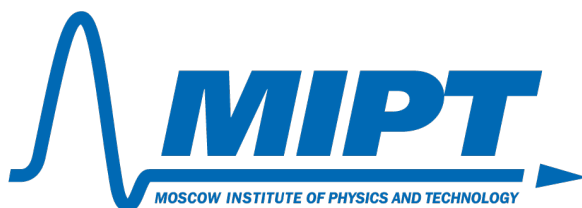


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
ФАКУЛЬТЕТ ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ



Лабораторная работа № 4.2.1

Моделирование оптических приборов и определение их  
увеличения

Баранов Даниил  
Группа Б02-103

Долгопрудный, 2023 г.

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

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

**Центрирование линз.** При юстировке любых оптических приборов важно правильно центрировать входящие в систему линзы. Проходя через плохо отцентрированную систему линз, лучи света отклоняются в сторону и могут вообще не доходить до глаза наблюдателя. Центрировать линзы следует как по высоте, так и в поперечном направлении (для чего линзы крепятся на поперечных салазках). Подробно с правилами центрировки Вы познакомитесь при выполнении задания.

**Юстировка коллиматора.** При составлении моделей телескопических систем необходимо иметь удалённый объект. В качестве такого объекта обычно используется бесконечно удалённое изображение предмета (шкалы осветителя), установленного в фокальной плоскости положительной линзы. Лучи, выходящие из одной точки предмета, пройдя через линзу, образуют параллельный пучок. Устройство такого рода называется коллиматором.

Для юстировки коллиматора удобно использовать вспомогательную зрительную трубу, предварительно настроенную на бесконечность. Передвигая линзу коллиматора вдоль скамьи, добиваются появления резкого изображения предмета в окуляре зрительной трубы.

**Измерение фокусных расстояний линз.** Для того, чтобы сознательно моделировать оптические инструменты, нужно знать фокусные расстояния линз, которые могут быть использованы в качестве объектива или окуляра модели. Фокусные расстояния тонких положительных линз проще всего найти с помощью вспомогательной зрительной трубы, установленной на бесконечность. Работа выполняется так же, как при юстировке коллиматора.

При определении фокусного расстояния отрицательной линзы предметом служит изображение шкалы, которое даёт вспомогательная положительная линза.

## 1 Ход работы

### 1.1 Определение фокусных расстояний тонких линз с помощью зрительной трубы

1. Из имеющегося набора линз отберём собирающие и рассеивающие: с помощью собирающих удаётся получить изображение удалённого объекта, с помощью рассеивающих нет. Получилось 4 собирающих и 1 рассеивающая.
2. Соберём и отцентрируем установку.
3. Настроим зрительную трубу на бесконечность: наведём трубу на удалённый объект и настроим на резкое видение окулярной шкалы.
4. Поставим собирающую 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. При этом расстояние между предметом и

серединой тонкой линзы (между проточками на оправках) равно её фокусному расстоянию. Пункту соответствует **рисунок 1**.

5. Для определения фокусного расстояния тонкой рассеивающей линзы сначала получим на экране увеличенное изображение сетки при помощи одной короткофокусной собирающей линзы. Измерим расстояние  $a_0 = 30 \pm 0,1$  см между линзой и экраном. Разместите сразу за экраном трубу, настроенную на бесконечность, и закрепите её. Уберём экран и поставим на его место исследуемую рассеивающую линзу. Перемещая рассеивающую линзу, найдём в окуляре зрительной трубы резкое изображение сетки. Измерив расстояние между линзами, рассчитайте фокусное расстояние рассеивающей линзы  $f = l - a_0$ . Пункту соответствует **рисунок 2**.

6. Результаты измерений пунктов 4 и 5 представлены в **таблице 1**.

