

## Лабораторная работа № 2

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЛЕСКОПА

*Приборы и принадлежности:* оптическая скамья, набор рейтеров, шкала, держатели для линз, экран, линза-коллиматор, длиннофокусная собирающая линза (объектив), две короткофокусные (собирающая и рассеивающая) линзы (окуляр), зрительная труба.

Телескопы (зрительные трубы) служат для наблюдения сильно удаленных объектов. При рассмотрении некоторого предмета невооруженным глазом размер его изображения на сетчатке глаза  $y'$  определяется углом зрения  $\varphi$  (рис. 1).

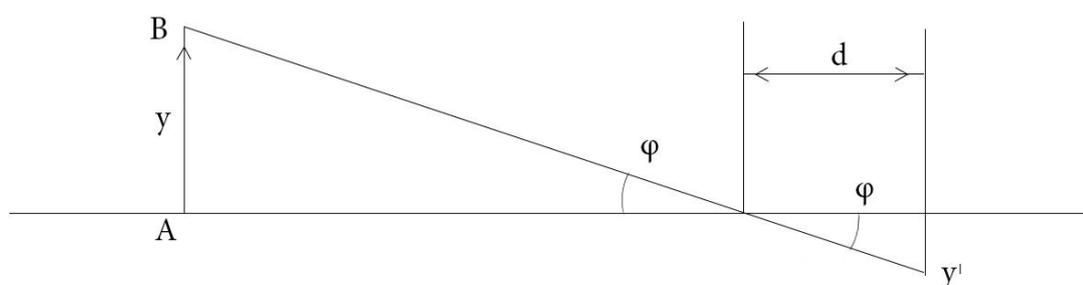


Рис. 1.  $\varphi$  – угол зрения при наблюдении предмета.

$\alpha$  – глубина глаза, которая в среднем составляет 15 мм. Использование телескопа позволяет увеличить угол зрения, причем, отношение тангенсов угла зрения с использованием телескопа ( $\varphi'$ ) и без него ( $\varphi$ ) определяет видимое увеличение телескопа:

$$\Gamma = \frac{tg \varphi'}{tg \varphi} (1)$$

Телескоп состоит из двух основных элементов: длиннофокусного объектива (в простейшем случае – собирающая линза), с помощью которого получают действительное перевернутое изображение предмета, и короткофокусного окуляра, дающего увеличенное мнимое изображение.

В качестве окуляра используют либо собирающую линзу (система Кеплера), либо рассеивающую (система Галилея). При наблюдении предмета, удаленного на большое расстояние от каждой его точки в телескоп приходит почти параллельный пучок лучей, поэтому изображение, построенное объективом, оказывается расположенным практически в его задней фокальной плоскости. В наиболее удобном для наблюдения расслабленном состоянии глаз настроен на бесконечно далекую точку (при этом регистрируются параллельные лучи), поэтому окуляр телескопа располагают таким образом, чтобы его передняя фокальная плоскость совпала с задней фокальной плоскостью объектива (рис. 2).

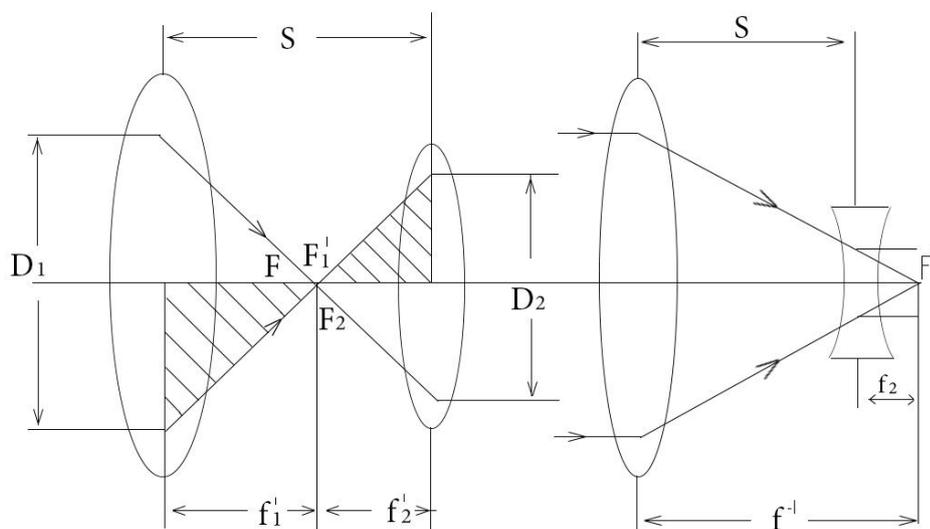


Рис. 2. Ход лучей в телескопе Кеплера (а) и Галилея (б)

