

*Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования*

**«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

Лабораторная работа №4.1.2

на тему:

**Моделирование оптических приборов и определение их
увеличения**

*Работу выполнили:
Сафин Дим
Сенокосов Арсений
группа Б02-012*

г. Долгопрудный
2021 год

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.

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 1-4 — собирающие, а 5 — рассеивающая.

$$f_1 = 7.5 \text{ см} \quad f_2 = 10 \text{ см} \quad f_3 = 16 \text{ см} \quad f_4 = 30 \text{ см}$$

Определение фокусного расстояния собирающих линз

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 $d = 1 \text{ см}$, 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 оправах) равно фокусному.

3. Результаты измерения фокусных расстояний собирающих линз:

Сторона	$f_1, \text{ см}$	$f_2, \text{ см}$	$f_3, \text{ см}$	$f_4, \text{ см}$
front	7.7 ± 0.5	9.2 ± 0.5	17.3 ± 0.5	32.3 ± 0.5
back	7.8 ± 0.5	10.6 ± 0.5	16.5 ± 0.5	32.2 ± 0.5

Таблица 1: Фокусные расстояния собирающих линз в зависимости от стороны

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: $a_0 = 33.2 \text{ см}$.
2. 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 $l = 25.1 \text{ см}$, рассчитаем фокусное расстояние рассеивающей линзы $f = a_0 - l$.
3. Результаты измерения фокусного расстояния рассеивающих линз:

$$|f_5| = (8.1 \pm 0.5) \text{ см}$$

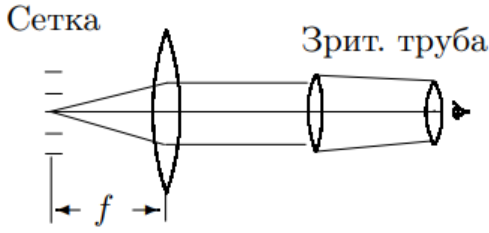


Рис. 1: Определение фокусного расстояния собирающей линзы

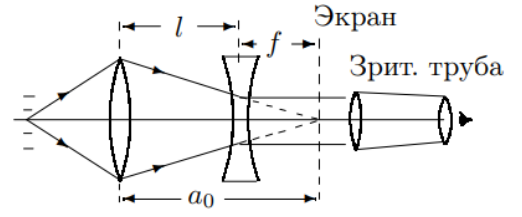


Рис. 2: Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы

Моделирование трубы Кеплера

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

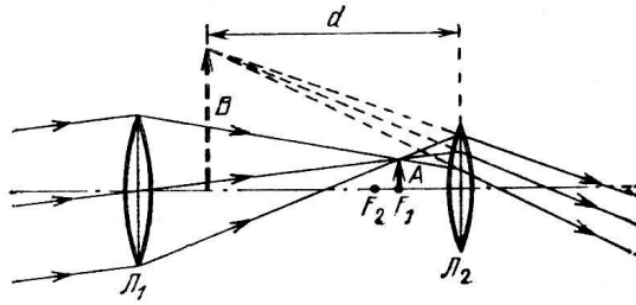


Рис. 3: Ход лучей в трубе Кеплера

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.

Параметры действующих линз:

$$f_2 = (9.2 \pm 0.5) \text{ см} \quad f_4 = (32.2 \pm 0.5) \text{ см}$$

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

$$h_1 = (10 \pm 1) \text{ дел.}, \quad h_2 = (36 \pm 1) \text{ дел.}$$

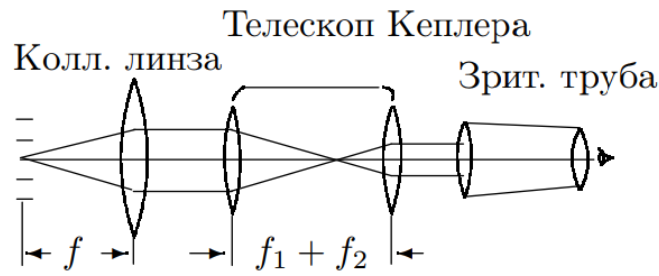


Рис. 4: Схема трубы Кеплера

$$\gamma_K = -\frac{h_2}{h_1} = -3.6 \pm 0.4$$

Также увеличение телескопа можно определить посредством сравнения диаметры оправы его объектива и диаметра изображения этой оправы в окуляре.

$$D_1 = (3.6 \pm 0.2) \text{ см}, \quad D_2 = (12.8 \pm 0.2) \text{ см}$$

$$\gamma_K = -\frac{D_2}{D_1} = -3.5 \pm 0.3$$

При этом по формуле (2) также

$$\gamma_K = -\frac{f_1}{f_2} = -3.5 \pm 0.1$$

Полученные значения совпадают в пределах погрешности.