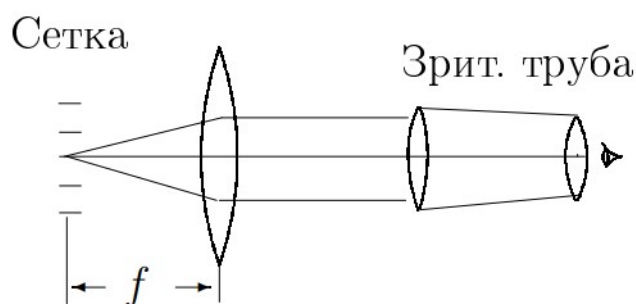


Рис. 1: Определение фокусного расстояния собирающей линзы

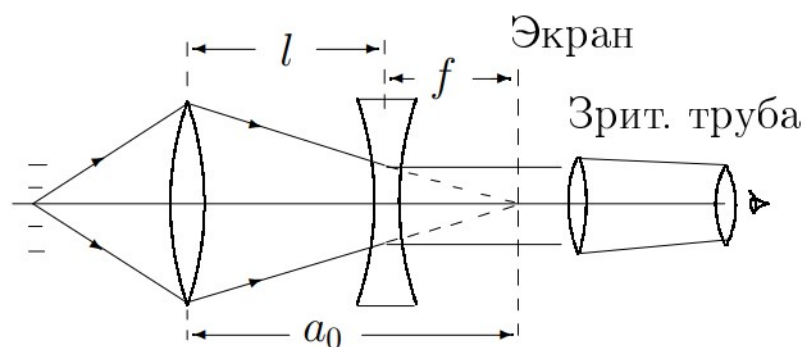


Рис. 2: Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы

Фокусные расстояния			
Собирающие линзы		Рассеивающие линзы	
$f_1$ , см	$8,0 \pm 0,5$	$f_5$ , см	$-8,0 \pm 0,5$
$f_2$ , см	$10,0 \pm 0,5$		
$f_3$ , см	$18,7 \pm 0,5$		
$f_4$ , см	$28,1 \pm 0,5$		

Таблица 1: Результаты измерения фокусных расстояний линз

## 1.2 Телескоп Кеплера

1. Из имеющегося набора отберём две собирающие линзы с фокусными расстояниями  $f_1 = 28,1 \pm 0,5$  см и  $f_2 = 8,0 \pm 0,5$  см. В качестве коллиматора используем линзы с фокусным расстоянием  $18,7 \pm 0,5$  см. Настроим коллиматор с помощью зрительной трубы и наденем на него диафрагму.
2. Определим размер изображения  $h_1 = 9 \pm 0,5$  одного миллиметра шкалы осветителя в делениях окулярной шкалы зрительной трубы.
3. Соберём модель телескопа: линзу с максимальным фокусным расстоянием — объектив телескопа — расположим почти вплотную к линзе коллиматора, окуляр — на расстоянии, примерно равном сумме фокусных расстояний обеих линз трубы. Пункту соответствует **рисунок 3**.
4. Слегка перемещая окуляр телескопа вдоль оптической скамьи, получим изображение сетки в объективе вспомогательной трубы. Измерим расстояние между объективом и окуляром телескопа и сравним его с суммой фокусных расстояний. Получилось  $s = 36,5$  см, что в пределах погрешности совпадает с суммой фокусных расстояний.
5. Рассчитаем увеличение исследуемой модели телескопа по формуле

$$N_T = -\frac{f_1}{f_2} = -3,5 \pm 0,2 \quad (1)$$

6. Найдём размер  $h_2 = 33 \pm 0,5$  изображения миллиметрового деления шкалы осветителя в делениях окулярной шкалы при наблюдении **по схеме рисунка 3**. Рассчитаем искомое увеличение по формуле

$$N_T = -\frac{h_2}{h_1} = -3,7 \pm 0,2 \quad (2)$$

7. Измерим диаметр  $D_1 = 34 \pm 1$  мм оправы объектива и диаметр  $D_2 = 9 \pm 1$  изображения этой оправы в окуляре. Для этого отодвинем вспомогательную трубу и расположим экран за окуляром телескопа. Снимем диафрагму с коллиматора. Отодвигая экран от окуляра, получим чёткое изображение оправы объектива.
8. Рассчитаем увеличение по формуле

$$N_T = -\frac{D_1}{D_2} = 3,8 \pm 0,4 \quad (3)$$

9. Погрешность результата - увеличения телескопа - в этом пункте получилась довольно большой, однако три способа расчёта сошлись в пределах погрешности.

