

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №19.

ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

Оборудование: оптическая скамья с рейтерами, объектив, осветитель, зрительная труба, штангенциркуль, сетка, шкала, окулярный микрометр.

ОПИСАНИЕ ЦЕЛЕЙ РАБОТЫ.

№	Конкретная цель.	Критерий достижения цели.
1. Изучение теории.		
1	Теория сложных оптических систем.	Студент правильно отвечает на вопросы 1 -10.
2	Построение изображения в оптической системе.	Студент может решить предложенную преподавателем задачу на построение.
3	Увеличение в оптической системе.	Студент без ошибок делает чертеж и выводит формулы для определения увеличения системы.
2. Практические кавыки.		
1	Умение отъюстировать установку.	
2	Умение собрать коллиматор и проверить параллельность лучей.	
3	Умение определить положение фокусов системы.	
4	Умение определить увеличение системы.	
5	Умение определить положение узловых точек системы.	

1. ИЗУЧЕНИЕ ТЕОРИИ.

Прежде чем приступать к работе Вы должны прочитать по данному пособию (с.8-11), а лучше по учебнику ([1], [2], [3]) изложение основных сведений об оптических системах и составить конспект. Для контроля Ваших знаний ответьте на следующие вопросы:

1. Что называет оптической системой? В каком случае она называется идеальной? центрированной?
2. Что называется главной оптической осью системы?
3. Что такое фокус системы? Где лежит точка, сопряженная переднему фокусу системы? заднему фокусу системы?
4. Как определить положение фокальных плоскостей?
5. Что называют главными плоскостями системы? главными точками? Где находится точка, сопряженная с одной из главных точек? с любой из точек главной плоскости?
6. Каково основное свойство узловых точек системы? узловых плоскостей?
7. В каком случае узловые точки совпадают с главными?
8. Перечислите кардинальные элементы оптической системы. Чем, по-вашему, оп-

ределяется их выбор?

9. Как построить изображение точки в центрированной оптической системе? Покажите ход трех лучей, используемых для построения.
10. Напишите соотношения, справедливые для центрированной оптической системы. Укажите по чертежу, как отсчитывается расстояния, входящие в эти соотношения.

Изучение оптической системы мы ограничим определением положения её кардинальных точек: фокусов, главных и узловых точек. В качестве оптической системы возьмем объектив от столярного проекционного фонаря. Для удобства одну из поверхностей объектива назовите передней, а другую задней. Т.к. все измерения проводятся в воздухе (показатели преломления среды с обеих сторон объектива одинаковы), то фокусные расстояния объектива равны и узловые точки объектива совпадают с соответствующими главными. Т.о. наша задача сводится к определению положения фокусов и главных точек объектива.

Определение кардинальных элементов системы может быть проведено разными способами. В данной работе мы предлагаем Вам два метода.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ КАРДИНАЛЬНЫХ ТОЧЕК СИСТЕМЫ ПО ВЕЛИЧИНЕ ЛИНЕЙНОГО УВЕЛИЧЕНИЯ.

2.1. Определение линейного увеличения объектива γ .

Линейное увеличение системы равно отношению размера изображения h_2 к размеру предмета h_1 и может быть определено непосредственно, по измерениям размеров h_1 и h_2 . В данной работе в качестве предмета используется прозрачная сетка. Работу выполняйте в следующем порядке:

1. Измерьте размер ячейки сетки. Для этого измерьте ширину 5-10 клеток и найдите среднюю ширину одной клетки (по вертикали и по горизонтали).
2. Соберите установку по схеме (рис.31).

