

# Лабораторная работа 4.1.1

## Геометрическая оптика

Татаурова Юлия Романовна

28 марта 2025 г.

### Аннотация

В работе были вычислены фокусные расстояния линз разными способами. Был собран телескоп Кеплера и проекционный микроскоп.

### Цель работы

Изучить методы определения фокусных расстояний линз и сложных оптических систем; изучить модели зрительных труб (астрономической трубы Кеплера) и микроскопа, определить их увеличения.

### Экспериментальная установка

**Оборудование:** оптическая скамья, набор линз, экран, осветитель со шкалой, зрительная труба, диафрагма, линейка.

Все элементы оптической системы должны быть центрированы относительно оптической оси: выставлены по высоте и по поперечному положению. Поэтому перед началом работы отцентрируем систему. Порядок центровки следующий:

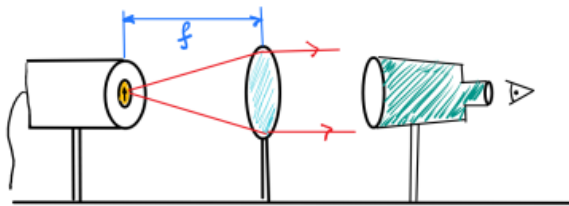
- 1) Установили источник в начале оптической скамьи и направили его вдоль скамьи.
- 2) Установили подзорную трубу вдоль скамьи так, чтобы её объектив оказался непосредственно напротив источника; выровняли их по высоте и по поперечному расположению.
- 3) Установили экран непосредственно перед источником и выровняли его по высоте и поперечному смещению так, чтобы центр светового пятна от источника совпадал с центром экрана.
- 4) Для центровки первой собирающей линзы поставили её между уже центрированными источником и экраном. Убедились, что плоскость линзы была перпендикулярна оптической скамье. Отрегулировали положение линзы по высоте и в боковом направлении так, чтобы центр светового пятна снова оказался в центре экрана. Перемещая линзу вдоль скамьи, уточнили её центровку. Зафиксировали крепёжные винты линзы.

5) Добавляли следующие линзы последовательно, устанавливая их между предыдущей линзой и экраном. Центрировали положение пятна на экране, изменяя положение только добавляемой линзы.

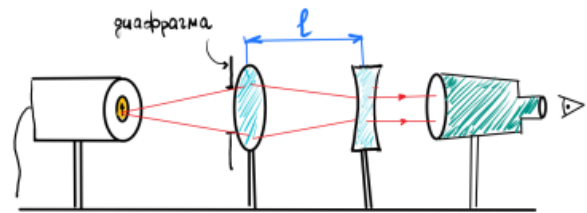
## I. Определение фокусных расстояний линз с помощью подзорной трубы

1) Настроили подзорную трубу так, чтобы она была сфокусирована на «бесконечность». Наведя трубу на далёкий предмет и с помощью фокусирующего винта трубы получили чёткое изображение предмета.

2) Расположили одну из линз на оптической скамье перед источником света на расстоянии, приблизительно равном фокусному. Далее за линзой разместили подзорную трубу



(а) Схема установки для измерения фокусных расстояний собирающих линз



(б) Схема установки для измерения фокусного расстояния рассеивающей линзы

3) Далее разворачивали линзы и измеряли их фокусные расстояния. Результат измерений приведен ниже.

№ линзы	$F_1$ , см	$F_2$ , см
4.6	4.2	4.8
4.2	10.1	10.2
4.1	4.1	4.9
4.4	18.3	17.5
4.3	12.2	12.4

Таблица 1: Результаты измерений фокусных расстояний с помощью подзорной трубы

Повторяя измерения несколько раз для одной линзы, каждый раз заодно выставляя линзу, мы получали одинаковые результаты, поэтому среднеквадратичное отклонение далее не будем учитывать. Поэтому погрешность измерения фокусного расстояния  $\sigma_F = 0.1$  см.

