

Лабораторная работа 4.1.1

Изучение центрированных оптических систем

Лабораторная работа 4.1.2

Моделирование оптических приборов и определение их  
увеличения

Гарина Ольга Б04-901

1 апреля 2021 г.

**Цель работы 1:** изучить методы определения фокусных расстояний линз и сложных оптических систем; определить характеристики оптической системы, составленной из тонких линз.

**Цель работы 2:** изучить модели зрительных труб (астрономической трубы Кеплера и земной трубы Галилея) и микроскопа, определить их увеличения.

**В работе используются :** оптическая скамья с набором рейтеров, положительные и отрицательные линзы, экран, осветитель с ирисовой диафрагмой, зрительная труба, светофильтры, кольцевые диафрагмы, линейка.

## 1 Определение фокусных расстояний линз с помощью зрительной трубы

Фокусное расстояние тонкой собирающей линзы можно определить с помощью зрительной трубы, настроенной на бесконечность, то есть на параллельный пучок лучей. Разместив между предметом и зрительной трубой положительную линзу и перемещая её вдоль оси системы, можно найти резкое изображение предмета в окуляре зрительной трубы. При этом расстояние от середины линзы до предмета равно фокусному расстоянию тонкой линзы. Для толстой линзы зрительная труба позволяет определить только положение главного фокуса.

Для линз 1-4 были получены следующие значения

$$\begin{aligned}f_1 &= 9 \pm 0.5 \text{ см} \\f_2 &= 11.5 \pm 0.5 \text{ см} \\f_3 &= 19 \pm 0.5 \text{ см} \\f_4 &= 32 \pm 0.5 \text{ см}\end{aligned}$$

Линза 5 оказалась рассеивающей.

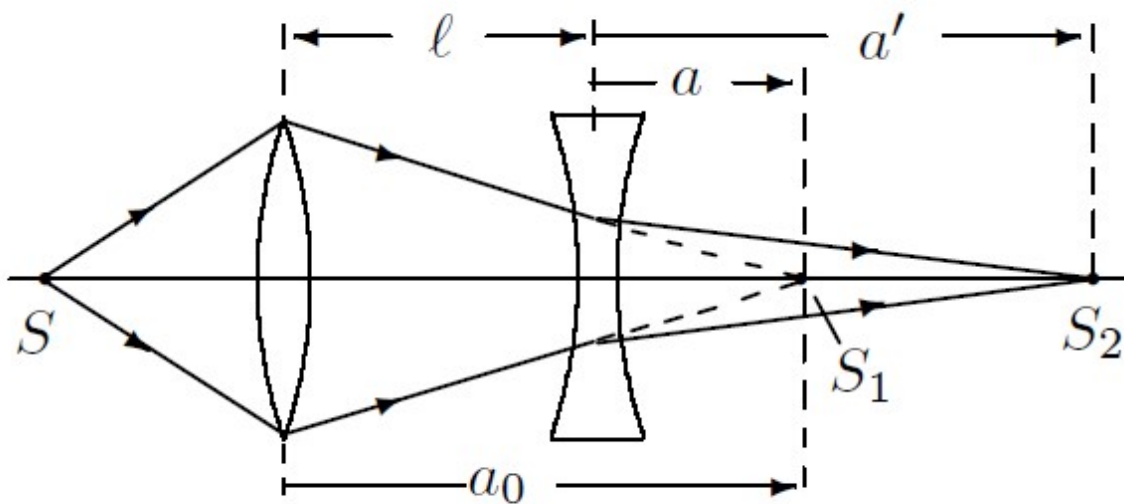


Рисунок 1 – Схема установки для измерения фокусного расстояния рассеивающей линзы

Если расстояние  $a$  на рис. 1 совпадает с модулем фокусного расстояния рассеивающей линзы, то изображение  $S_2$  перемещается в бесконечность, то есть лучи выходят из линзы параллельным пучком. Параллельность пучка можно установить с помощью зрительной трубы, настроенной на бесконечность. Зная расстояние от первой линзы до точки  $S_1$  и расстояние между линзами,

нетрудно определить фокусное расстояние тонкой рассеивающей линзы. Для толстой отрицательной линзы этот метод позволяет определить только положение главного фокуса.

$$-\frac{1}{l} + \frac{1}{a_0} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

$$a_0 = 27.5 \pm 0.5 \text{ см}$$

$$l = 76.5 \pm 0.5 \text{ см}$$

$$f_5 = -42,9 \pm -0.8 \text{ см}$$

## 2 Телескоп Кеплера

**Экспериментальная установка.** Набор линз, осветитель, экран, зрительная труба, необходимые для моделирования оптических приборов, устанавливаются при помощи рейтеров на оптической скамье. Предметом служит миллиметровая сетка, нанесённая на матовое стекло осветителя.