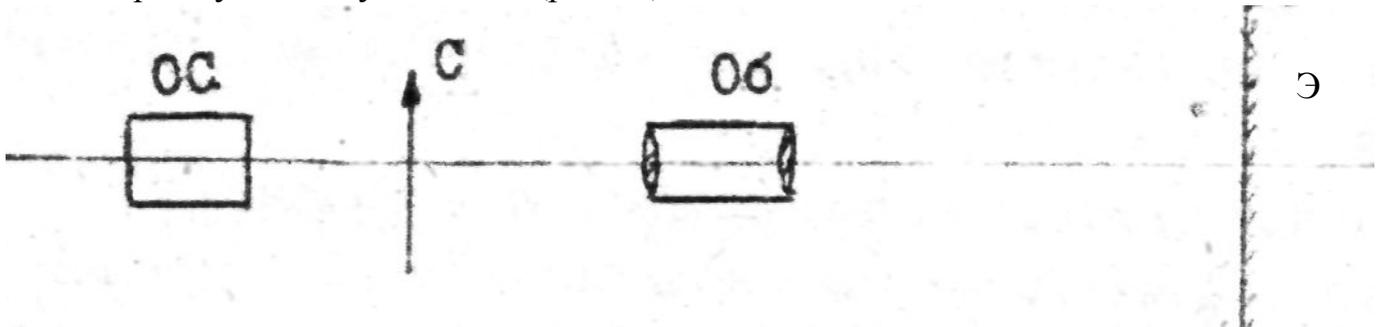


Рис.31.

- ОС - осветитель с матовым стеклом;
- С - сетка (предмет);
- Об - исследуемый объектив;
- Э - экран.

- Отъюстируйте установку и получите на экране четкое изображение сетки.
- Измерьте на экране ширину нескольких клеток и найдите средний размер одной клетки (изображения) по горизонтали и по вертикали. Чтобы не сдвигать экран во время измерения и не вносить, таким образом, искажений, предварительно укрепите на экране лист белой бумаги, на которой легкими штрихами отметьте положение нужных вам клеток, а потом уж измерьте их.
 - Вычислите γ_1 и γ_2 (по вертикали и по горизонтали). Очевидно, что $\gamma_1 \approx \gamma_2$. За найденное значение увеличения возьмите среднее значение: $\gamma = \frac{1}{2}(\gamma_1 + \gamma_2)$.

Более точное измерение увеличения оптической системы получают с помощью винтового окулярного микрометра, который устанавливают вместо экрана. Винтовой окулярный микрометр представляет собой окуляр, в фокальной плоскости которого находится пластинка с миллиметровыми делениями. Изображение предмета проектируется в плоскость пластинки. Таким образом, в окуляре мы четко видим изображение сетки и шкалы. С помощью микрометрического винта можно измерить расстояние по шкале с точностью до 0,01 мм. В этом случае в качестве предмета вместо сетки берут специальную шкалу с делениями 0,1 мм или 0,01 мм.

2.2. Определение фокусного расстояния объектива.

Зная увеличение объектива можно определить его фокусное расстояние.

Пусть на рис.32 H_1 и H_2 - главные плоскости объектива, F_1 и F_2 - его главные фокусы, а h_2 - изображение h_1 . Линейное увеличение:

$$\gamma = \frac{h_2}{h_1} = \frac{f_1}{x_1} = \frac{x_2}{f_2} = \frac{x_2}{f} = \frac{f}{x_1}. \quad (11)$$