**Вычислили фокусное расстояние рассеивающей линзы.**

а) Разместили на скамье перед источником вспомогательную положительную линзу (линза №4.2 с фокусом  $F \approx 10$  см) и получили на экране за линзой чёткое изображение предмета. Измерили расстояние от линзы до экрана  $a_0 = 20 \pm 0.1$  см.

б) Использовали полученное изображение в качестве мнимого предмета для рассеивающей линзы: поместили отрицательную линзу между положительной и экраном.

с) Убрали экран и за отрицательной линзой разместили подзорную трубу. Перемещая отрицательную линзу по скамье (положительная оставалась неподвижной), получили сфокусированное изображение предмета в подзорную трубу.

d) Измерили расстояние  $l = 17.9 \pm 0.01$  см между положительной и отрицательной линзами. Определили фокусное расстояние отрицательной линзы.

$$F_{\text{отр}} = a_0 - l = -2.1 \pm 0.02 \text{ см} \quad (1)$$

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

Использовалась линза №4.2 с фокусным расстоянием  $F \approx 10$  см. Поместив исследуемую линзу между источником и экраном и нашли два её положения, при которых на экране возникают чёткие действительные изображения — в одном случае увеличенное, а в другом уменьшенное. Соответственно  $s_1 = 21 \pm 0.1$  см и  $s_2 = 28.7 \pm 0.1$  см. Смещение между этими положениями  $l = s_2 - s_1 = 7.7 \pm 0.2$  см. Расстояние от источника до экрана  $L = 51.2 \pm 0.1$  см. Тогда по формуле тонкой линзы:

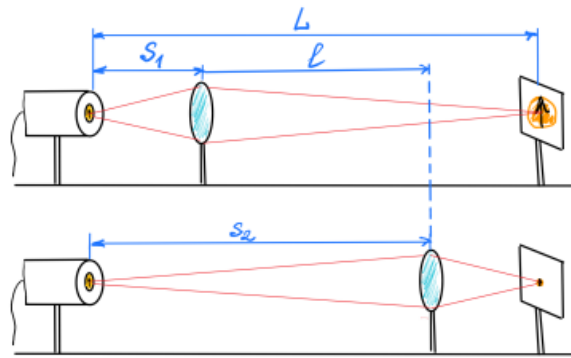


Рис. 2: Схема установки для измерения фокусных расстояний собирающих линз по формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{s} + \frac{1}{L - s} \quad (2)$$

$$F_1 = 12.6 \pm 0.2 \text{ см}; F_2 = 12.4 \pm 0.2 \text{ см}$$

По приближенной формуле Бесселя:

$$F = \frac{L^2 - l^2}{4L} = 12.5 \pm 0.03 \text{ см} \quad (3)$$

Далее повернув линзу другой стороной повторили измерения:

$$s_1 = 21 \pm 0.1 \text{ см}; s_2 = 28 \pm 0.1 \text{ см}$$

Тогда по формуле тонкой линзы:

$$F_1 = 12.6 \pm 0.2 \text{ см}; F_2 = 12.4 \pm 0.2 \text{ см}$$

По приближенной формуле Бесселя:

$$F = 12.5 \pm 0.03 \text{ см}$$

### III. Измерение фокусных расстояний методом Аббе

1) Установили линзу между осветителем с транспарантом - предметом известного размера  $y_0$  - и экраном. Получили на экране сфокусированное действительное изображение предмета и измерили его линейный размер  $y_1$ .

2) Отодвинули осветитель на некоторое расстояние  $\Delta x$  от линзы (линза оставалась неподвижной), измерив величину смещения. Затем придвинули экран к линзе на расстояние  $\Delta x'$  до получения сфокусированного изображения. Измерили новый размер изображения  $y_2$ .