Таким образом, при падении на телескопическую систему пучка параллельных лучей выходящий пучок также будет параллельным. Одной из основных характеристик телескопа является его видимое увеличение  $\Gamma$  (1). Получим выражение для  $\Gamma$  в случае трубы Кеплера. С этой целью рассмотрим удаленный объект, видимый невооруженным глазом под углом  $\varphi$  (рис. 3).

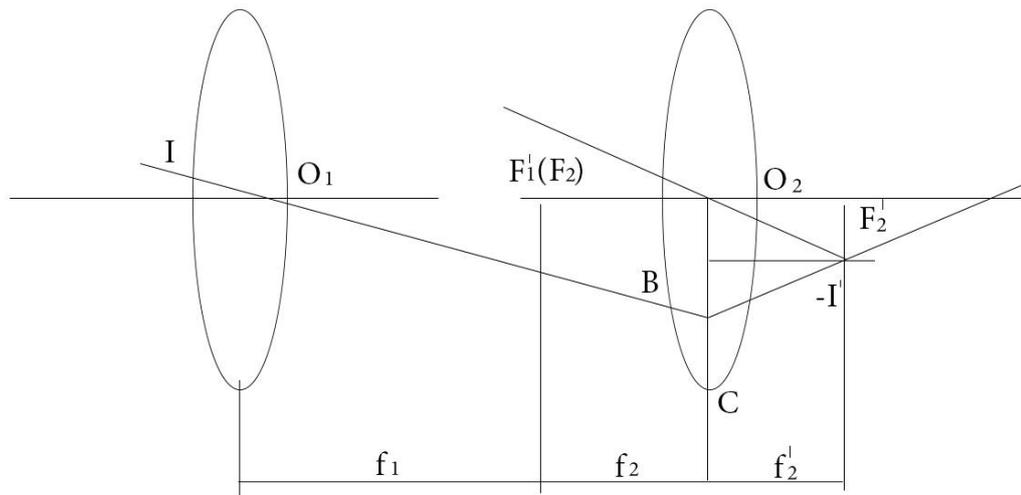


Рис. 3. Ход луча в телескопе, настроенном на бесконечность

$\Gamma$  – угол зрения для невооруженного глаза;

$\Gamma'$  – угол зрения при использовании телескопа.

Для построения выберем луч, который идет от крайней точки предмета и попадает в оптический центр объектива. Этот луч проходит объектив, не отклоняясь, а после преломления в окуляре пройдет через точку пересечения побочной оптической оси  $O_2A$  с задней фокальной плоскостью окуляра  $F'_2$ . Угол между выходящим лучом и оптической осью  $\varphi'$  определяет видимый в телескоп размер предмета. Необходимый для вычисления  $\Gamma$  тангенс этого угла найдем из треугольника  $ABC$ :

$$\operatorname{tg}(-\varphi') = \frac{|BC|}{|AB|} = \frac{|BC|}{f'_2} \quad (2)$$

Учтем теперь, что  $|BC| = |O_2C| - |O_2B| = |O_2C| - |F'_2A|$ . Длины отрезков  $O_2C$  и  $F'_2A$  определим из треугольников  $O_1O_2C$  и  $AF'_2O_2$ :

$$|O_2C| = (f'_1 + f_2) \cdot \operatorname{tg}\varphi = (f'_1 + f'_2) \cdot \operatorname{tg}\varphi \quad (\text{учли, что } f'_2 = -f_2).$$

$$|F'_2A| = f'_2 \cdot \operatorname{tg}\varphi, \text{ откуда } |BC| = (f'_1 + f_2) \cdot \operatorname{tg}\varphi - f'_2 \cdot \operatorname{tg}\varphi = f'_1 \cdot \operatorname{tg}\varphi.$$