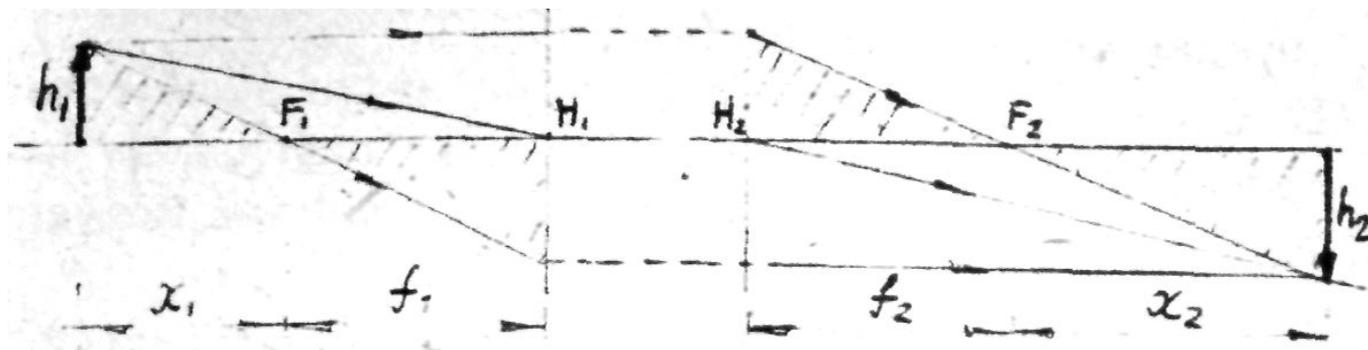


Рис.32.

Если I и II - два разных положения предмета (рис.33),

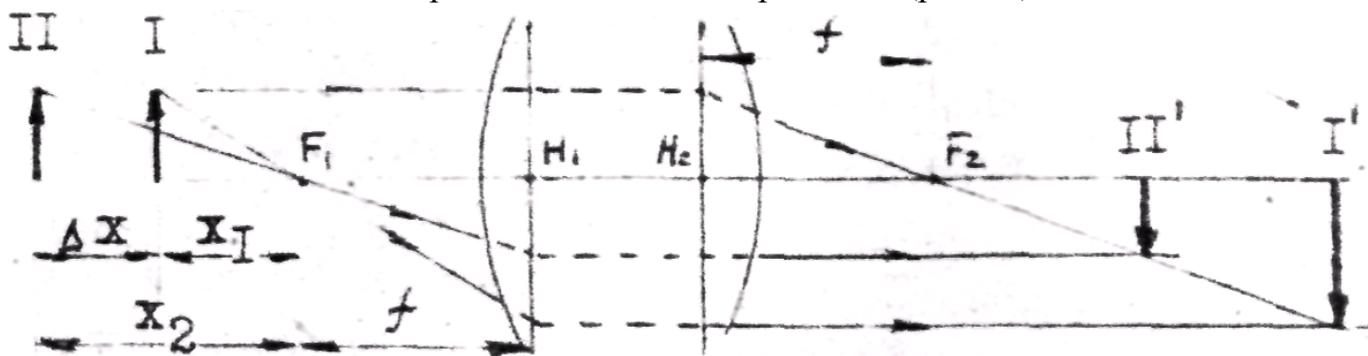


Рис.33.

то линейное увеличение предмета в первом и втором положениях равно $\gamma_1 = \frac{f}{x_1}$ и $\gamma_2 = \frac{f}{x_2}$, где x_1 и x_2 - расстояния предмета от главного фокуса объектива в положениях I и II. Обозначив расстояние между двумя положениями предмета Δx , мы

получим: $\Delta x = x_2 - x_1 = f \left(\frac{1}{\gamma_2} - \frac{1}{\gamma_1} \right)$, откуда:

$$f = \frac{\Delta x}{\left(\frac{1}{\gamma_2} - \frac{1}{\gamma_1} \right)} = \frac{\Delta x \cdot \gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 - \gamma_2}. \quad (12)$$

Т.о., определив увеличение предмета при двух его разных положениях и, измерив расстояние между ними, найдем фокусное расстояние объектива.

Порядок выполнения измерений:

1. Установите предмет на оптическую скамью и получите его изображение на экране. Отметьте положение предмета на оптической скамье (например, отмерив расстояние от края скамьи до края рейтера).
2. Определите увеличение γ_1 .
3. Передвиньте предмет в другое положение и вновь получите его изображение на экране (передвигая экран, а не объектив!!!). Отметьте новое положение предмета и найдите Δx . Желательно так подобрать положения I и II, чтобы Δx было как можно больше.
4. Определите увеличение γ_2 .
5. По формуле (12) найдите фокусное расстояние объектива.
6. Повторите все измерения при разных положениях предмета не менее трех раз и определите среднее значение фокусного расстояния объектива.

