

Работа 4 - 5

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКОЙ ТРУБЫ

Цель работы: Изучить устройство и ход лучей в оптической трубе, выяснить возможность этого прибора для практического использования, освоить метод определения увеличения изображений предметов, экспериментально определить это увеличение, а так же поле зрения оптической трубы, оценить ошибки измерений.

Оборудование: Зрительная труба, линейки с делениями, рулетка.

Теория

Оптическая (зрительная) труба и микроскоп относятся к приборам, расширяющим возможности глаза человека. В общем случае, рассматривая различные приборы, вооружающие глаз, следует всегда помнить, что в каждом случае эти приборы и глаз образуют единую оптическую систему, существенным элементом которой является хрусталик глаза. Вся эта система в целом дает изображение предмета на сетчатке глаза и кажущаяся величина предмета оценивается по величине этого изображения.

Зрительная труба представляет собой оптическую систему, предназначенную для наблюдения удаленных предметов. *Если лучи от предмета приходят в трубу в виде параллельных пучков, то оптическая система трубы называется телескопической.*

Простейшая телескопическая система состоит из двух элементов: обращенного к объекту наблюдения и называемого *объективом* и обращенного к глазу наблюдателя и именуемого *окуляром*.

Если в качестве окуляра применена положительная оптическая система (собирающая линза), то такая оптическая система называется системой Кеплера. Она дает обратное изображение, поэтому для земных наблюдений в окуляр вставляют дополнительную призму, обращающую изображение. Системы данного типа используют в зрительных трубах, геодезических и астрономических инструментах.

Если в качестве окуляра применена отрицательная оптическая система (рассеивающая линза), то такая система называется системой Га-

лилея. Она применяется в тех случаях, когда не требуется большого увеличения, например, в театральных биноклях.

Прежде чем приступить к изучению оптической схемы зрительной трубы, необходимо тщательно изучить теорию работы 4-1.

На рис. 1 представлена оптическая схема зрительной трубы Кеплера. Она состоит из объектива O_1 с большим фокусным расстоянием и

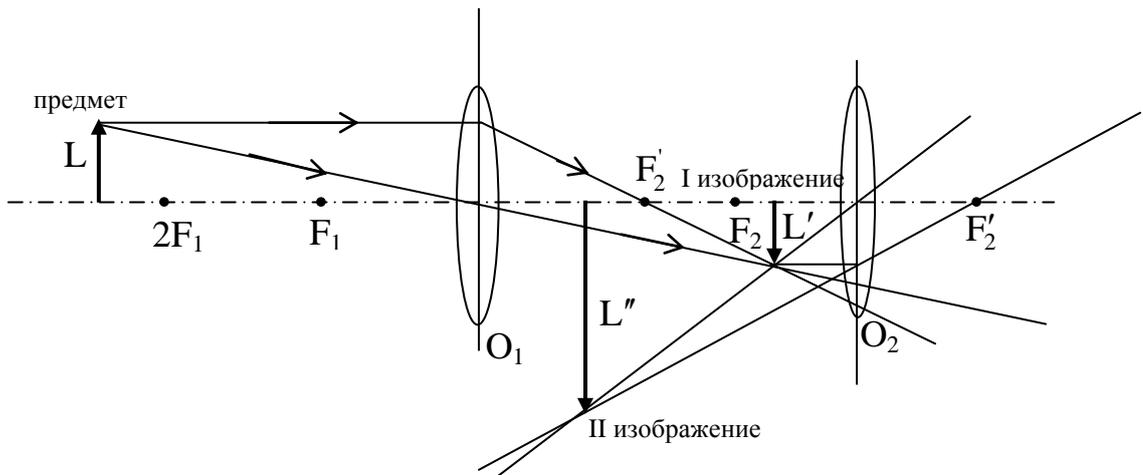


Рис.1. Оптическая схема зрительной трубы.

окуляра O_2 – системы с небольшим фокусным расстоянием. Очень часто второй главный фокус F_1' объектива совпадает с первым главным фокусом F_2 окуляра, благодаря чему падающий в объектив параллельный пучок выходит из окуляра также параллельным пучком (рис. 2).