3) Рассчитали фокусное расстояние линзы методом Аббе:

$$f = \frac{\Delta x'}{y_1/y_0 - y_2/y_0} = \frac{\Delta x}{y_0/y_2 - y_0/y_1} \quad (4)$$

Сторона линзы	$y_0$ , см	$y_1$ , см	$y_2$ , см	$\Delta x$ , см	$\Delta x'$ , см	$f$ , см	$f'$ , см
Прямая	2	3	2	3	4.6	$9.2 \pm 1.1$	$9.1 \pm 1.05$
Обратная	2	2	1.5	3	2.3	$9.2 \pm 1.15$	$9.1 \pm 1.1$

Таблица 2: Данные для определения фокусного расстояния методом Аббе  
( $\sigma_y = 0.05$  см;  $\sigma_{\Delta x} = 0.1$  см)

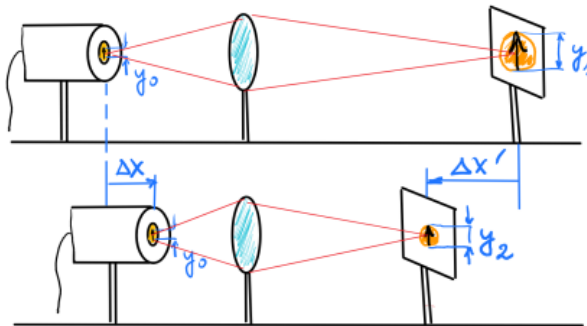


Рис. 3: Схема установки для измерения фокусных расстояний собирающих линз методом Аббе

### IV. Сборка и изучение подзорных труб Кеплера и Галилея

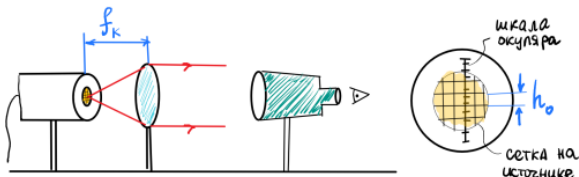
1) Из имеющегося набора линз выбрали три: две линзы для объектива и окуляра (№4.3  $F_3 = 12.2$ см и №4.6  $F_6 = 4.8$ см), а также одну из собирающих линз для использования в качестве коллиматора (№4.4  $F_4 = 18.3$ см).

2) *Настройка коллиматора:*

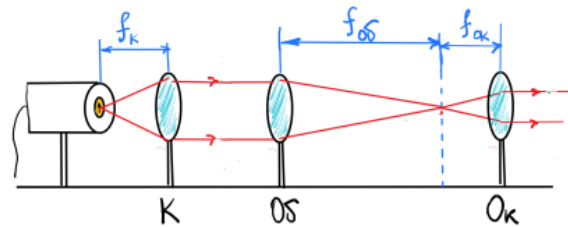
С помощью подзорной трубы установили коллиматорную линзу перед источником так, чтобы транспарант оказался строго в фокусе линзы. Таким образом создали расположенный на бесконечности предмет, который затем рассматривали с помощью модели телескопа.

### 3) Измерение углового размера:

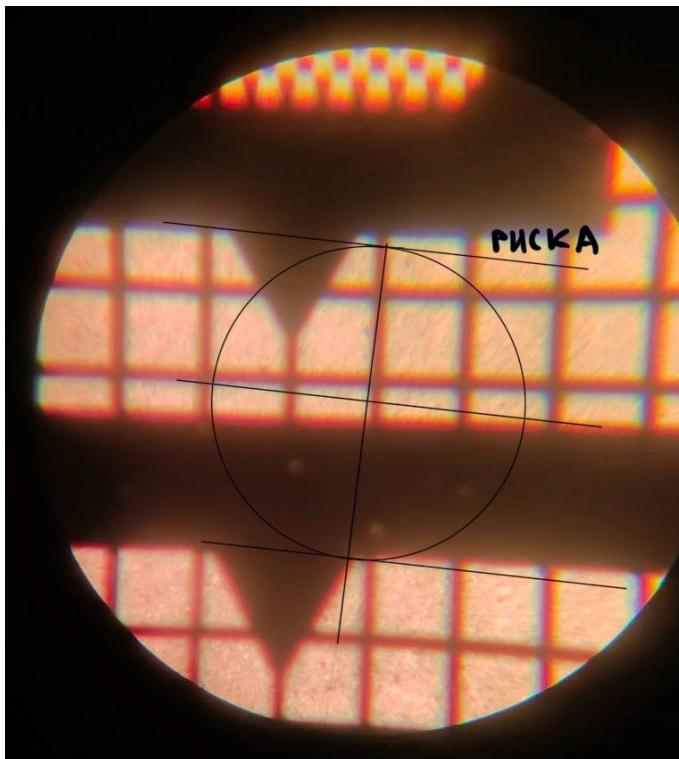
Глядя в окуляр вспомогательной подзорной трубы, оценили, сколько ячеек сетки изображения укладывается в круг радиуса риски. Так же посчитали и для увеличенного изображения.  $a_1^2 \cdot n_1 = a_2^2 \cdot n_2$ , где  $a_1, a_2$  - размеры ячеек,  $n_1, n_2$  - количество, укладываемых квадратов. Отсюда получаем  $\gamma_{\text{экс}} = \frac{a_2}{a_1} = \sqrt{\frac{n_1}{n_2}} = \sqrt{\frac{11}{5}} = 1.5 \pm 0.8$ . Здесь погрешность для  $n$  мы оценили в один квадрат  $\sigma_n = 1$   $\gamma_{\text{теор}} = f_{\text{об}}/f_{\text{ок}} = 2.5 \pm 0.3$ . Погрешность была посчитана с учетом того, что мы могли перепутать стороны линзы.



