

Лабораторная работа 4.1.2

Моделирование оптических приборов и определение их увеличения

Гляудялис Гинтарас B02-104

1 марта 2023 г.

Цели 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.

Определение фокусных расстояний линз с помощью зрительной трубы

Знакомство с линзами

Рассмотрим доступные нам линзы и определим, какие из них являются собирающими, а какие — рассеивающими. Для этого посветим параллельным пучком света через линзу и определим, наблюдается ли изображение (тогда линза положительная) и где (это будет фокус линзы). Для положительных также прикинем фокусное расстояние.

Получаем, что линзы 1-3 — собирающие, а 4-5 — рассеивающие.

1. Настроим зрительную трубу на бесконечность
2. Поставим положительную линзу на расстоянии от предмета примерно равном фокусному. На небольшом расстоянии от линзы закрепим трубу, настроенную на бесконечность, и отцентрируем её по высоте. Диафрагма диаметром $d = 1$ см, надетая на ближнюю к осветителю линзу, уменьшит сферические aberrации и повысит чёткость изображения.

Передвигая линзу вдоль скамьи, получим в окуляре зрительной трубы изображение предмета — миллиметровой сетки. При этом расстояние между предметом и серединой тонкой линзы (между проточками на оправе) равно фокусному.

3. Результаты измерения фокусных расстояний собирающих линз:

Определение фокусного расстояния рассеивающих линз

1. Для определения фокусного расстояния тонкой отрицательной линзы сначала получим на экране увеличенное изображение сетки при помощи одной короткофокусной положительной линзы. Измерим расстояние между линзой и экраном: $a_0 = 36.5$ см.

Таблица 1: Фокусные расстояния собирающих линз

Сторона	f_1 , см	f_2 , см	f_3 , см
Передняя	8.3 ± 0.5	10.4 ± 0.5	19.7 ± 0.5
Задняя	8.0 ± 0.5	10.3 ± 0.5	19.8 ± 0.5

- Разместим сразу за экраном трубу, настроенную на бесконечность, и закрепим её. Уберём экран и поставим на его место исследуемую рассеивающую линзу (рис. 8). Перемещая рассеивающую линзу, найдём в окуляре зрительной трубы резкое изображение сетки.

Измерив расстояние между линзами $l = 25.5$ см, рассчитаем фокусное расстояние рассеивающей линзы $f = a_0 - l$.

- Результаты измерения фокусного расстояния рассеивающих линз:

$$|f_5| = (11.0 \pm 0.5) \text{ см}$$

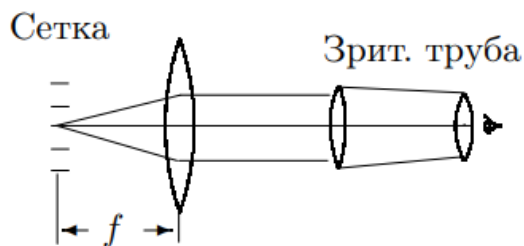


Рис. 1: Определение фокусного расстояния собирающей линзы

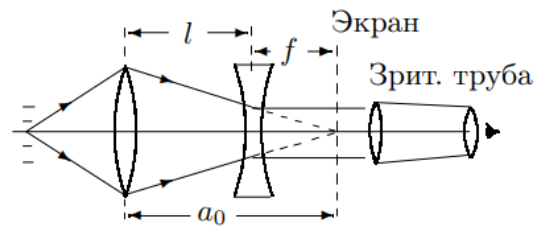


Рис. 2: Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы

Моделирование трубы Кеплера

- Рассмотрим ход лучей в трубе Кеплера и найдём увеличение данной оптической системы:

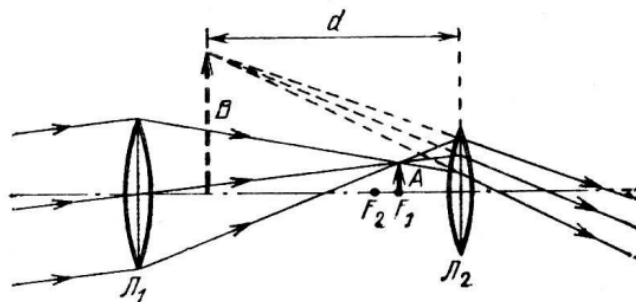


Рис. 3: Ход лучей в трубе Кеплера

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

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

но также из рис. 3 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

2. Построим оптическую систему из каллиматора и непосредственно трубы Кеплера.

