

Исследование глаза как оптической системы

Цель – познакомить студентов с оптическим конструктором, его компонентами, дать представление о корректирующей оптике.

Задачи:

- Смоделировать оптическую систему с использованием рисунка-макета «Глаз».
- Определить фокусное расстояние.

Теоретическая часть

Человеческий глаз (Рисунок 3.1) имеет шарообразную форму. Диаметр глазного яблока – примерно 2,5 см, масса – 7-8 г. Снаружи глаз покрыт склерой — плотной непрозрачной оболочкой. Её передняя часть переходит в прозрачную роговую оболочку — роговицу. Склера и роговица защищают глаз и являются местом крепления двигательных мышц.

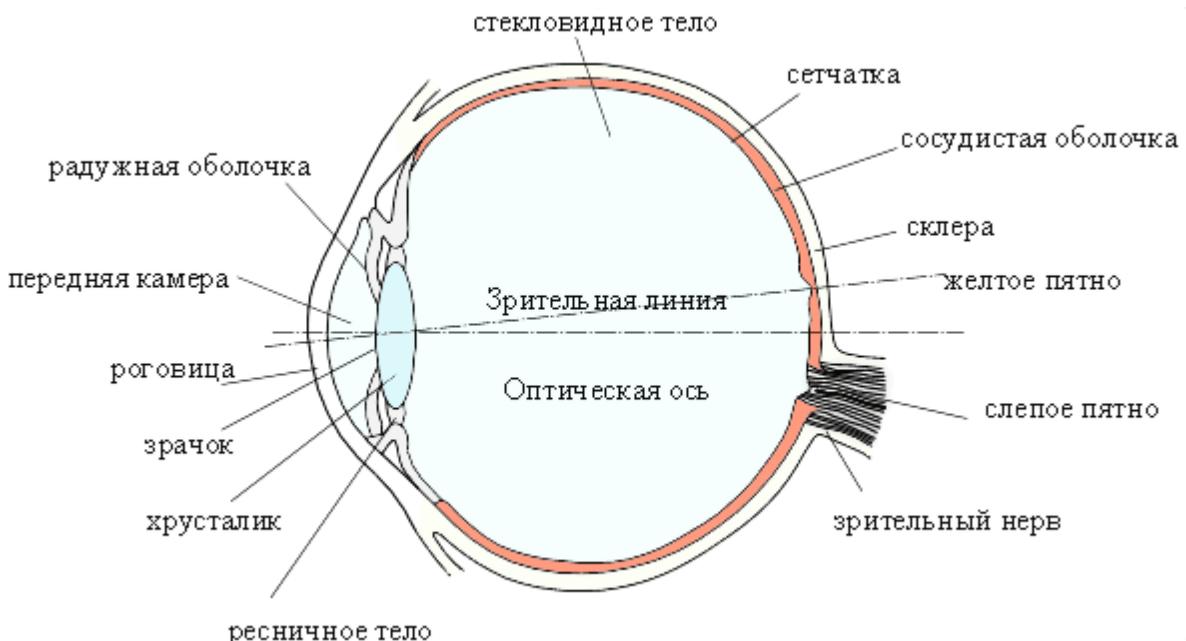


Рисунок 3.1. Разрез глазного яблока

Тонкая сосудистая пластина (радужная оболочка) является диафрагмой, ограничивающей проходящий пучок лучей. Через отверстие в радужной оболочке (зрачок) свет проникает в глаз. В зависимости от величины падающего светового потока диаметр зрачка может изменяться от 1 до 8 мм.

Хрусталик – двояковыпуклая эластичная линза, крепящаяся на мышцах ресничного тела. Ресничное тело обеспечивает изменение формы хрусталика. Хрусталик делит внутреннюю поверхность глаза на две камеры: переднюю и заднюю, заполненные водянистой влагой и стекловидным телом соответственно.

Внутренняя поверхность задней камеры покрыта сетчаткой, представляющей собой светочувствительный слой. Раздражение светочувствительных элементов сетчатки поступает через волокна зрительного нерва к зрительным центрам мозга. Между склерой и сетчаткой находится тонкая сосудистая оболочка, которая состоит из сети кровеносных сосудов, питающих глаз.

Слепое пятно – место входа зрительного нерва. Выше расположен участок ясного видения – желтое пятно. Линия, проходящая через центр желтого пятна и центр хрусталика - зрительная ось, которая отклонена от оптической оси глаза на угол около 5° .

Поток излучения, который отражается от наблюдаемого предмета, пройдя через оптическую систему глаза, фокусируется на внутренней поверхности глаза – сетчатой оболочке, формируя на ней обратное и уменьшенное изображение. Оптическую систему глаза составляют роговица, водянистая влага, хрусталик и стекловидное тело. Показатель преломления n в последней среде, которую проходит свет непосредственно перед образованием изображения на сетчатке, отличен от единицы. В результате, фокусные расстояния оптической системы глаза во внешнем пространстве (переднее фокусное расстояние) и внутри глаза (заднее фокусное расстояние) неодинаковы.

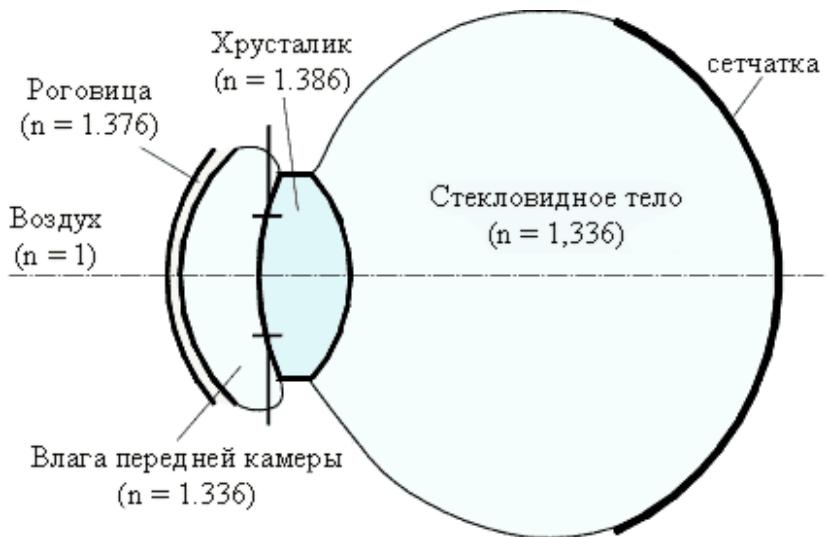


Рисунок 3.2. Оптическая система глаза, n – показатель преломления

Преломление света в глазе происходит главным образом на роговой оболочке, или роговице, а также на поверхностях хрусталика. Радужная оболочка определяет диаметр зрачка.

У человека с нормальным зрением фокус оптической системы глаза в ненапряженном (спокойном) состоянии расположен на сетчатке (Рисунок 3.3). Параллельные лучи после преломления в оптической системе глаза собираются на сетчатке, и изображение предметов на ней будет четким.

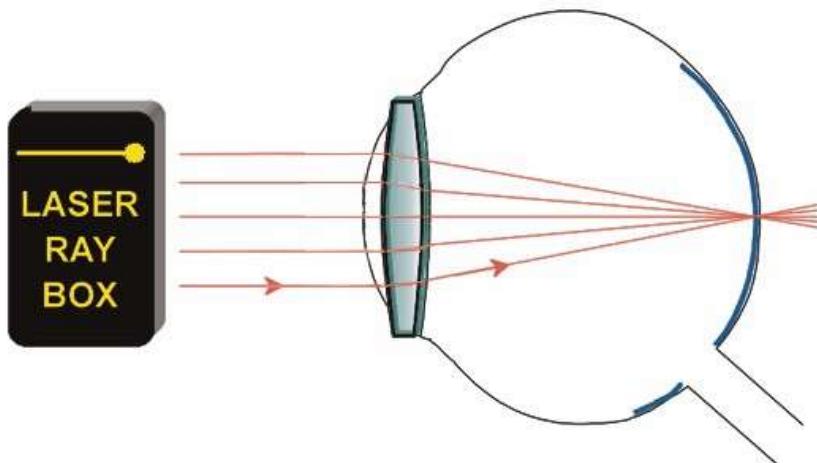


Рисунок 3.3. Схема оптической системы глаза при нормальном зрении

При близорукости фокус оптической системы глаза в спокойном состоянии расположен перед сетчаткой (Рисунок 3.4). Это происходит, потому что в случае близорукости угол преломления светового пучка в оптической системе глаза оказывается большим, чем у человека с

нормальным зрением. Поэтому изображение предметов на сетчатке будет нечетким, размытым.