После подстановки выражения для  $|BC|$  в формулу (2) найдем  $\operatorname{tg}(-\varphi') = \frac{f'_1}{f'_2} \cdot \operatorname{tg}\varphi$ , что с учетом определения (1) дает:

$$\Gamma = \frac{\operatorname{tg}\varphi'}{\operatorname{tg}\varphi} = -\frac{\operatorname{tg}(-\varphi')}{\operatorname{tg}\varphi} = -\frac{f_1'}{f_2'} \quad (3)$$

Знак минус показывает, что телескоп дает перевернутое изображение предметов. Из подобия заштрихованных на рис. 2-а треугольников следует,

что  $\frac{f_1'}{f_2'} = \frac{D_1/2}{D_2/2} = \frac{D_1}{D_2}$ , где  $D_1$  и  $D_2$  – диаметры входного и выходного пучков соответственно. Соотношение (3) при этом сводится к виду:

$$\Gamma = -\frac{D_1}{D_2} \quad (4)$$

### Измерения и обработка результатов

Целью настоящей работы является изучение принципа действия и устройства телескопа, моделирование телескопических систем Кеплера и Галилея, определение их увеличения, фокусных расстояний объектива и окуляра, полной длины телескопа.

#### Описание установки

В качестве предмета в настоящей работе используется шкала с ценой деления 0,1 мм (в дальнейшем будем называть ее калибровочной шкалой). Для имитации бесконечно удаленного предмета калибровочная шкала помещается в фокальной плоскости собирающей линзы, которую будем называть коллиматором. При этом от каждой точки предмета (калибровочной шкалы) в объектив телескопа приходит пучок параллельных лучей (рис. 4;  $f_k$  – фокусное расстояние линзы-коллиматора). Моделирование телескопа производится с помощью длиннофокусной линзы (объектива) и одной из двух короткофокусных линз (собирающей или рассеивающей), выполняющей роль окуляров. Для установки предмета в фокусе коллиматора и настройки модели телескопа на бесконечность используется зрительная труба.

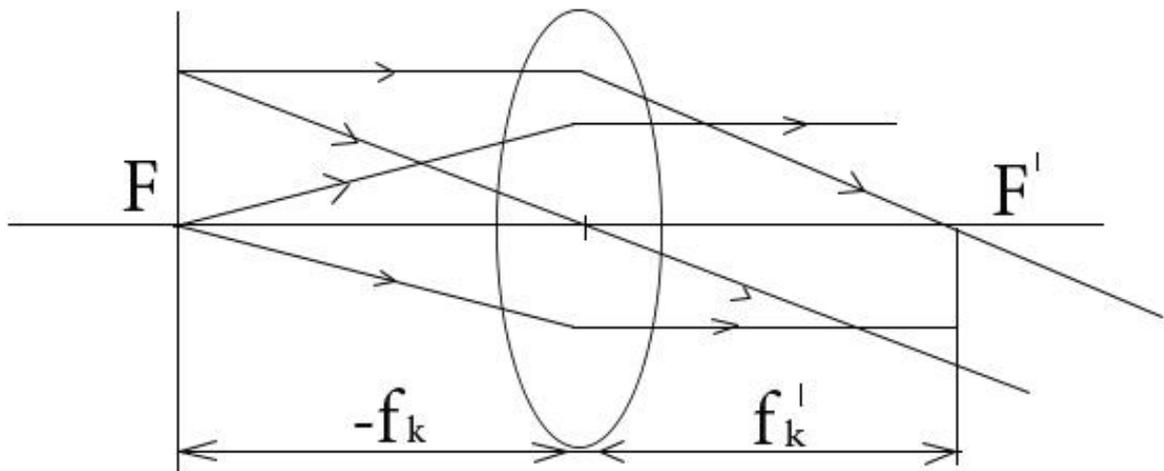


Рис. 4. Принцип действия коллиматора

*Задание 1.* Моделирование телескопической системы, определение фокусных расстояний объектива и окуляра.