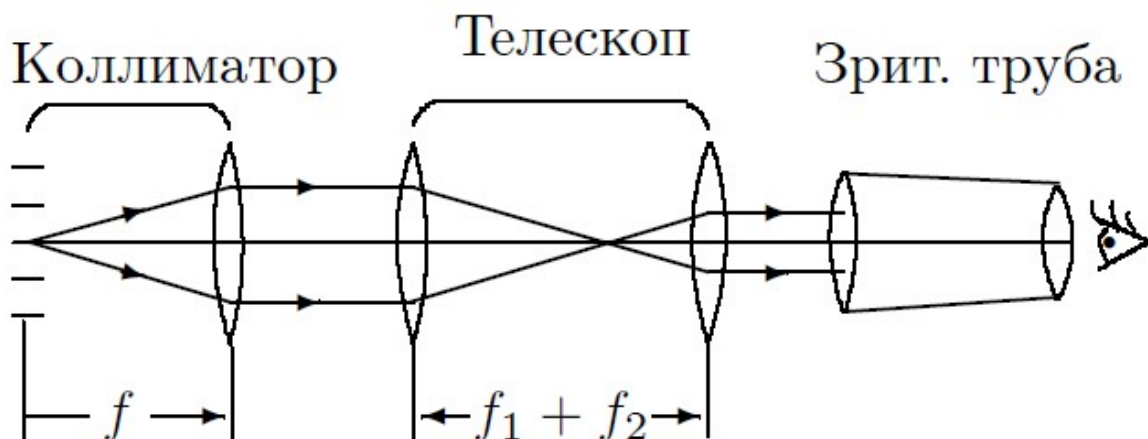


Рисунок 2 – Определение увеличения телескопа Кеплера

Для проведения эксперимента были отобраны линзы под номерами 2, 3, 4. Линза 2 – окуляр, линза 3 – коллиматор, линза 4 – объектив.

Размер одной клеточки сетки осветителя без увеличения равен 9 делениям окулярной шкалы.

Расстояние между объективом и окуляром равно

$$d = 42,5 \pm 0.5 \text{ см.}$$

Это расстояние должно быть равно сумме фокусных расстояний линз 2 и 4

$$f_2 + f_4 = 43.5 \pm 1.3 \text{ см,}$$

что незначительно отличается от измеренного.

Далее требуется тремя способами определить увеличение телескопа

Первый способ – через фокусные расстояния

$$N = \frac{f_4}{f_2} = 2.78 \pm 0.09.$$

Второй способ – через увеличение клеточки сетки осветителя. После сборки системы одна клеточка сетки оказалась равна 24 делениям окулярной шкалы зрительной трубы.

$$N = \frac{h_2}{h_1} = 2.7 \pm 0.3.$$

Третий способ – с помощью размеров объектива и изображения. Измеренный диаметр объектива составил 3,4 см, изображения – 1,1 см.

$$N = \frac{D_o}{D_i} = 3.09 \pm 0.29$$

Результаты по всем трем методам отличаются в пределах погрешностей.