Близорукость корректируется с помощью рассеивающих линз. Расстояние между O_1 и O_2 — область для корректирующей линзы.

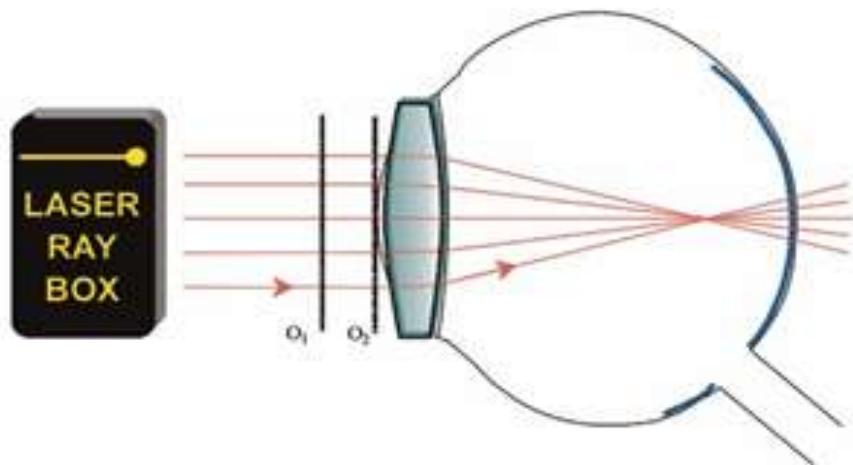


Рисунок 3.4. Схема оптической системы глаза при близорукости

Дальнозоркость — это недостаток зрения, в случае которого оптический фокус расположен за сетчаткой (Рисунок 3.5). Это происходит потому, что угол преломления светового пучка в оптической системе глаза оказывается меньшим, чем у человека с нормальным зрением.

Дальнозоркость корректируется с помощью собирающих линз. Расстояние между O_1 и O_2 — область для корректирующей линзы.

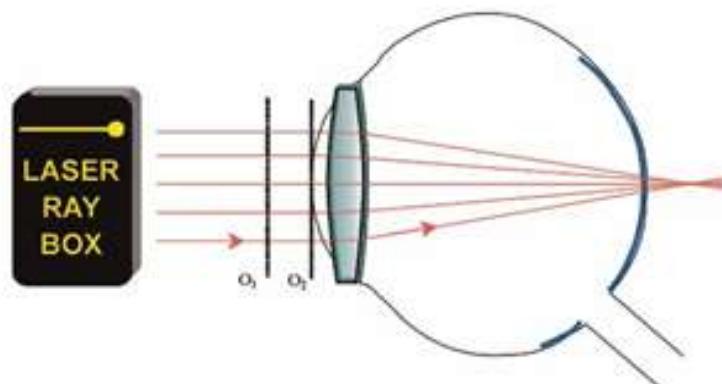


Рисунок 3.5. Схема оптической системы глаза при дальнозоркости

Практическая часть

При нормальном зрении:

Установите источник света (лазер) и рисунок-макет «Глаз» на рабочую поверхность. Линзу 1 необходимо поместить на рисунок-макет «Глаз» чётко за линией O_2 (Рисунок 3.6):

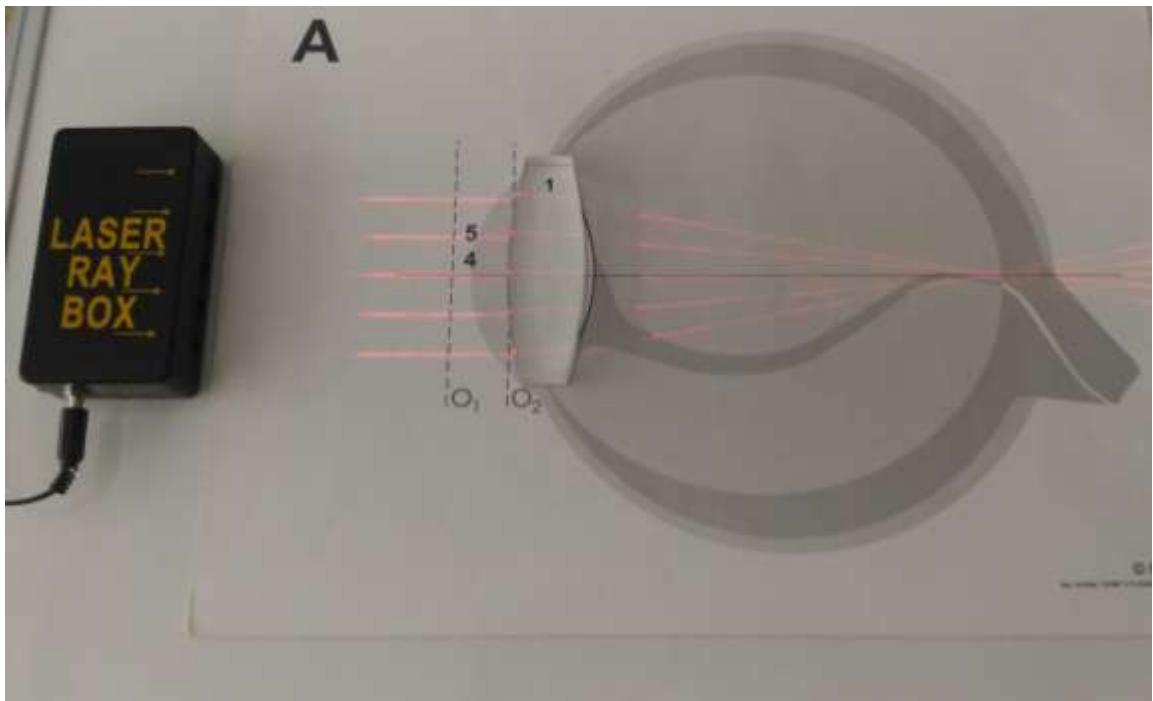


Рисунок 3.6. Модель оптической системы глаза при нормальном зрении

Измерьте расстояния d и f . Рассчитайте значение фокусного расстояния линзы:

$$F = \frac{d \cdot f}{d + f}. \quad (3.1)$$

При близорукости/дальнозоркости:

Установите источник света (лазер) и рисунок-макет «Глаз» на рабочую поверхность. Линзу 2 (при близорукости) либо линзу 3 (при дальнозоркости) необходимо поместить на рисунок-макет «Глаз» чётко за линией O_2 (Рисунок 3.7 и Рисунок 3.8).