Моделирование трубы Галилея

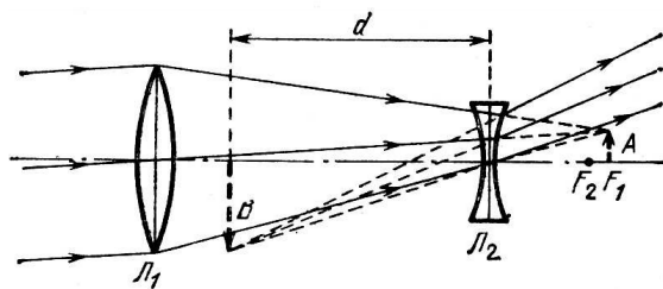


Рис. 5: Ход лучей в трубе Галилея

1. Труба Галилея получается из трубы Кеплера заменой собирающей линзы окуляра рассеивающей. Формулы для увеличения, соответственно, остаются теми же:

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

2. Заменяем собирающую линзу с фокусным расстоянием $f_2 = 9.2$ см рассеивающей с фокусным расстоянием $|f_5| = 8.1$ см. Проведём те же операции, что и для трубы Кеплера:

$$h_1 = (10 \pm 1) \text{ дел.}, \quad h_2 = (41 \pm 1) \text{ дел.}$$

$$\gamma_K = -\frac{h_2}{h_1} = -4.1 \pm 0.4$$

При этом по формуле (2) также

$$\gamma_K = -\frac{f_1}{f_2} = -4.0 \pm 0.2$$

Полученные значения вновь совпадают в пределах погрешности.

Моделирование микроскопа

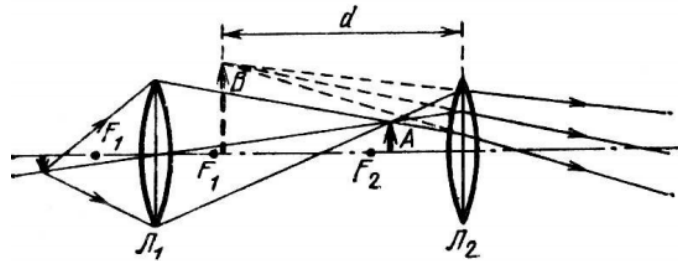


Рис. 6: Ход лучей в микроскопе

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

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

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).

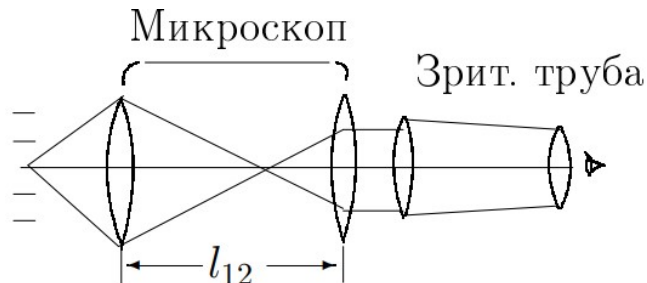


Рис. 7: Схема микроскопа

Соберём микроскоп с пятикратным увеличением. Используемые линзы: $f_1 = 7.7$ см, $f_2 = 9.2$ см. Получим

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

Исходя из этого получим необходимую длину тубуса $l_{12} = 32.5$ см. Проводя измерения угловых размеров миллиметровой сетки для такой конфигурации имеем $h_2 = 36 \pm 1$. Тогда

$$\gamma_M^{\text{эксп}} = -\frac{h_2 L}{h_1 f} = -5.18 \pm 0.15$$

где f – фокусное расстояние линзы-коллиматора из п.2, $f = f_3 = 17.3$ 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 1-4 – собирающие, а 5 – рассеивающая. Также «на глаз» было оценено их фокусное расстояние.

$$f_1 = 7.5 \text{ см} \quad f_2 = 10 \text{ см} \quad f_3 = 16 \text{ см} \quad f_4 = 30 \text{ см}$$

- В дальнейшем фокусное расстояние линз было определено точно при помощи зрительной трубы, настроенной на бесконечность. В итоге получаем следующие результаты:

$$\begin{aligned} f_1 &= (7.8 \pm 0.6) \text{ см} & f_2 &= (9.9 \pm 0.6) \text{ см} & f_3 &= (16.9 \pm 0.6) \text{ см} \\ f_4 &= (32.3 \pm 0.6) \text{ см} & f_5 &= (-8.1 \pm 0.6) \text{ см} \end{aligned}$$

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

$$\gamma_K^{\text{угл}} = -\frac{h_2}{h_1} = -3.6 \pm 0.4$$

$$\gamma_K^{\text{диам}} = -\frac{h_2}{h_1} = -3.5 \pm 0.3$$

$$\gamma_K^{\text{теор}} = -\frac{h_2}{h_1} = -3.5 \pm 0.1$$

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

- Такие же измерения проведены и для модели трубы Галилея. В итоге получены следующие результаты.

$$\gamma_K^{\text{угл}} = -\frac{h_2}{h_1} = -4.1 \pm 0.4$$

$$\gamma_K^{\text{теор}} = -\frac{h_2}{h_1} = -4.0 \pm 0.2$$

- 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:

$$\gamma_M^{\text{эксп}} = -\frac{h_2 L}{h_1 f} = -5.18 \pm 0.15$$

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