Как показано на рис. 1, объектив O_1 образует обратное действительное

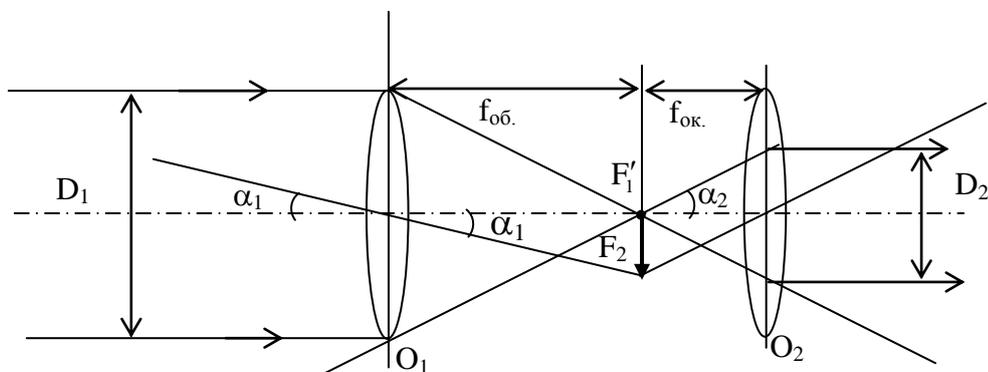


Рис. 2. Оптическая схема зрительной трубы с совмещенным фокусом.

уменьшенное изображение L' , бесконечно удаленного предмета L . Окуляр O_2 устанавливается так, что изображение L' (I изображение) располагается между фокусом F_2 окуляра и самим окуляром. Поэтому второе изображение предмета L'' (II изображение) является заметно увеличенным и мнимым.

Фокусировка прибора, т.е. установка его на ясное видение изображения, производится изменением расстояния между объективом и окуляром.

Главными оптическими характеристиками телескопической системы являются: видимое увеличение, разрешающая способность, поле зрения.

Рассмотрим эти характеристики.

1. Видимое увеличение определяется через угол зрения. *Углом зрения называется угол, под которым виден предмет (или его изображение), расположенный перпендикулярно к оптической оси.*

Видимым увеличением оптического прибора Γ называется отношение тангенсов угла зрения при наблюдении предмета через прибор к тангенсу угла зрения при наблюдении того же предмета невооруженным глазом, т.е.

$$\Gamma = \frac{\operatorname{tg}\alpha_2}{\operatorname{tg}\alpha_1} \quad (1)$$

Величина изображения, образованного объективом L' , согласно рис. 2,

$$L' = f'_{об} \operatorname{tg}\alpha_1, \quad (2)$$

а со стороны окуляра

$$L' = f_{ок} \operatorname{tg}\alpha_2 \quad (3)$$

(ф. (2) и (3) приводятся без учета правила знаков).

Отсюда

$$\frac{\operatorname{tg}\alpha_2}{\operatorname{tg}\alpha_1} = \frac{f'_{об}}{f_{ок}}. \quad (4)$$

Учитывая, что $f'_{об} = f_{об}$, окончательно

$$\Gamma = \frac{f_{об}}{f_{ок}}. \quad (5)$$

Это соотношение показывает, во сколько раз увеличиваются размеры изображения по сравнению с размерами предмета при наблюдении через трубу.

Ширина параллельного пучка лучей, входящих в объектив определяется диаметром D_1 его оправы, точнее диаметром его входного зрачка обычно равным диаметру объектива. Ширина пучка, выходящего из окуляра, определяется диаметром D_2 выходного зрачка системы. Из подобия треугольников, имеющих общую вершину (рис. 2), установим, что

$$\Gamma = \frac{D_1}{D_2} \quad (6)$$

Видимое увеличение телескопической системы определяется также и отношением диаметра входного зрачка к диаметру выходного зрачка.

Согласно ф.(5), для наблюдения весьма удаленных предметов необходимо готовить объективы с очень большим фокусным расстоянием. У современных телескопов оно достигает десятка метров. Фокусное расстояние окуляра $f_{ок}$ берется порядка 1 см.

2. Второй основной характеристикой телескопической системы является разрешающая способность и предел разрешения.