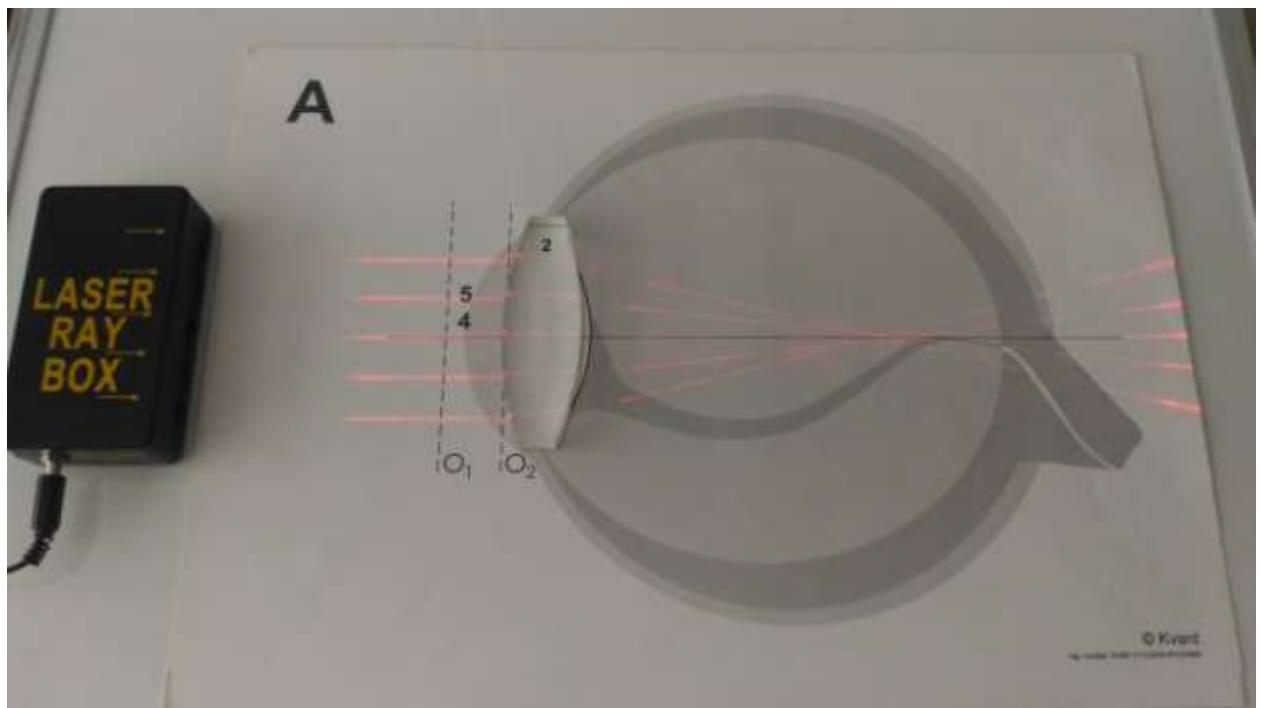


Рисунок 3.7. Модель глаза при близорукости без корректирующей линзы

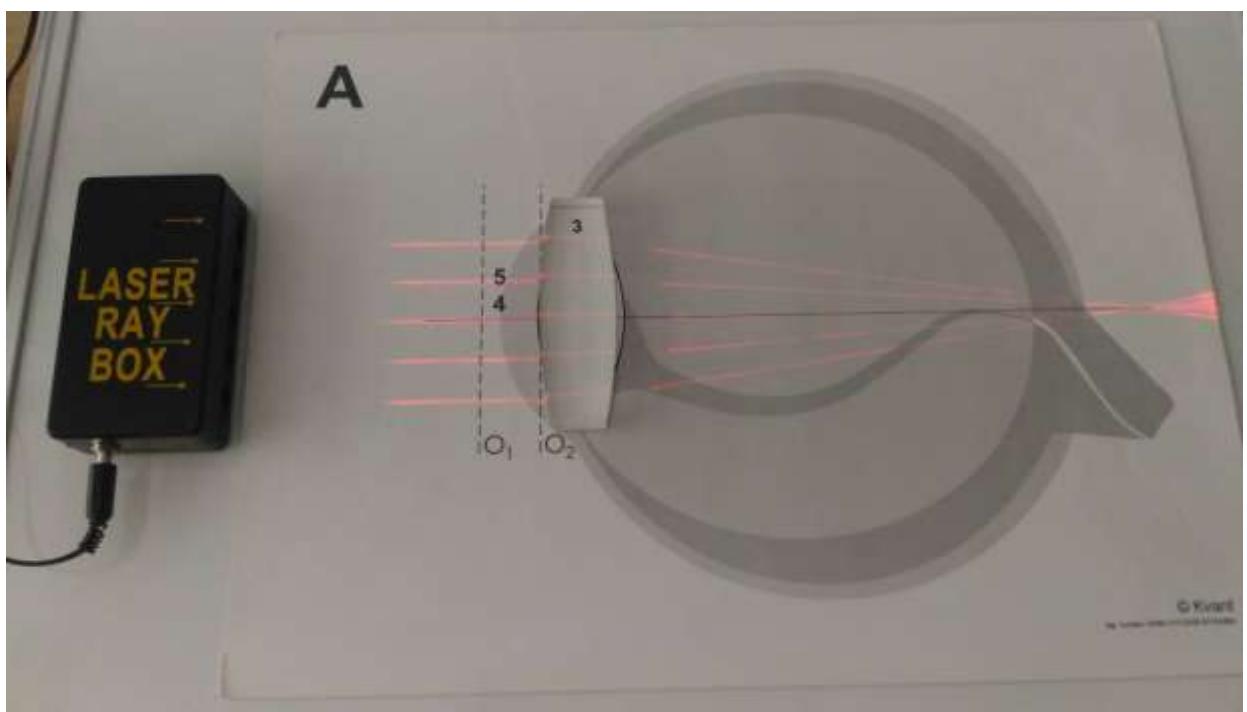


Рисунок 3.8. Модель глаза при дальнозоркости без корректирующей линзы

Поместите корректирующую линзу 5 (при близорукости) либо корректирующую линзу 4 (при дальнозоркости) в область между O_1 и O_2 (Рисунок 3.9 и Рисунок 3.10).

