

# Лабораторная работа 4.1.2. Моделирование оптических приборов и определение их увеличения

Калинин Даниил, Б01-110

23 марта 2023 г.

**Цель работы:** Определить фокусные расстояния собирающих и рассеивающих линз, смоделировать ход лучей в трубе Галилея, трубе Кеплера и микроскопе, определить их увеличение.

**В работе используются:** Оптическая скамья, набор линз, экран, осветитель со шкалой, зрительная труба, диафрагма, линейка.

## Ход работы:

1. Для начала определим примерные фокусные расстояния линз. Для этого возьмем параллельный пучок лучей и будем добиваться четкого изображения, если изображения наблюдаться не будет, то линза – рассеивающая. Проведем такой эксперимент со всеми линзами. Результат занесем в таблицу 1.

Номер линзы	Приблизительное фокусное расстояние, см.
1	7.7
2	10
3	20.7
4	31
5	–

Таблица 1. Приблизительные фокусные расстояния линз

Таким образом, у нас получилось, что линзы 1-4 – собирающие, а линза 5 – рассеивающая. 2. Теперь определим точное фокусное расстояние собирающих линз. Для этого сначала настроим зрительную трубу на бесконечность, а затем будем располагать линзы на расстоянии, примерно равном фокусному. Передвигая линзу вдоль скамьи, получим в окуляре зрительной трубы четкое изображение предмета – миллиметровой сетки, тогда расстояние между предметом и серединой линзы равно фокусному. Полученные измерения занесем в таблицу 2.

Номер линзы	Фокусное расстояние, см.
1	7.5
2	10.6
3	19.3
4	28.1

Таблица 2. Фокусные расстояния собирающих линз

3. Далее определим фокусное расстояние рассеивающей линзы. Для начала, получим увеличенное изображение сетки при помощи короткофокусной линзы № 1. Измерим расстояние между линзой и экраном:  $a_0 = 37.5$  см. Сразу за экраном разместим зрительную трубу, настроенную на бесконечность, уберем экран, а на его месте поставим рассеивающую линзу. (Установка изображена на рисунке 1).

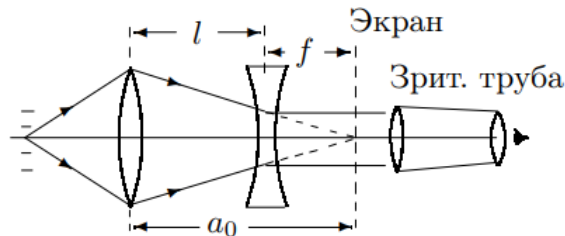


Рис. 1. Схема эксперимента по измерению фокусного расстояния рассеивающей линзы.

Перемещая рассеивающую линзу, добьемся четкого изображения сетки в зрительной трубе. Измерив расстояние между линзами, рассчитаем фокусное расстояние рассеивающей линзы:  $l = 11.5$  см.,  $f_s = a_0 - l = 26$  см.

4. Измерив фокусные расстояния, приступим к моделированию оптических приборов. Первым смоделируем трубу Кеплера.

Ход лучей в трубе Кеплера представлен на рисунке 2. Пользуясь рисунком, найдем теоретическое увеличение системы.

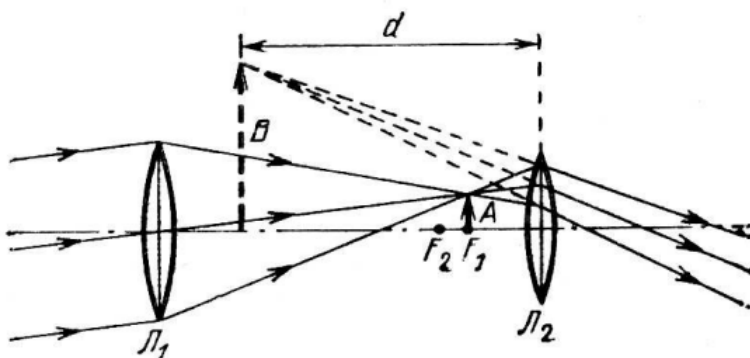


Рис. 2. Ход лучей в трубе Кеплера

Пусть пучок света, попадающий в объектив, составляет с оптической осью угол  $\varphi_1$ , а пучок, выходящий из окуляра, — угол  $\varphi_2$ . По определению, увеличение  $\gamma$  зрительной трубы равно

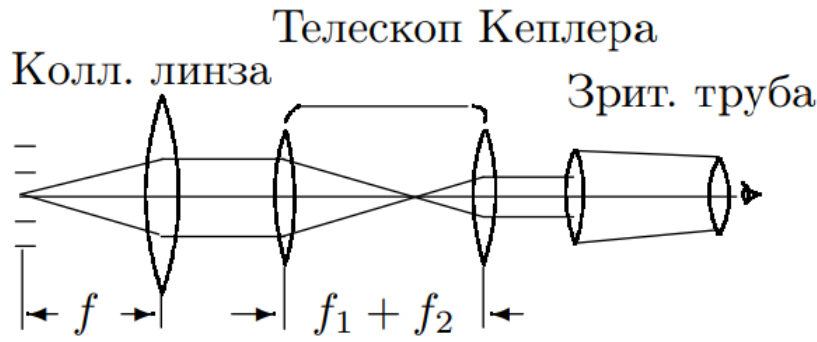
$$\gamma = \frac{\tan \varphi_2}{\tan \varphi_1}, \quad (1)$$

но также из рисунка 2 следует, что

$$\gamma_K = -\frac{f_1}{f_2} = -\frac{D_1}{D_2}, \quad (2)$$

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

Возьмем линзы № 2 и № 4, построим из них трубу Кеплера. Далее, построим оптическую систему из трубы Кеплера и каллиматора. Схема установки изображена на рисунке 3.