$$\bar{N} = 2.85 \pm 0.18$$

### 3 Метод Бесселя

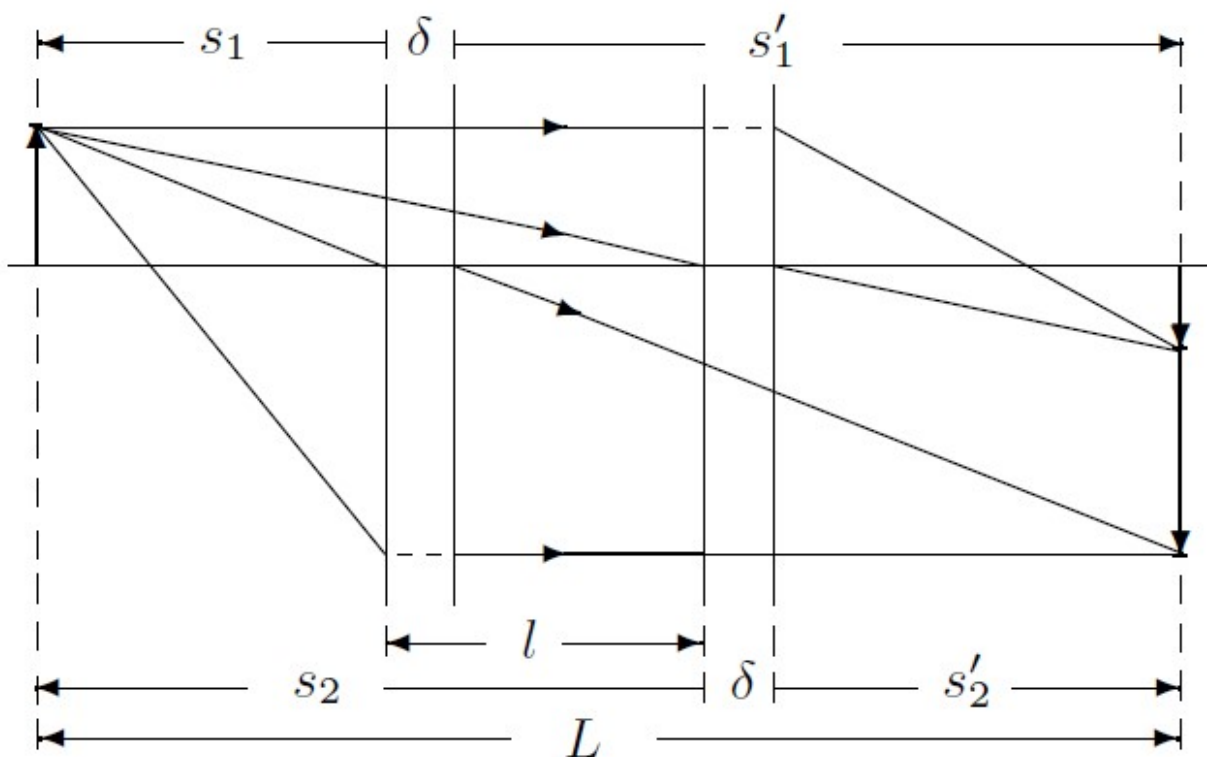


Рисунок 3 – Измерение фокусного расстояния оптической системы по методу Бесселя

Схема метода Бесселя для случая, когда  $n = n$  и  $f = f$ , представлена на рис. 3. Она основана на том, что при заданном расстоянии  $L$  между предметом и экраном ( $s < 0$ ):

$$-\frac{1}{s} + \frac{1}{L - \delta + s} = \frac{1}{f}.$$

Учитывая малость  $\delta$  формула примет вид

$$f = \frac{L^2 - l^2}{4L}. \quad (2)$$

$$f_2 = 9.92 \pm 0.02 \text{ см}$$

$$f_3 = 19.81 \pm 0.02 \text{ см}$$

#### 4 Проверка формулы линзы

Если считать толщину линзы пренебрежимо малой ( $\delta \rightarrow 0$ ) формула линзы имеет вид

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{L-s} = \frac{1}{f} \quad (3)$$

По этой формуле для каждой полученной точки (все точки можно найти в приложенной таблице) было рассчитано значение фокуса. Среднее значение для линзы 2

$$f = 10.5 \pm 0.8 \text{ см}$$

хорошо согласуется в пределах погрешностей с тем, что было получено в п.1.

Далее было предложено преобразовать формулу (3) к виду

$$y(s, L) = fL + a. \quad (4)$$

Полученный вид формулы – формула (5)

$$sL - s^2 = fL. \quad (5)$$

По этой зависимости для каждой второй точки построен график (рис. 4), а коэффициент наклона этого графика равен фокусному расстоянию линзы 2.

$$f = 11.1 \pm 0.6 \text{ см},$$

что тоже в пределах погрешностей согласуется с результатами в предыдущих пунктах.