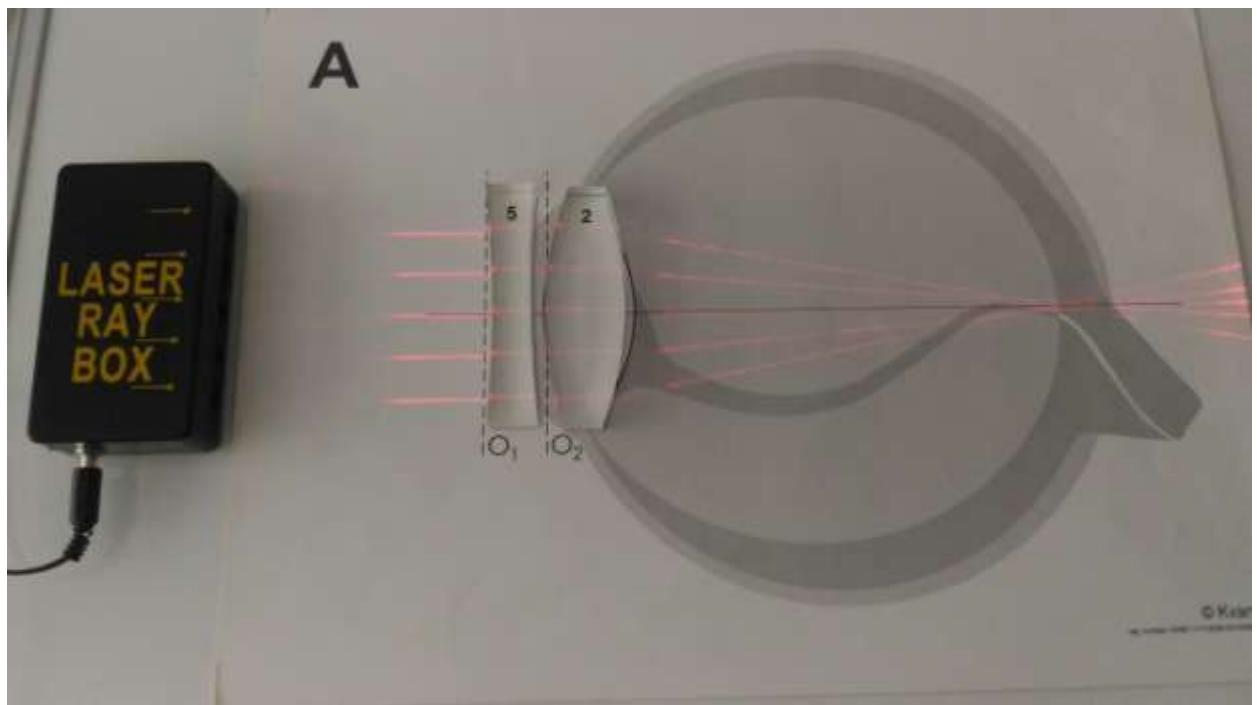


Рисунок 3.9. Модель глаза при близорукости с использованием корректирующей линзы

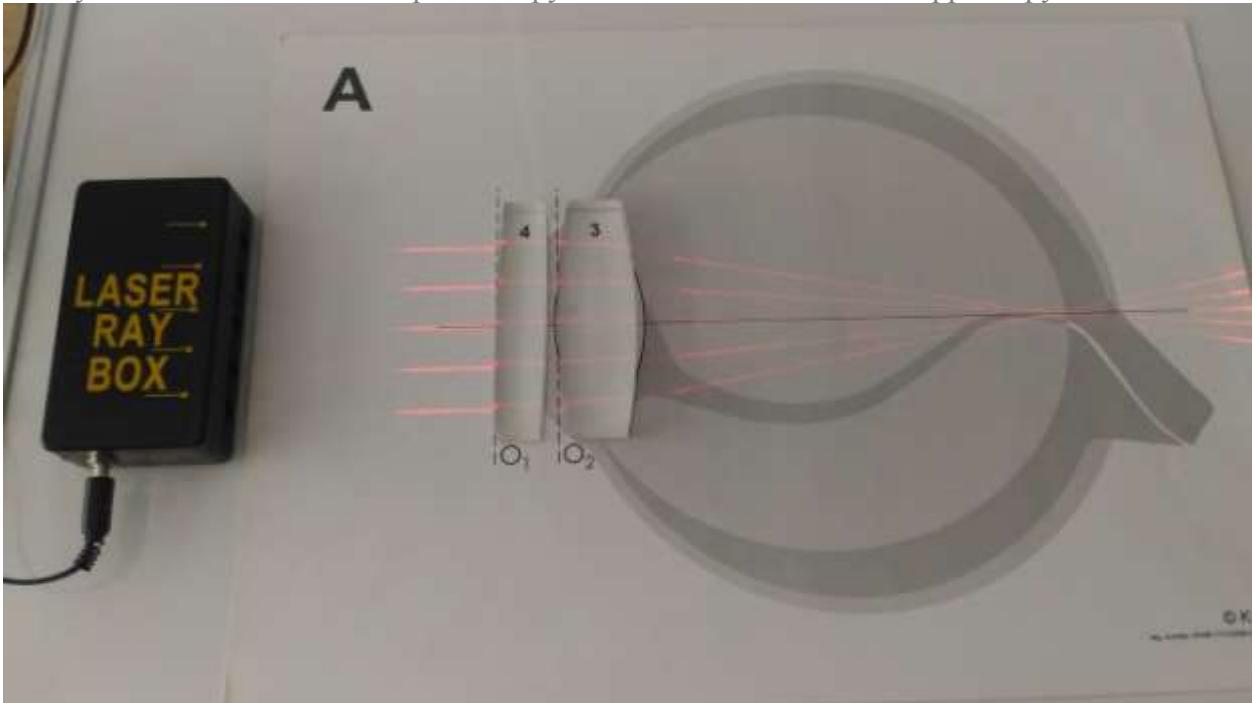


Рисунок 3.10. Модель глаза при дальнозоркости с использованием корректирующей линзы

Измерьте расстояния d и f для каждой из линз. Рассчитайте значения фокусного расстояния линз при использовании корректирующих линз:

$$F = \frac{F_1 \cdot F_2}{F_1 + F_2}. \quad (3.2)$$

Сделайте вывод о проделанной работе.

Исследование оптических систем на базе телескопов Галилея и Кеплера

Цель – познакомить студентов с моделями оптических систем телескопов Галилея и Кеплера.

Задачи:

- Смоделировать и изучить оптические системы телескопов с помощью рисунков-макетов.

Теоретическая часть.

В телескопической схеме Кеплера объективом и окуляром является положительная оптическая система (Рисунок 3.11 и Рисунок 3.12). Объектив создает перевернутое действительное изображение в задней фокальной плоскости, которое можно наблюдать с помощью окуляра. Передняя фокальная плоскость окуляра совпадает с задней фокальной плоскостью объектива так, что попадающий на объектив пучок лучей выходит из окуляра так же параллельно, как и падает на него.

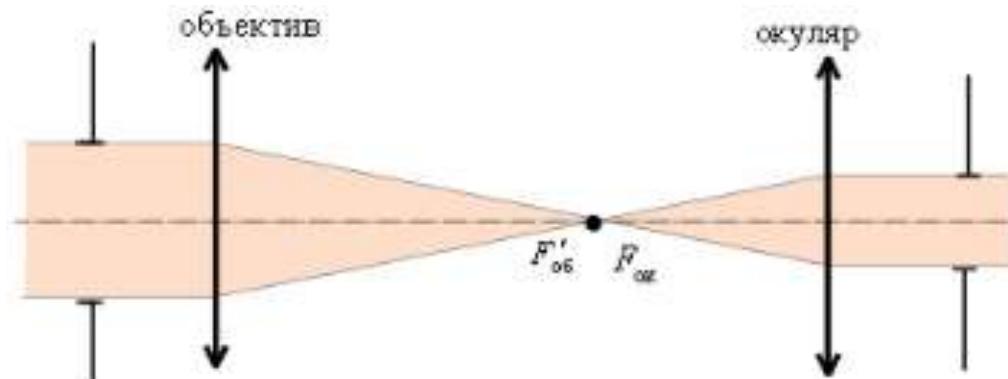


Рисунок 3.11. Телескопическая схема Кеплера

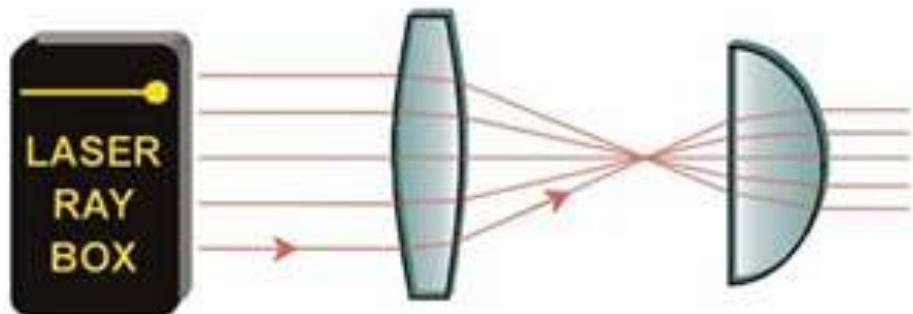


Рисунок 3.12. Схема оптической системы телескопа Кеплера

Один из недостатков телескопа Кеплера – большая длина оптической системы L :

$$L = F_{\text{об}} + F_{\text{ок}}, \quad (3.3)$$

где $F_{\text{об}}$ – фокусное расстояние объектива, $F_{\text{ок}}$ – фокусное расстояние окуляра.

Чем больше увеличение, тем длиннее должна быть система. Главное достоинство системы Кеплера – промежуточное изображение в фокусе объектива. Благодаря этому, возможно проведение точных измерений расстояний и углов.

Оптические системы на основе схемы Кеплера, помимо телескопов, используются в подзорных трубах, дальномерах, морских биноклях и измерительных системах.

В схеме Галилея в качестве объектива используется положительная оптическая система, в качестве окуляра – отрицательная (Рисунок 3.13 и Рисунок 3.14). Задний фокус объектива совпадает с передним фокусом окуляра. Промежуточное изображение в фокусе отсутствует.