Получим экспериментальное значение увеличения трубы Кеплера. Пусть  $h_1$  – размер ячейки сетки без телескопа,  $h_2$  – с телескопом.

$$h_1 = 10 \text{ дел.}, \quad h_2 = 27 \text{ дел.}$$

Таким образом, получим:

$$\gamma_{K_{\text{эксн}}} = -\frac{h_2}{h_1} = -2.7$$

Сравним это значение с рассчитанными по формуле (2).

Во-первых, по диаметру оправы объектива и диаметру изображения этой оправы в окуляре:

$$D_1 = 3.6 \text{ см}, \quad D_2 = 9.6 \text{ см}$$

$$\gamma_{K_{\text{диам}}} = -\frac{D_2}{D_1} = -2.66$$

И, во-вторых, по фокусным расстояниям линз:

$$f_2 = 10.6 \text{ см}, \quad f_4 = 28.1 \text{ см}$$

$$\gamma_{K_{\text{фокус}}} = -\frac{f_4}{f_2} = -2.65$$

5. Теперь смоделируем трубу Галилея. Труба Галилея получается после замены собирающей линзы в трубе Кеплера рассеивающей. Таким образом, формулы для увеличения остаются те же (за исключением знака, т.к. труба Галилея дает прямое изображение):

$$\gamma_K = \frac{f_1}{f_2} = \frac{D_1}{D_2}, \quad (3)$$

Заменяем линзу № 4 на рассеивающую линзу № 5 (с фокусным расстоянием  $f_5 = 26 \text{ см.}$ ). Измерим увеличение:

$$h_1 = 10 \text{ дел.}, \quad h_2 = 25 \text{ дел.}$$

$$\gamma_{G_{\text{эксн}}} = \frac{h_2}{h_1} = 2.5$$

Теперь сравним значение с рассчитанным по формуле (3):

$$\gamma_{G_{\text{фокус}}} = \frac{f_4}{f_2} = 2.45$$

6. Моделирование микроскопа. Схема микроскопа приведена на рисунке 4. Увеличение микроскопа вычисляется по следующей формуле

$$\gamma_M = \Gamma_{ob}\Gamma_{oc} = -\frac{\Delta}{f_1} \frac{L}{f_2}, \quad (4)$$

где  $f_1$  и  $f_2$  - фокусные расстояния линз микроскопа,  $\Delta = l_{12} - f_1 - f_2$  см - интервал,  $l_{12}$  - длина тубуса,  $L$  - расстояние наилучшего зрения ( $L = 25$  см).

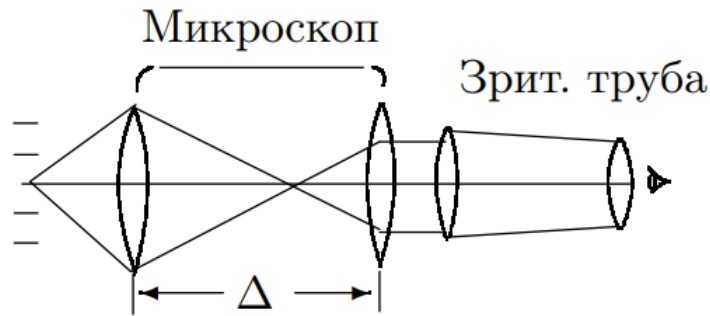


Рис. 4. Схема микроскопа

Соберем микроскоп с пятикратным увеличением. Для сборки используем линзы №1 ( $f_1 = 7.5$  см) и №2 ( $f_2 = 10.6$  см). По формуле (4) рассчитаем необходимую длину тубуса:  $l_{12} = 33.75$  см.

Измерим размер ячейки миллиметровой сетки, и рассчитаем увеличение.

$$h_1 = 10 \text{ дел.}, \quad h_2 = 38 \text{ дел.}$$

$$\gamma_{M_{\text{эксп}}} = -\frac{h_2 L}{h_1 f} = -4.92$$

где  $f$  - фокусное расстояние линзы-коллиматора  $f = f_3 = 19.3$  см.

### Заключение:

В ходе выполнения лабораторной работы были получены следующие результаты:

1. Для трубы Кеплера:

- (a)  $\gamma_{K_{\text{эксп.}}} = -2.7$
- (b)  $\gamma_{K_{\text{диам.}}} = -2.66$
- (c)  $\gamma_{K_{\text{фокус.}}} = -2.65$

2. Для трубы Галлилея:

- (a)  $\gamma_{G_{\text{эксп.}}} = 2.5$
- (b)  $\gamma_{G_{\text{фокус.}}} = 2.45$

3. Для микроскопа:

- (a)  $\gamma_{M_{\text{эксп.}}} = -4.92$
- (b)  $\gamma_{M_{\text{теор.}}} = -5$

Как видно, значения хорошо соответствуют друг другу. Небольшое расхождение можно объяснить небольшими продольными сдвигами приборов при выставлении их на оптической скамье.