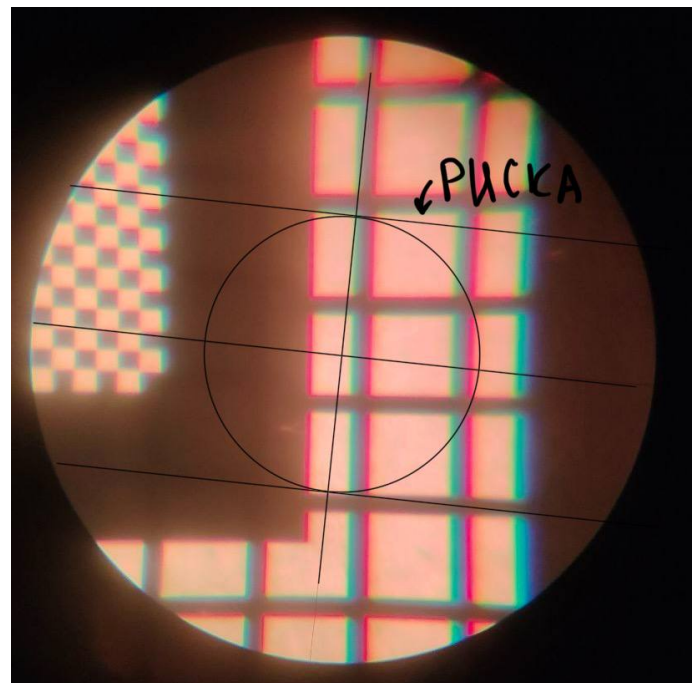
(а) Схема установки для калибровки сетки



(b) Схема телескопа Кеплера



(а) Изображение сетки при калибровке



(b) Увеличенное изображение в телескопе

Рис. 5: Определение углового увеличения телескопа Кеплера

## V. Сборка и изучение модели микроскопа

*Проекционный микроскоп:* Изображение предмета в микроскопе можно сделать действительным и сфокусировать его на экране за окуляром (проекционный микроскоп). Увеличение проекционного микроскопа равно:

$$\gamma_{\text{пр}} = \frac{L - f_{\text{ок}}}{f_{\text{ок}}} \cdot \frac{\Delta}{f_{\text{об}}}, \quad (5)$$

где  $L$  — расстояние от окуляра до экрана.