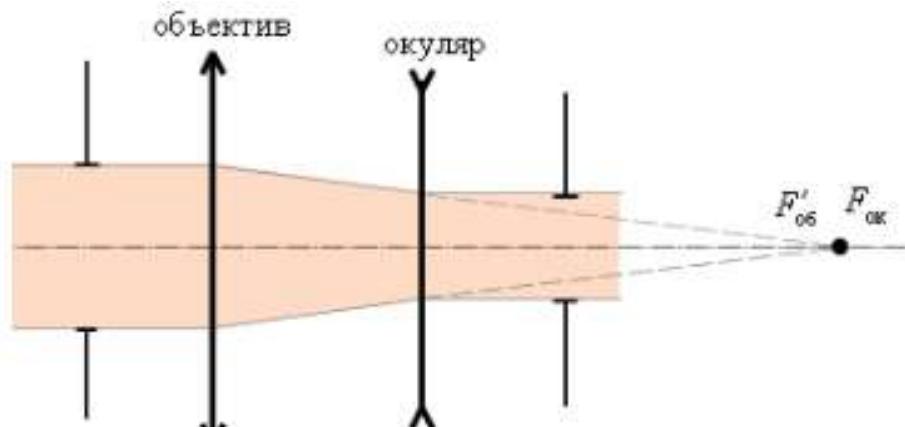


Рисунок 3.13. Телескопическая схема Галилея

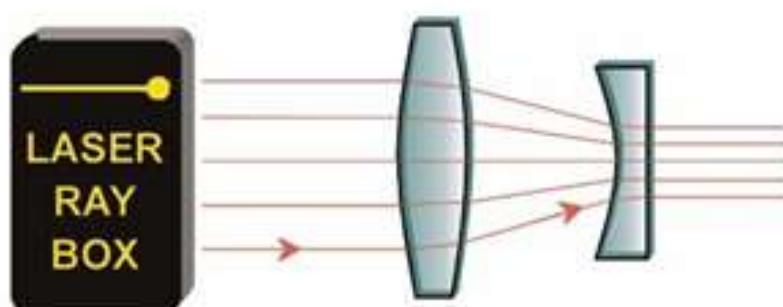


Рисунок 3.14. Схема оптической системы телескопа Галилея

Достоинства схемы Галилея: прямое изображение и малая длина относительно схемы Кеплера. В данной схеме общая длина:

$$L = F_{\text{об}} - |F_{\text{ок}}|. \quad (3.4)$$

Недостатки: малое поле зрения, отсутствие промежуточного изображения и, соответственно, невозможность использования данной системы в измерительных приборах.

Оптические системы на основе схемы Галилея используются в некоторых биноклях, системах сумеречного и ночного наблюдения, в видоискателях фотоаппаратов.

Рисунок 3.15 и Рисунок 3.16 описывают схемы прохождения лучей в телескопе Кеплера:

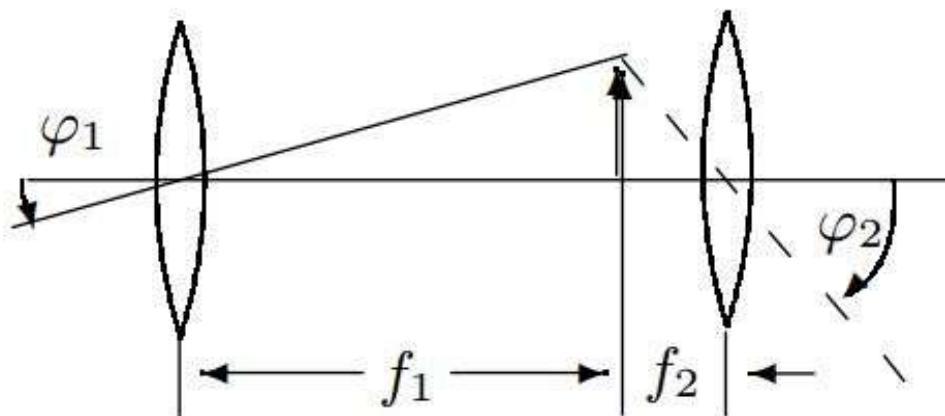


Рисунок 3.15 Схема прохождения лучей в телескопе Кеплера

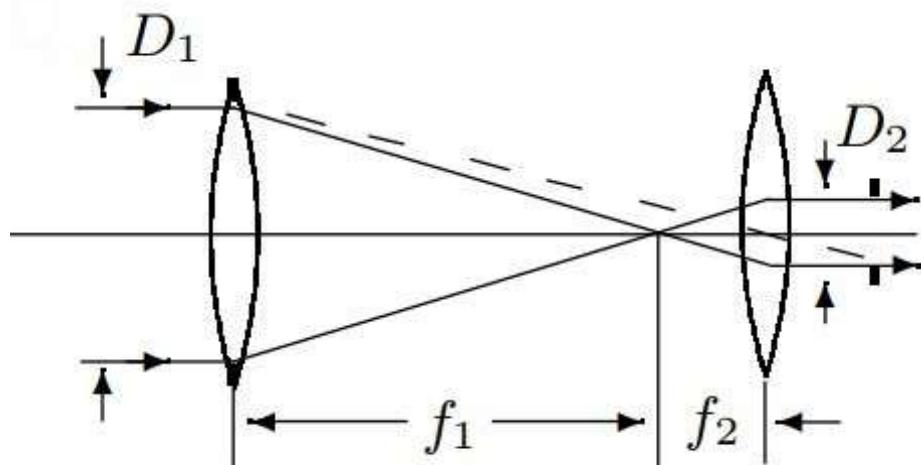


Рисунок 3.16 Схема прохождения лучей в телескопе Кеплера

Пусть пучок света, попадающий в объектив, составляет с осью угол φ_1 , а пучок, выходящий из окуляра, – φ_2 . Увеличение γ телескопа будет равно

$$\gamma = \frac{\operatorname{tg} \varphi_2}{\operatorname{tg} \varphi_1}. \quad (3.5)$$

Угловое увеличение телескопа равно отношению фокусов объектива и окуляра (Рисунок 3.15):

$$\gamma = \frac{\operatorname{tg} \varphi_2}{\operatorname{tg} \varphi_1} = \frac{f_1}{f_2}. \quad (3.6)$$

Отношение фокусных расстояний равно отношению диаметров пучка, прошедшего объектив и окуляр. Ширина пучка, прошедшего объектив, определяется диаметром D_1 его оправы. Ширина пучка, выходящего из окуляра, определяется диаметром D_2 (Рисунок 3.16):

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{D_1}{D_2}. \quad (3.7)$$

Таким образом, угловое увеличение телескопа:

$$\gamma = \frac{\operatorname{tg} \varphi_2}{\operatorname{tg} \varphi_1} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{D_1}{D_2}. \quad (3.8)$$

Практическая часть

1. Телескоп Кеплера.

Установите источник света (лазер) и рисунок-макет «Телескоп Кеплера» на рабочую поверхность. Поместите линзы 2 и 7 на рисунок-макет «Телескоп Кеплера», как показано на рисунке (Рисунок 3.17):