Разрешающей способностью называется способность оптической системы изображать отдельно две точки. Пределом разрешения называется предельно малый угол $\varphi_{пр}$, под которым видны отдельно две точки. Он определяется явлением дифракции света на оправе объектива. Вследствие дифракции света лучи, идущие от бесконечно удаленного объекта в фокальной плоскости дают центральное пятно с предельным угловым радиусом

$$\varphi_{пр.} \approx \sin \varphi_{пр.} = \frac{1,22\lambda}{D} \quad (7)$$

Величина обратная предельному углу называется разрешающей способностью

$$R = \frac{1}{\varphi_{пр}} = \frac{D}{1,22\lambda} \quad (8)$$

Чем больше диаметр объектива телескопической системы, тем больше разрешающая способность, тем больше её научная ценность. Современные оптические телескопы имеют $D \cong 6м$. Для $\lambda = 500нм$ (зеленная область видимого света) $R = 10^7$ и $\varphi_{пр} = 10^{-7}рад = 0,02''$. По-

вышение углового увеличения прибора при данной разрешающей способности не приводит к обнаружению новых деталей.

3. *Поле зрения называется та часть пространства предметов, которая видна или изображается с помощью данной системы.*

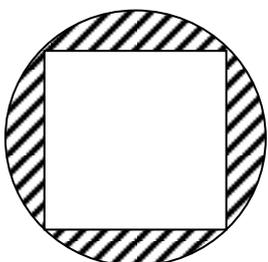


Рис. 3. Круг полевого изображения

Поле зрения принято характеризовать в угловой мере, если наблюдается значительное удаление предмета, и в линейной мере, если наблюдаются близко расположенные предметы. Для телескопических систем поле зрения характеризуется в угловой мере. Поле зрения ограничивается полевой диафрагмой. В приборах, работающих совместно с глазом человека, она обычно имеет форму круга (рис. 3).

Созданное таким образом поле изображения называется полезным. Вне установленного поля зрения оптическая система образует изображение, практически непригодное для использования: качество изображения значительно понижено как по резкости, так и по световой интенсивности.

Упражнение 1

Определение увеличения зрительной трубы

Пусть L -линейные размеры предмета, находящегося от глаза наблюдателя A на расстоянии d , L_1 - изображение предмета, видимое

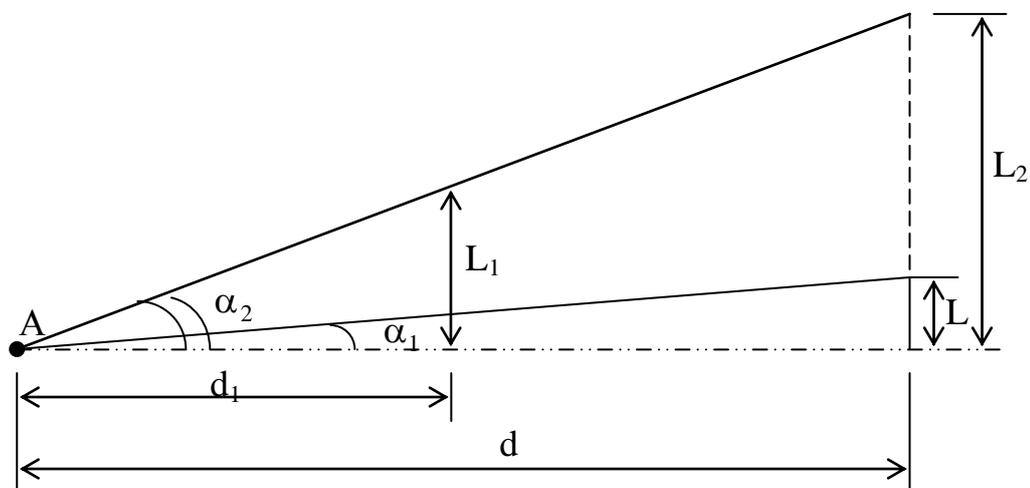


Рис. 4

в трубу и находящееся на расстоянии d_1 от A , α_1 и α_2 - соответствующие углы зрения, как это показано на рисунке 4. Согласно определению увеличения Γ (1):

$$\Gamma = \frac{\operatorname{tg}\alpha_2}{\operatorname{tg}\alpha_1} = \frac{L_1/d_1}{L/d} = \frac{L_1 d}{L d_1} \quad (9)$$