**Внимание!** Зрительная труба настроена на бесконечность, самостоятельно менять ее настройку запрещено.

1. Установите в рейтерах на оптической скамье шкалу 1, линзу коллиматор 2 и зрительную трубу 3 в соответствии с рис. 5. Включите осветитель и ручкой на блоке питания установите необходимую яркость свечения. Добейтесь соосности всех элементов.

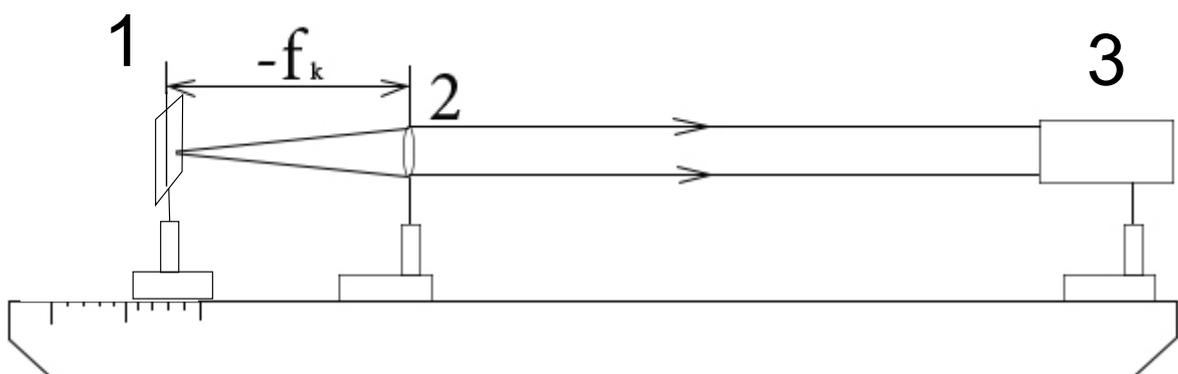


Рис. 5. Схема расположения элементов на оптической скамье при установке шкалы осветителя 1 в фокусе линзы-коллиматора 2 (3 – зрительная труба)

Перемещая линзу-коллиматор вдоль оптической скамьи, получите резкое изображение калибровочной шкалы в зрительной трубе (это означает, что шкала расположена в фокальной плоскости коллиматора). В дальнейшем

положение осветителя и коллиматора при выполнении всей работы должно оставаться неизменным.

2. Установите на оптической скамье линзу-объектив 4 и экран 5 (рис. 6). Перемещая экран вдоль оптической скамьи получите на нем резкое изображение калибровочной шкалы. По шкале на оптической скамье измерьте расстояние от объектива до экрана (фокусное расстояние  $f_1'$ ; см. рис. 6).

Смещая экран и вновь восстанавливая его положение, соответствующее резкому изображению калибровочной шкалы, повторите измерения не менее 3 раз, определите среднее значение  $f_1'$ . Результаты измерений занесите в таблицу.

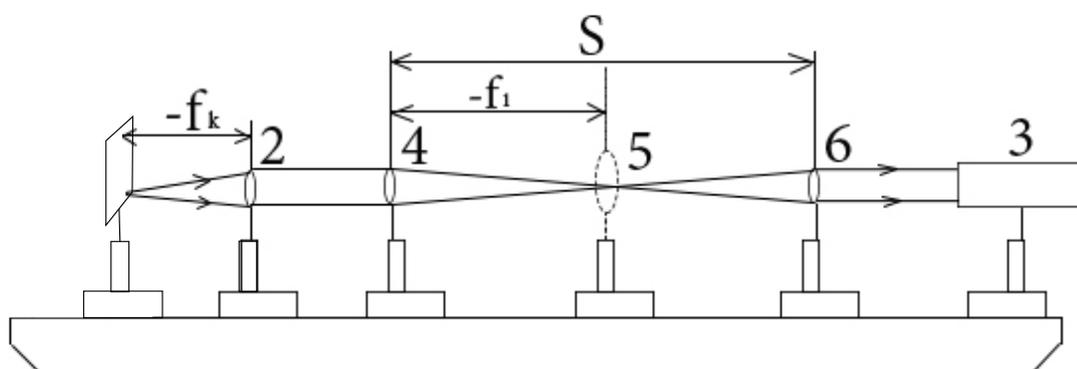


Рис. 6. Моделирование телескопа Э (линза 4 – объектив; линза 6 – окуляр телескопа)