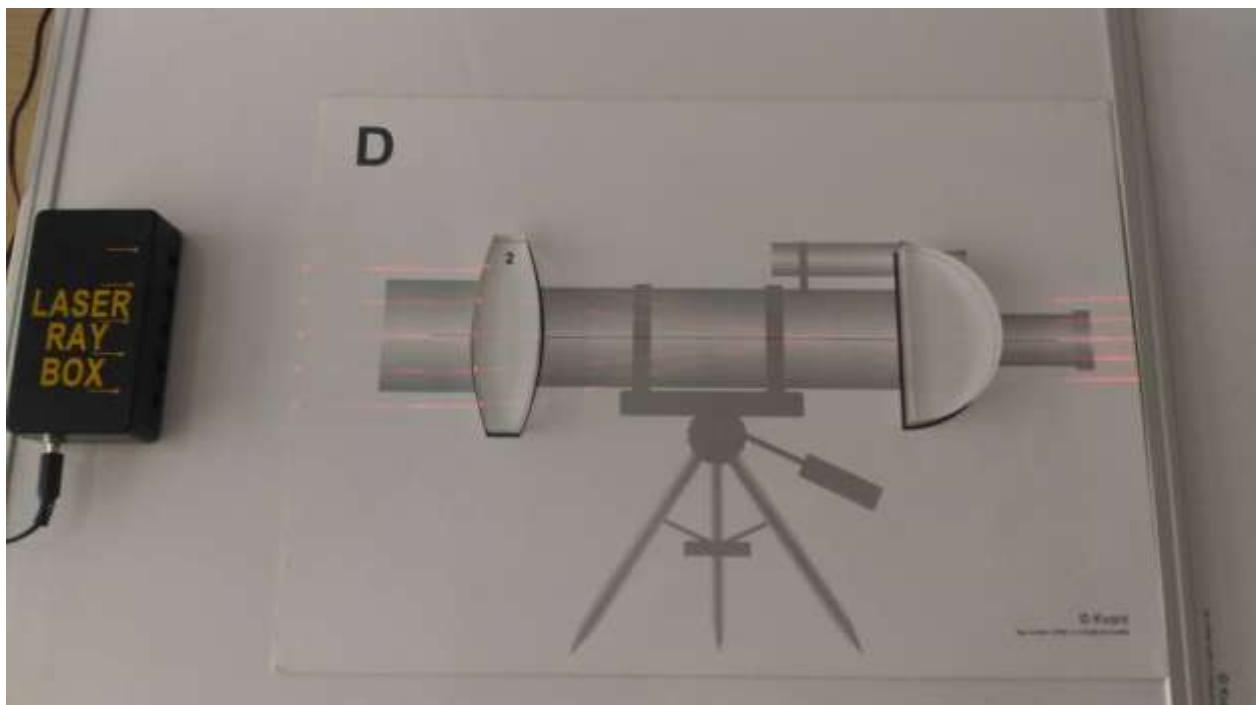


Рисунок 3.17. Модель телескопа Кеплера с использованием линз

Рассчитайте значения фокусных расстояний линз, используемых в телескопе Кеплера:

$$F = \frac{d \cdot f}{d + f}. \quad (3.9)$$

Рассчитайте длину оптической системы

$$L = F_{\text{об}} + F_{\text{ок}}. \quad (3.10)$$

и угловое увеличение

$$\gamma = \frac{\tg \varphi_2}{\tg \varphi_1}. \quad (3.11)$$

Сделайте вывод о проделанной работе.

2. Телескоп Галилея.

Установите источник света (лазер). Поместите линзы 2 и 8 на рисунок-макет «Телескоп Галилея», как показано на рисунке (Рисунок 3.18):

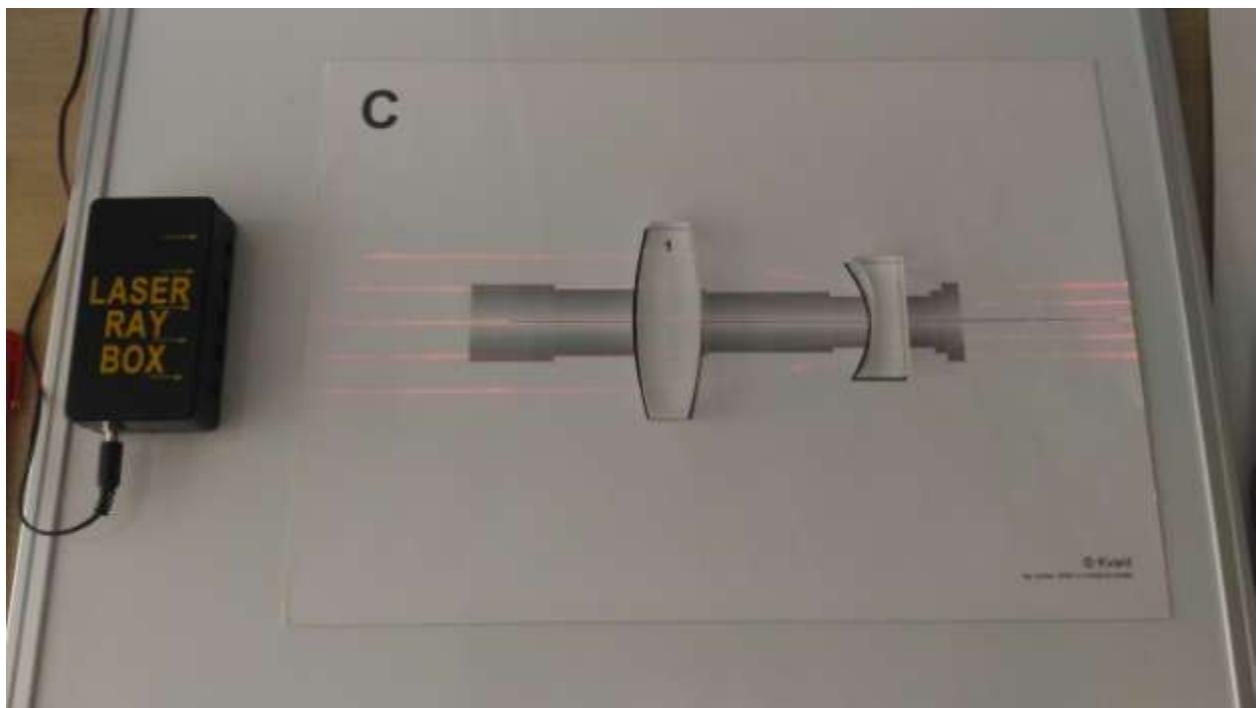


Рисунок 3.18. Модель телескопа Галилея с использованием линз

Рисунок 3.19 и Рисунок 3.20 описывают схемы прохождения лучей в телескопе Галилея:

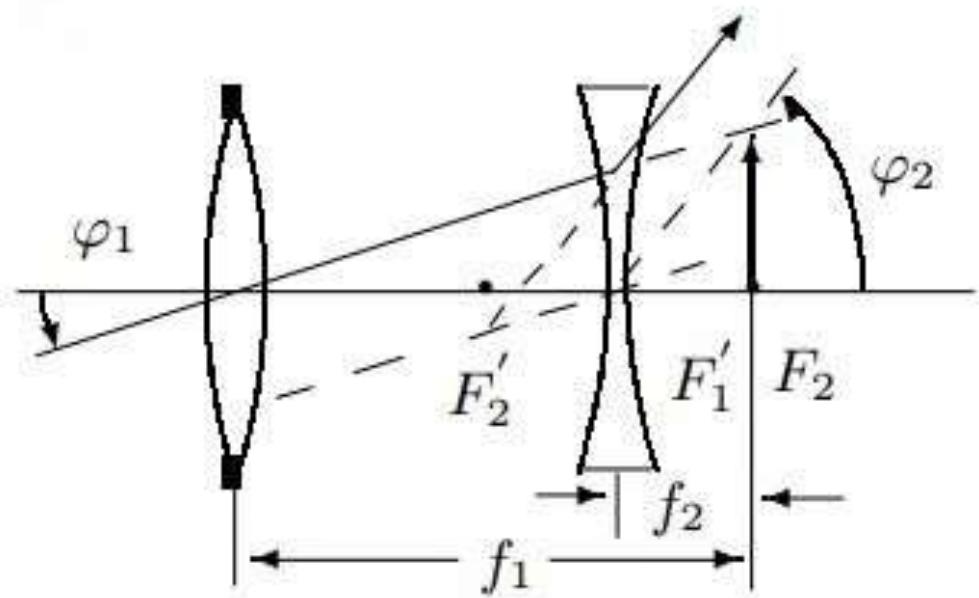


Рисунок 3.19 Схема прохождения лучей в телескопе Галилея

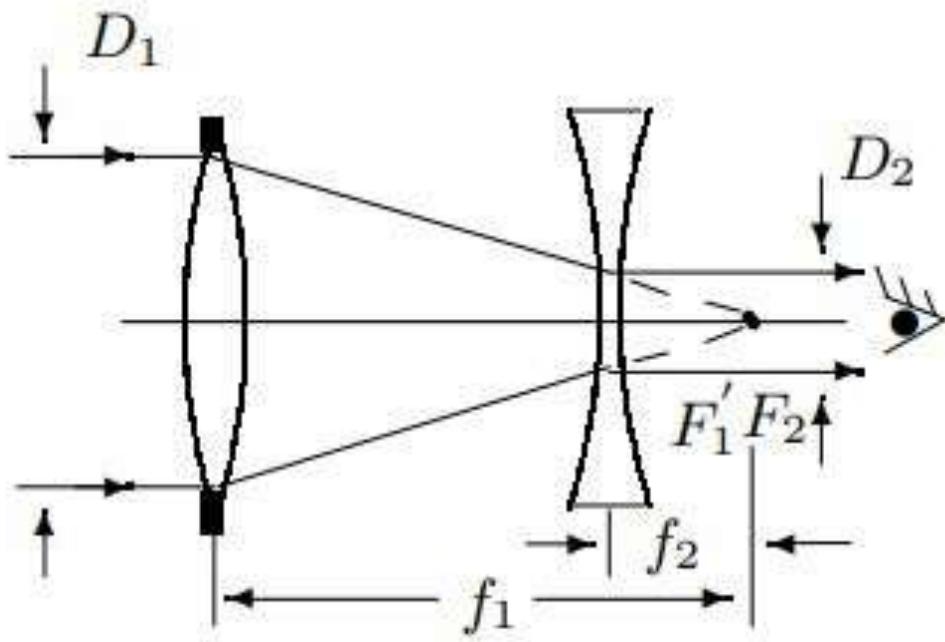


Рисунок 3.20 Схема прохождения лучей в телескопе Галилея

Формула, полученная для телескопа Кеплера, справедлива для телескопа Галилея.

