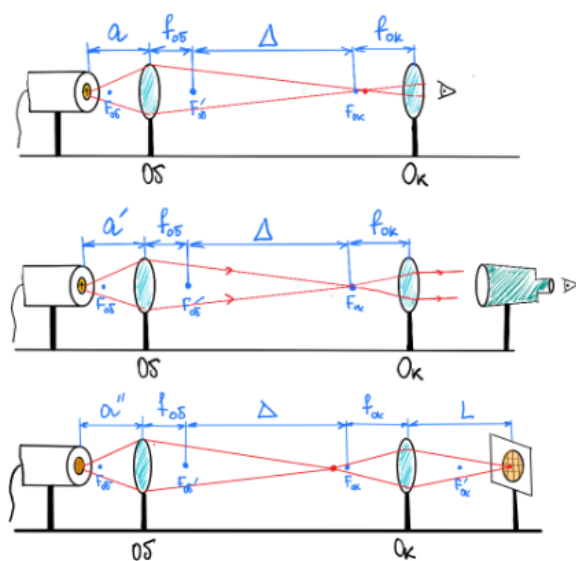


Рис. 10

Линзы использованные - 1 и 4 Полученное увеличение - 3.14, выставленное - 3

### 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 и Аббе.

Также были собраны телескоп Кеплера и микроскоп и измерены их увеличения.