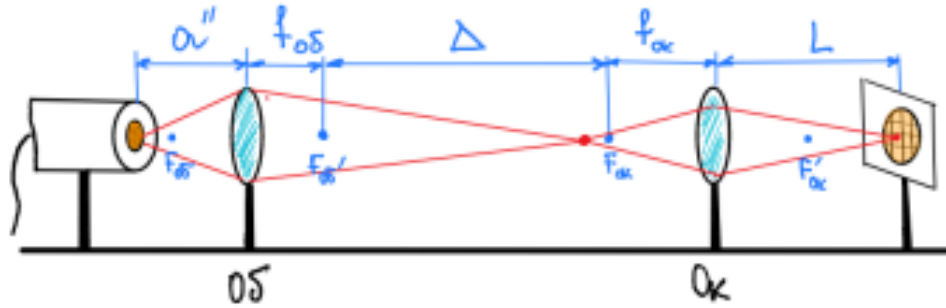


Рис. 6: Схема микроскопа

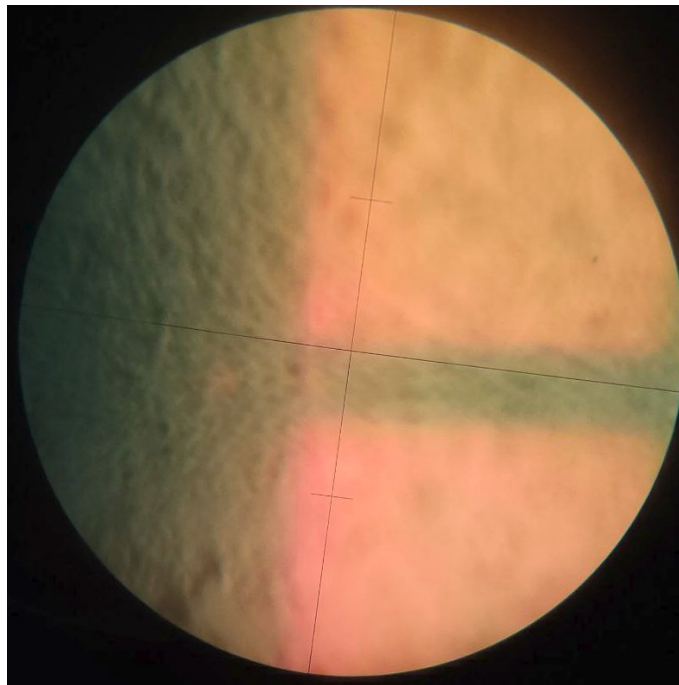


Рис. 7: Оценка увеличения "на глаз"

В качестве объектива и окуляра были выбраны линзы №4.6  $F_6 = 4.2$  см и №4.1  $F_1 = 4.1$  см соответственно.

$$L = 29 \text{ см}; \gamma = 5 \text{ см};$$

$$\Delta x = \gamma \frac{f_{об} \cdot f_{ок}}{L - f_{об}} = 3.45 \text{ см}$$

На глаз увеличение оценить сложно, но должно быть больше 5. Отношение размера изображения на экране к размеру самого изображения  $\alpha = \frac{4}{1.3} = 3.1$

## Выводы

Были посчитаны фокусные расстояния линзы различными способами:

- 1) С помощью подзорной трубы  $f_{4.2} = 10.1 \pm 0.2 \text{ см}$
- 2) По формуле тонкой линзы  $f_{4.2} = 12.4 \pm 0.2 \text{ см}$
- 3) По формуле Бесселя  $f_{4.2} = 12.5 \pm 0.03 \text{ см}$
- 4) Методом Аббе  $f_{4.2} = 9.1 \pm 0.1 \text{ см}$

Видно, что значения колеблются около 10 см. По погрешности самым точным можно назвать метод Бесселя. Так же для всех линз были определены фокусные расстояния (с помощью подзорной турбы) и с обратной стороны, чтобы можно было определить, можно ли считать линзу тонкой. Разброс результатов не превышает 13%, поэтому считаем линзы тонкими.

Так же был собран телескоп Кеплера и определено его угловое увеличение: Экспериментально  $\approx 1.5$  и теоретически  $\approx 2.5$ . Результат совсем не совпадают. Этом можно объяснить тем, что определять увеличение по изображению на телескопе очень неточно и с учетом большой погрешности  $\approx 50\%$  результат даже можно считать близким к теории.

Был собран проекционный микроскоп с увеличением 5. Что опять не сопадает с экспериментом -  $\approx 3$