## 1.3 Труба Галилея

1. Не трогая коллиматора и объектива, вместо собирающей окулярной линзы телескопа поставим рассеивающую ( $f_2 = -8 \pm 0,5$  см) на расстоянии от объектива, равном разности фокусов объектива и окуляра. Далее всё выполняется так же, как и в предыдущем пункте, теперь  $h_2 = 32 \pm 0,5$

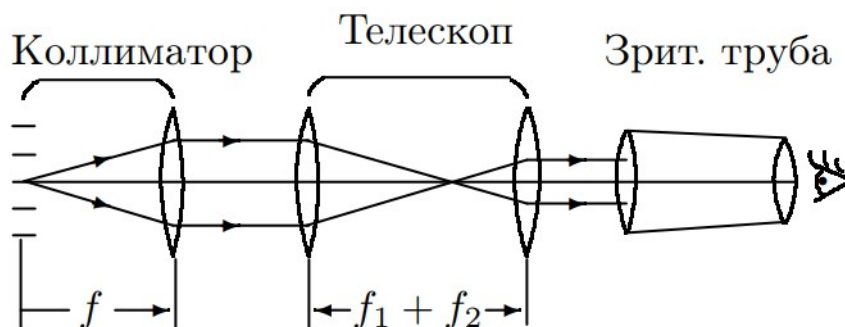


Рис. 3: Определение увеличения телескопа Кеплера

2. Рассчитаем увеличение телескопа Галилея разными способами.

$$N_T = -\frac{f_1}{f_2} = 3,5 \pm 0,2 \quad (4)$$

$$N_T = \frac{h_3}{h_1} = 3,7 \pm 0,2 \quad (5)$$

3. Результаты разных способов вновь сошлись в пределах погрешности.

## 1.4 Модель микроскопа

1. Для создания модели микроскопа с увеличением  $N_M = 5$  отберём самые короткофокусные собирающие линзы из набора:  $f_1 = 8 \pm 0,5$  см,  $f_2 = 10 \pm 0,5$  см. Рассчитаем необходимые оптический интервал  $\Delta$  и длину тубуса  $l_{12}$  по формулам ( $L = 25$  см - расстояние наилучшего зрения нормального глаза)

$$\Delta = \frac{N_M f_1 f_2}{L} = 16,0 \pm 1,3 \text{ см} \quad (6)$$

$$l_{12} = \Delta + f_1 + f_2 = 34,0 \pm 1,5 \text{ см} \quad (7)$$

2. Расположим объектив и окуляр на соответствующем расстоянии  $l_{12}$  друг от друга. Сфокусируем модель микроскопа на сетку осветителя (глядя невооруженным глазом в окуляр микроскопа, перемещаем осветитель вдоль оптической скамьи до тех пор, пока в окуляре микроскопа не появится отчётливое увеличенное изображение сетки). Пункту соответствует **рисунок 4**.
3. Расположим за окуляром модели микроскопа зрительную трубу, настроенную на бесконечность. Слегка перемещая осветитель, получим в поле зрения трубы изображение миллиметровой шкалы осветителя. Наденем на объектив микроскопа диафрагму диаметром 1 см и уменьшим яркость осветителя.
4. Для экспериментального определения увеличения микроскопа измерим величину изображения  $h_2 = 330,5$  миллиметрового деления предметной шкалы в делениях окулярной шкалы зрительной трубы. Используя результат аналогичных измерений с коллиматорной линзой, фокус  $f = 18,7 \pm 0,5$  см которой известен, рассчитаем увеличение микроскопа по формуле

$$N_M = \frac{h_2 L}{h_1 f} = 4,9 \pm 0,3 \quad (8)$$

Результат сошёлся с теоретическим значением, равным 5.

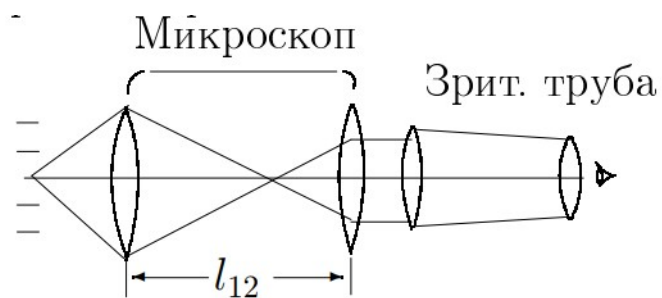


Рис. 4: Модель микроскопа

## 2 Вывод

В данной работе было проведено центрирование линз, были определены фокусные расстояния линз, а также смоделированы телескопы Кеплера и Галилея, а также микроскоп. Помимо этого, были рассчитаны увеличения моделей данных приборов (несколькими способами; значения, полученные различными способами оказались равны в пределах погрешности).