#### 5 Определение фокусного расстояния и оптического интервала по методу Бесселя

Формула Бесселя имеет вид

$$l^2 = L'(L' - 4f), \quad (6)$$

где  $l = s_2 - s_1$  - смещение линзы,  $L' = L - \delta$ . Преобразованием (6) получается

$$L^2 - l^2 = (4f + 2\delta)L - 4\delta f - \delta^2. \quad (7)$$

Требуется построить график с осями  $y = L^2 - l^2$ ,  $x = L$  и найти  $f$  и  $\delta$  по параметрам полученной прямой.

$$f = 13 \pm 5 \text{ см}$$

$$\delta = -8 \pm 3 \text{ см}.$$

Аномальные результаты эксперимента требует более тщательного анализа и повторения эксперимента.

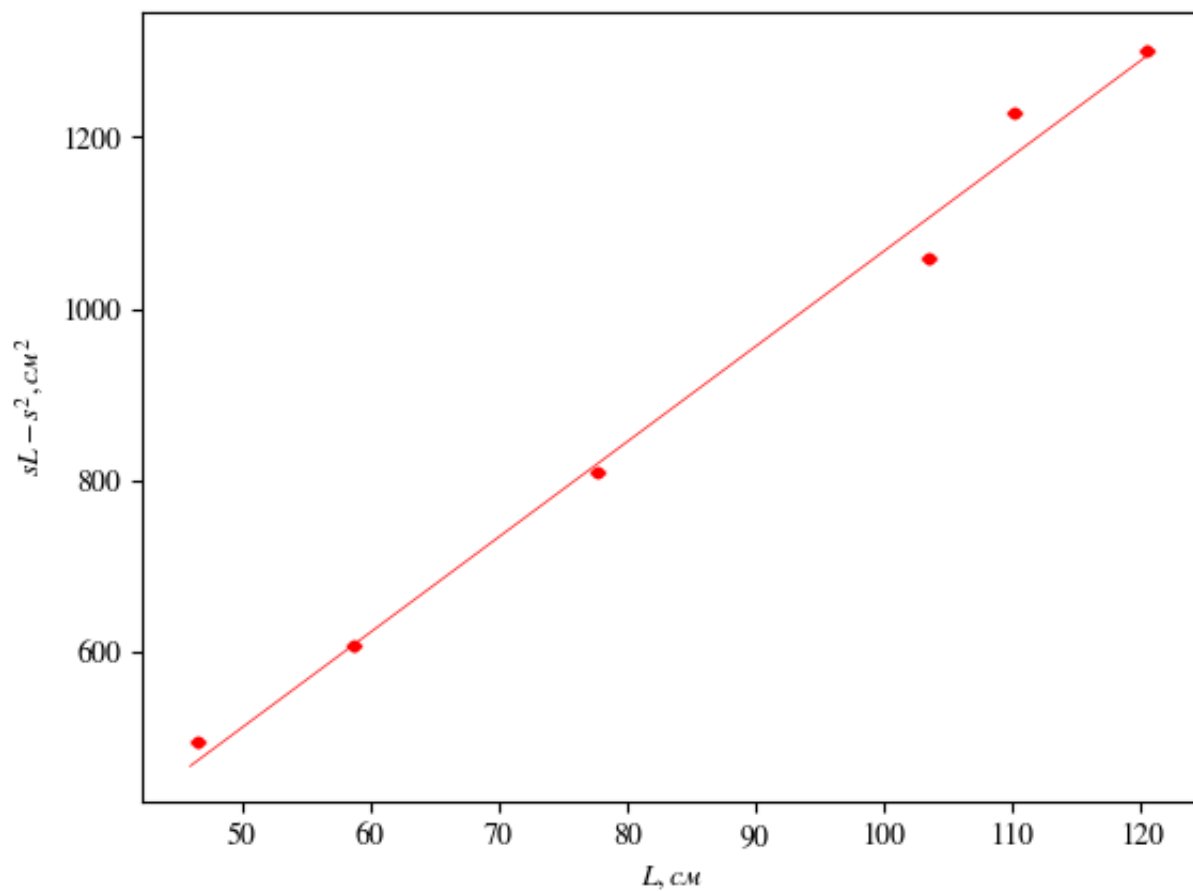


Рисунок 4 – График зависимости (5)