3. Снимите экран с оптической скамьи и установите вместо него модель телескопа. Перемещая окуляр вдоль оптической скамьи, добейтесь резкого изображения калибровочной шкалы в зрительной трубе (предварительную настройку модели телескопа можно провести рассматривая изображение шкалы непосредственно в окуляре). Измерьте полную длину телескопа  $S$  как расстояние от объектива до окуляра (рис 6). Повторите измерения не менее трех раз, смещая окуляр и вновь находя его положение, соответствующее резкому изображению калибровочной шкалы. Определите среднее значение  $\bar{S}$ . Из соотношения  $f_2' = -f_2 = S - f_1'$  ис. 2-а и б) определите фокусное расстояние окуляра (для средних значений  $\bar{S}$  и  $\bar{f}_1'$ ). Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.

*Задание 2. Определение увеличения телескопа.*

1. Не меняя положения рейтеров на оптической скамье, удалите из держателей линзы объектива 4 и окуляра 6 (рис. 6), при этом в зрительной трубе должно наблюдаться резкое изображение калибровочной шкалы. Вращая окуляр зрительной трубы, установите ее окулярную шкалу вдоль калибровочной шкалы. Измерьте по окулярной шкале зрительной трубы длину отрезка, соответствующего десяти делениям калибровочной шкалы. Полученный результат ( $h$ ) соответствует видимому размеру предмета, наблюдаемому без помощи телескопа. Установите на место линзы окуляра и объектива. В зрительную трубу при этом можно наблюдать увеличенное изображение калибровочной шкалы. Чтобы найти увеличенный размер предмета ( $h'$ ), повторите измерение длины отрезка, соответствующего десяти делениям калибровочной шкалы, с помощью окулярной шкалы зрительной трубы. Результаты измерений  $h$  и  $h'$  занесите в таблицу.

2. Рассчитайте экспериментальные значения увеличения по формуле:

$$|\Gamma_{\text{э}}| = \frac{h'}{h}$$

3. Вычислите теоритическую величину увеличения с помощью соотношения  $|\Gamma_{\text{т}}| = \frac{\bar{f}_1}{\bar{f}_2}$  ( $\bar{f}_1$  и  $\bar{f}_2$  – среднее значение фокусных расстояний объектива и окуляра, определенные в задании 1).

Рассчитайте относительное отклонение экспериментального значения  $\Gamma$  от теоретического:

$$\delta = \frac{|\Gamma_{\text{э}}| - |\Gamma_{\text{т}}|}{|\Gamma_{\text{т}}|} * 100\%$$

Результаты всех вычислений занесите в таблицу.

4. Повторите задание 1 (пункт 3) и задание 2 (пункты 1-3) для окуляра № 2 (рассеивающая линза), что соответствует телескопической системе Галилея. Фокусное расстояние окуляра при этом определяется соотношением  $f_2 = -f'_2 = f'_1 - S$  (рис. 2-б), а теоретическое значение увеличения рассчитывается по формуле  $|\Gamma_{\text{т}}| = \Gamma_{\text{т}} = -\frac{f'_1}{f'_2}$  (заметим, что в данном случае  $f'_2 < O_4$  и  $\Gamma_{\text{т}} > 0$ ).

Таблица

		№ изм.	$f_1'$	$\bar{f}_1$	S	$\bar{S}$	$\bar{f}_2'$	h	h'	$\Gamma_0$	$\Gamma_T$
			см	см	см	см	см	дел. окул.			
Система Кеплера	Окул. № 2	1									
		2									
		3									
Система Галилея	Окул. № 1	1									
		2									
		3									

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение видимого увеличения телескопа.
2. Опишите устройство телескопа и принцип его действия.
3. Постройте ход лучей в телескопах Кеплера и Галилея.
4. Получите формулу углового увеличения для телескопа Кеплера и Галилея.
5. Объясните назначение коллиматора.

### Литература

Савельев И. В. Курс общей физики. М., Наука, 1971, т. 3.