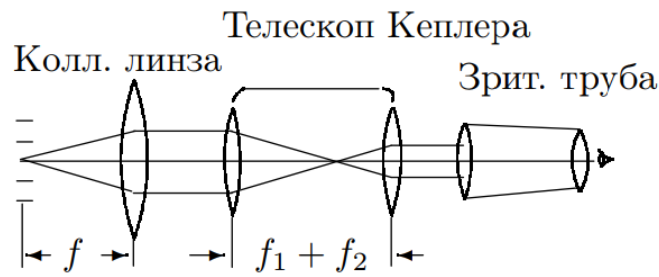


Рис. 4: Схема трубы Кеплера

Параметры действующих линз:

$$f_1 = (8.3 \pm 0.5) \text{ см} \quad f_2 = (10.4 \pm 0.5) \text{ см}$$

Найдём увеличение трубы Кеплера непосредственно: пусть h_1 - размер ячейки миллиметровой сетки без телескопа, h_2 - с телескопом

$$h_1 = (9 \pm 1) \text{ дел.}, \quad h_2 = (11 \pm 1) \text{ дел.}$$

$$\gamma_K = -\frac{h_2}{h_1} = -1.2 \pm 0.2$$

При этом по формуле (2) также

$$\gamma_K = -\frac{f_1}{f_2} = -1.25 \pm 0.14$$

Полученные значения совпадают в пределах погрешности.

Моделирование микроскопа

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

$$\gamma_M = \Gamma_{ob}\Gamma_{oc} = -\frac{\Delta}{f_1} \frac{L}{f_2}, \quad (3)$$

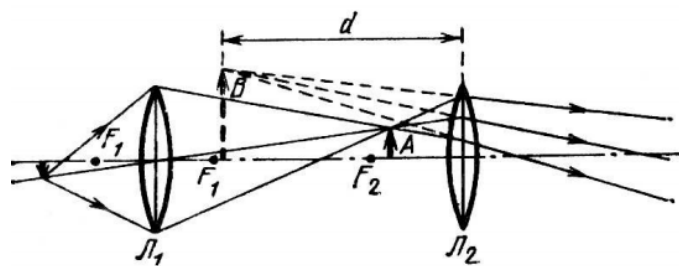


Рис. 5: Ход лучей в микроскопе

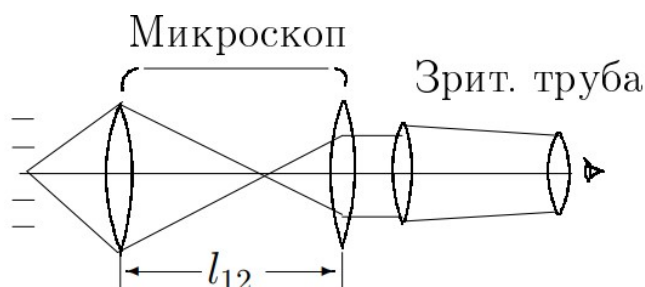


Рис. 6: Схема микроскопа

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).

Соберём микроскоп с пятикратным увеличением. Используемые линзы: $f_1 = 8.3$ см, $f_2 = 10.4$ см. Получим

$$\gamma_M^{\text{теор}} = -\frac{\Delta}{f_1 f_2} L = -5$$

Исходя из этого получим необходимую длину тубуса $l_{12} = 35.96$ см. Проводя измерения угловых размеров миллиметровой сетки для такой конфигурации имеем $h_2 = 35 \pm 1$. Тогда

$$\gamma_M^{\text{эксп}} = -\frac{h_2 L}{h_1 f} = -4.94 \pm 0.3$$

где f - фокусное расстояние линзы-коллиматора из п.2, $f = f_3 = 19.7$ см.

Значения совпадают в пределах погрешности.

Вывод

В ходе выполнения лабораторной работы были получены следующие результаты:

- Сначала при помощи поиска действительного изображения осветительного прибора в линзе было определен их тип. В итоге получилось, что линзы 1-3 – собирающие, а 4-5 – рассеивающие.
- В дальнейшем фокусное расстояние линз было определено при помощи зрительной трубы, настроенной на бесконечность. В итоге получаем следующие результаты:

$$\begin{aligned} f_1 &= (8.1 \pm 0.6) \text{ см} & f_2 &= (10.4 \pm 0.6) \text{ см} & f_3 &= (19.8 \pm 0.6) \text{ см} \\ & & f_5 &= (-11.0 \pm 0.6) \text{ см} & & \end{aligned}$$

- При моделировании оптических приборов было экспериментально измерено их увеличение, а затем сравнено с теоретическими значениями. Так, например, для трубы Кеплера имеем

$$\gamma_K^{\text{угл}} = -\frac{h_2}{h_1} = -1.2 \pm 0.2$$

$$\gamma_K^{\text{теор}} = -\frac{h_2}{h_1} = -1.25 \pm 0.14$$

По результатам измерений можно сделать вывод о их совпадении в пределах погрешности.

- Также в ходе выполнения лабораторной работы была собрана модель микроскопа с планируемым теоретическим увеличением $\gamma_M^{\text{теор}} = 5$. В ходе эксперимента было получено следующее реальное значение увеличения микроскопа:

$$\gamma_M^{\text{эксп}} = -\frac{h_2 L}{h_1 f} = -4.94 \pm 0.3$$

Некоторое расхождение с теорией объясняется неточностью при выставлении приборов на оптической скамье, в особенности их продольных сдвигов.