Спроектируем изображение L на плоскость, в которой лежит предмет, при помощи центральной проекции с центром в точке A , т.е. так, чтобы все точки изображения переместились вдоль лучей, соединяющих их с глазом наблюдателя. Спроектированное таким образом изображение займет положение L_2 . Угол зрения, под которым видна эта проекция, есть α_2 , а расстояние до нее от глаза d . Поэтому увеличение будет равно

$$\Gamma = \frac{\operatorname{tg}\alpha_2}{\operatorname{tg}\alpha_1} = \frac{L_2}{d} : \frac{L}{d} = \frac{L_2}{L} \quad (10)$$

Если предмет представляет собой шкалу с делениями, то, спроектировав N делений ее изображения на ту же шкалу, где размещается n делений самой шкалы, можно записать: $nL = NL_2$, откуда увеличение

$$\Gamma = \frac{n}{N} \quad (11)$$

Экспериментальное определение величины Γ проводится следующим образом. Изменением расстояния между окуляром и объективом добиваются четкого изображения линейки, установленной на 5 - 8 м от трубы. Смотрят одним глазом на изображение этой линейки через трубу, а другим непосредственно на линейку. Устанавливают глаза так, чтобы изображение в трубе налагалось на линейку, видимую невооруженным глазом и подсчитывают число целых делений шкалы линейки n , совпадающих с N целыми делениями ее изображения. Результаты заносят в таблицу 1. Нарушают, а затем снова восстанавливают резкость изображения шкалы и проводят новые измерения n и N . Эту процедуру повторяют 10 раз. По полученным данным по ф. (11) определяется увеличение Γ_i для каждого измерения и среднее значение увеличения $\Gamma_{\text{ср}}$.

Таблица 1.

№ п/п	n	N	Γ_i	$\Gamma_{\text{ср}}$	$\Gamma_{\text{ср}} - \Gamma_i$	$(\Gamma_{\text{ср}} - \Gamma_i)^2$	$\Delta\Gamma$	ε
1								
2								
3								
.....								
10								

Ошибка измерений определяется из формулы:

$$\Delta'\Gamma = \sqrt{\frac{\Sigma(\Gamma_{\text{ср}} - \Gamma_i)^2}{n(n-1)}} \quad (12)$$

Полученное значение для доверительной вероятности 0,95 и в соответствии с 10 измерениями должно быть умножено на коэффициент Стьюдента 2,23. В результате ошибка будет равна:

$$\Delta\Gamma = 2,23\Delta'\Gamma.$$

Значение увеличения трубы должно быть записано в виде:

$$\Gamma = \Gamma_{\text{ср}} \pm \Delta\Gamma.$$

Относительная ошибка измерений определяется из формулы:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\Gamma}{\Gamma_{\text{ср}}} \cdot 100\%. \quad (13)$$

Упражнение 2

Определение поля зрения оптической трубы

Для определения поля зрения необходимо сфокусировать трубу на большую линейку с делениями, установленную у стены и определить сколько делений этой линейки видимы в трубу. Затем измерить рулеткой (с метровой линейкой) расстояние от объектива трубы до линейки.

Если число делений линейки, видимых в трубу, равно n , а расстояние от трубы до линейки равно L , то поле зрения оптической трубы, выраженное в градусах, определяется по формуле:

$$a = 57,3 \frac{n}{L} \quad (14)$$

Измерения проводят 5 раз. Для этого нарушают фокусировку трубы, а затем наводят ее на резкость и определяют новое значение числа делений линейки n . Измеренные величины записывают в таблицу 2.

Относительная ошибка измерений a определяется по стандартным формулам, как указано в упражнении 1. Результаты заносят в таблицу 2.

Полученное значение для доверительной вероятности 0,95 и в соответствии с 5 измерениями должно быть умножено на коэффициент Стьюдента 2,57.

Таблица 2.

№ п/п	n_i	L	a_i	a_{cp}	$a_{cp} - a_i$	$(a_{cp} - a_i)^2$	Δa	ε
1								
2								
·								
·								
·								
5								

Литература:

1. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука. 1976.
2. Физический практикум / Под ред. Ивероновой В.И. – М.: Наука. 1968.