Рассчитайте значения фокусных расстояний линз, используемых в телескопе Галилея

$$F = \frac{d \cdot f}{d + f} \quad (3.12)$$

Рассчитайте длину оптической системы

$$L = F_{\text{об}} - |F_{\text{ок}}| \quad (3.13)$$

и угловое увеличение

$$\gamma = \frac{\tg \varphi_2}{\tg \varphi_1} \quad (3.14)$$

Сделайте вывод о проделанной работе.

Исследование оптической системы объектива, коррекция сферической аберрации

Цель – познакомить студентов с моделью оптической системы объектива.

Задача: Смоделировать и изучить оптическую систему объектива.

Теоретическая часть.

Объектив – оптическая система, часть оптического прибора, обращённая к объекту наблюдения или съёмки и формирующая его действительное или мнимое изображение.

Аберрация оптической системы – погрешность изображения, вызванная отклонением луча от направления, по которому он должен был идти в идеальной оптической системе. Её характеризуют нарушения гомоцентричности в пучках лучей оптической системы.

Сферическая аберрация – аберрация оптической системы, вызванная несовпадением фокусов для лучей света, проходящих на отличных от оптической оси расстояниях.

Продольные аберрации – отклонения координаты точки O' пересечения реального луча с осью от координаты точки O' идеального изображения вдоль оси (Рисунок 3.21):

$$\Delta S' = S' - S'_0. \quad (3.15)$$

где S' - положение точки пересечения луча с осью, S'_0 - положение идеальной точки пересечения.

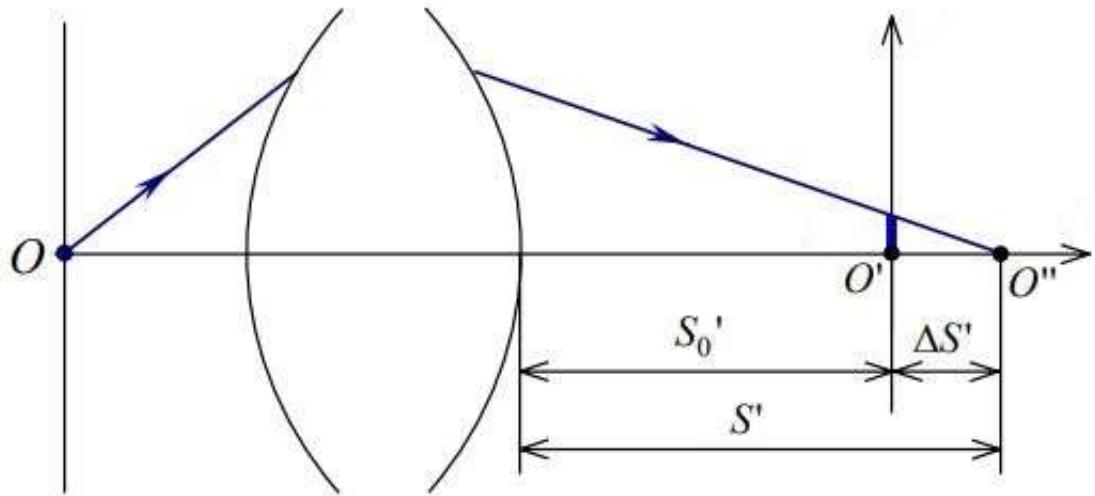


Рисунок 3.21. Продольные aberrации для изображения ближнего типа

Для изображения ближнего типа продольные aberrации выражаются в миллиметрах (Рисунок 3.21), для изображения дальнего типа (Рисунок 3.22) продольные aberrации выражаются в обратных сантиметрах:

$$\Delta S' = \frac{1}{z'_0} - \frac{1}{z'}, [\text{см}^{-1}]. \quad (3.16)$$

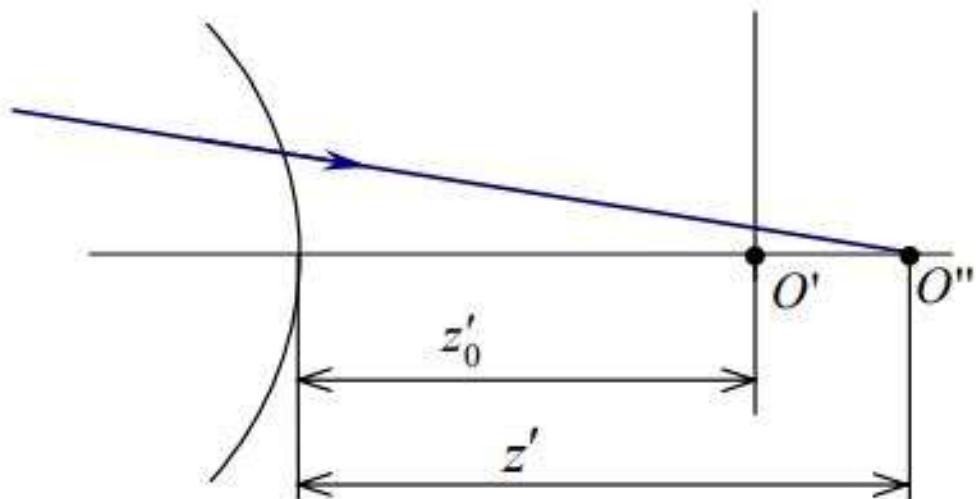


Рисунок 3.22. Продольные aberrации для изображения дальнего типа

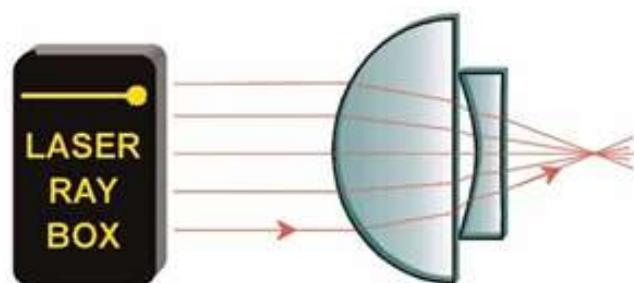


Рисунок 3.23. Схема оптической системы объектива с коррекцией сферической aberrации

Практическая часть.

Установите источник свет (лазер) и рисунок-макет «Объектив» на рабочую поверхность. Поместите линзу 6 на рисунок-макет «Объектив».

Рассчитайте значения продольных сферических aberrаций для изображений ближнего и дальнего типов.