## 6 Вывод

В ходе лабораторной работы удалось

- Измерить фокусы всех 5 линз
- Собрать телескоп Кеплера и определить тремя способами его увеличение
- Определить фокусы линз 2 и 3 по методу Бесселя
- Проверить формулу линзы и убедиться в том, что она верная для данного эксперимента
- Определить фокусное расстояние и оптический интервал по методу Бесселя с большими погрешностями

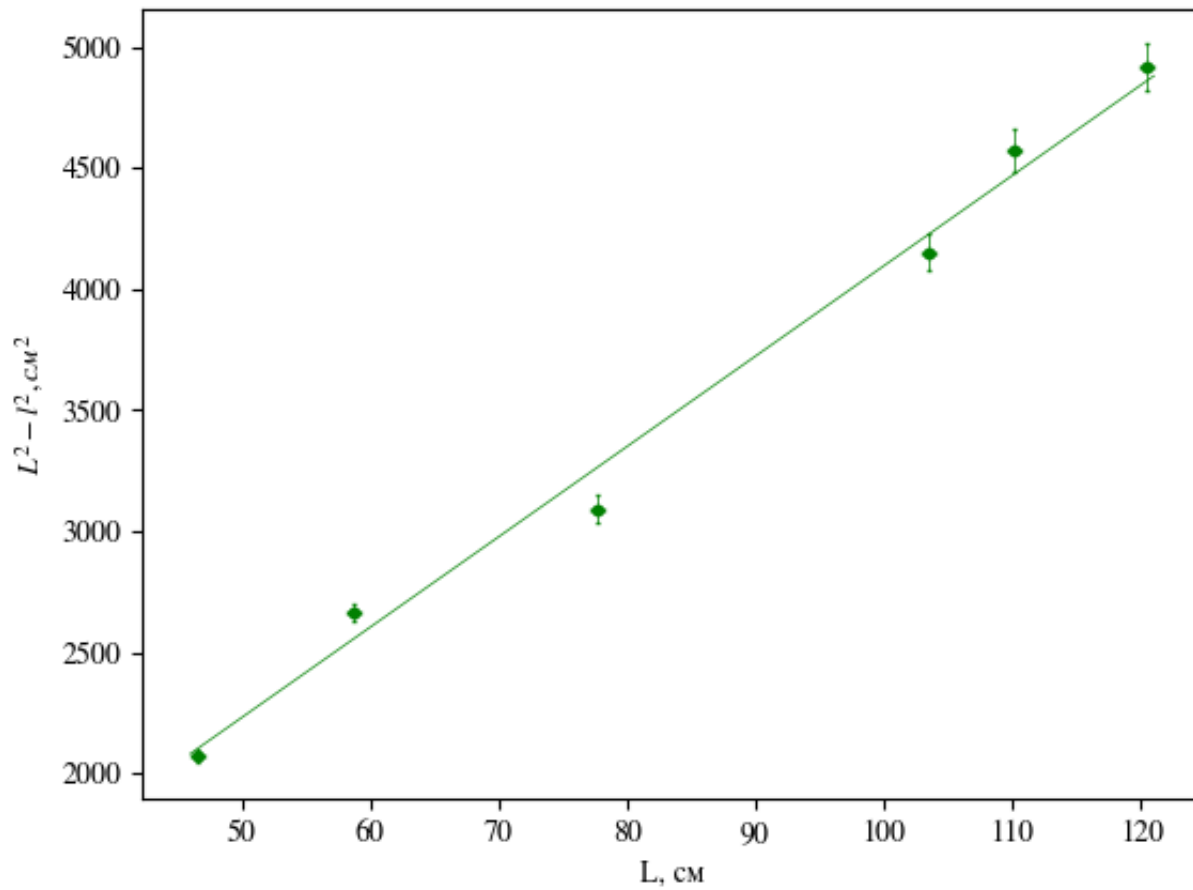


Рисунок 5 – График зависимости (7)

## 7 Литература

1. Лабораторный практикум по общей физике: учеб. пособие. В трёх томах. Т. 2. Оптика / А.В. Максимычев, Д.А. Александров, Н.С. Берюлёва и др.; под ред. А.В. Максимычева. – М.: МФТИ, 2014. – 446 с.