Затем поместите линзы 6 и 8 на рисунок-макет «Объектив», как показано на рисунке (Рисунок 3.24):

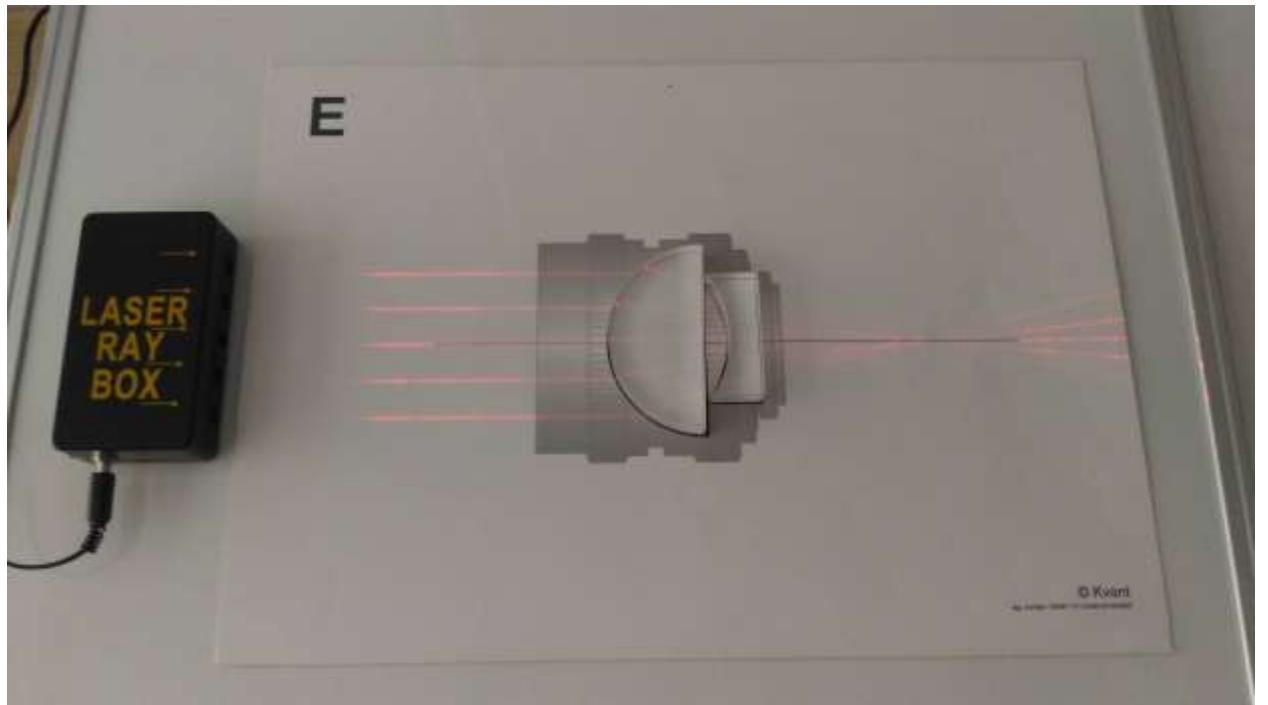


Рисунок 3.24. Модель оптической системы объектива с коррекцией сферической aberrации

Сделайте вывод о проделанной работе.

Исследование оптической системы фотоаппарата

Цель – познакомить студентов с моделью оптической системы фотоаппарата.

Задача:

- Смоделировать и изучить оптическую систему фотоаппарата.

Теоретическая часть.

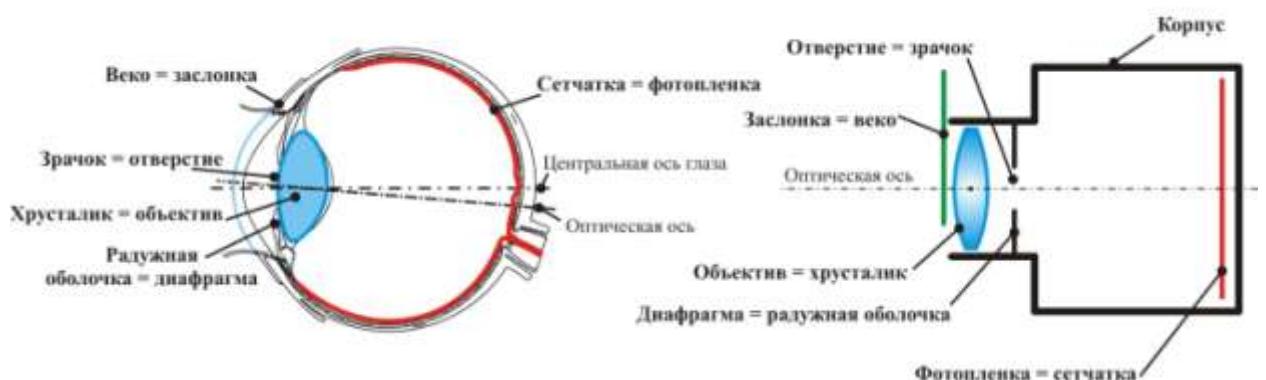


Рисунок 3.25. Схема сравнения фотоаппарата и человеческого глаза

Фотоаппарат с автоматической фокусировкой можно сравнить с человеческим глазом (Рисунок 3.25).

Человеческий глаз:

При открывании века поток света проходит через зрачок, диаметр которого регулируется радужной оболочкой в зависимости от интенсивности света. Затем он попадает на хрусталик, преломляется и затем фокусируется на сетчатке. Сетчатка преобразует изображение в сигналы и передает их по зрительному нерву в мозг.

Фотоаппарат:

Открывается заслонка, затем световой поток проходит через отверстие, диаметр которого регулируется диафрагмой. Далее он проходит через объектив, преломляется в нем и фокусируется на фотоматериале, регистрирующем изображение.

Практическая часть.

Установите источник свет (лазер). Поместите линзу 1 на рисунок-макет «Фотоаппарат» (Рисунок 3.26):

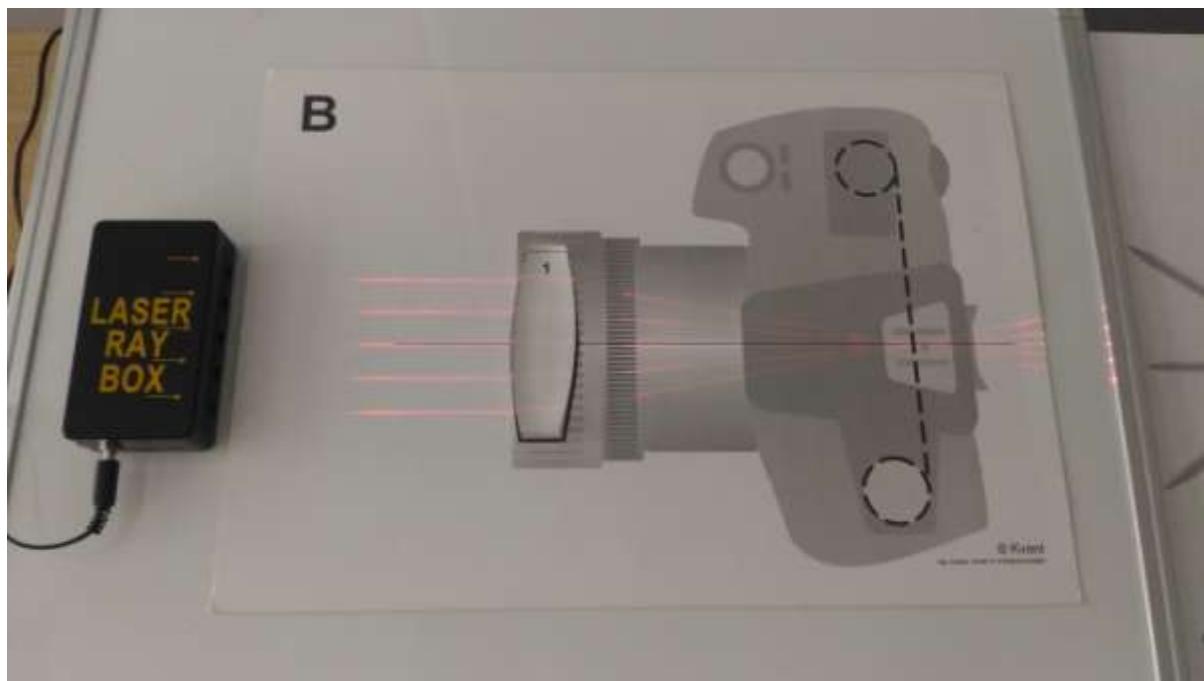


Рисунок 3.26. Модель оптической системы фотоаппарата

Рассчитайте значение фокусного расстояния линзы:

$$F = \frac{d \cdot f}{d + f}. \quad (3.17)$$

Сделайте вывод о проделанной работе.