2.3. Определение положения фокусов оптической системы.

Мы знаем, что лучи, падающие на объектив параллельно его главной оптической оси, проходят через задний фокус, и, наоборот, лучи, исходящие из первого фокуса системы, после прохождения системы, идут параллельно его главной оптической оси. Соответственно, положение фокусов системы можно определить двумя способами.

Первый способ.

1. Создайте параллельный пучок лучей с помощью коллиматора. Коллиматор состоит из узкой щели (или малого отверстия), расположенной в фокусе собирающей (коллиматорной) линзы Л. Фокусное расстояние коллиматорной линзы измерьте (см. работу №1) или возьмите линзу с известным фокусным расстоянием. Щель освещается источником света (осветителем ОС) (рис.34).
2. Проверьте параллельность лучка. Для этого на листе бумаги (экране) отметьте размер светового пучка сразу же после коллиматорной линзы. Отодвиньте лист бумаги на противоположный край скамьи. Если световое пятно не меняется по размеру, значит лучи идут параллельным пучком.

3. Поместите в световой пучок исследуемый объектив. Сечение светового пучка должно быть меньше входного отверстия объектива. Сечение пучка можно уменьшить дополнительной диафрагмой ДД.
4. Помещаем за объективом экран и находим такое его положение, при котором получается резкое изображение входного отверстия коллиматора Д. Установку экрана нужно произвести как можно точнее. Положение экрана соответствует положению заднего фокуса.
5. Измерьте положение фокуса относительно первой линзы объектива (l_2).
6. Поверните объектив на 180° и определите положение второго фокуса относительно той же линзы (l_1).

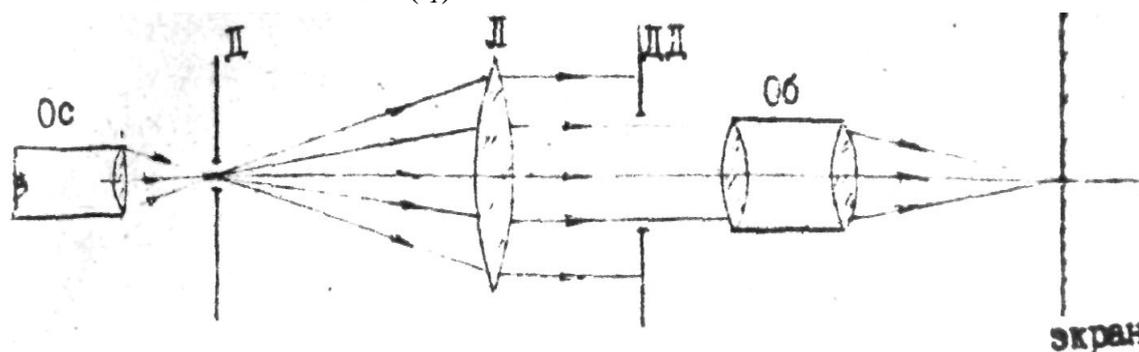


Рис.34.

Второй способ.
 1. Устанавливают сетку, объектив и зрительную

трубу, установленную на бесконечность, на одной оси. Передвигая сетку, находят такое её положение, при которой она резко видна в трубу. Фиксируют положение сетки на оптической скамье.

Это положение сетки будет совпадать с положением первого фокуса объектива. Отмеряют его положение относительно первой линзы объектива (l_1).

2. Поворачивают объектив на 180° и определяют положение второго фокуса (l_2).

1.2.4. Определение главных точек объектива.

Зная положение фокусов и фокусное расстояние можно определить положение главных плоскостей. Изобразите схематически изучаемую систему

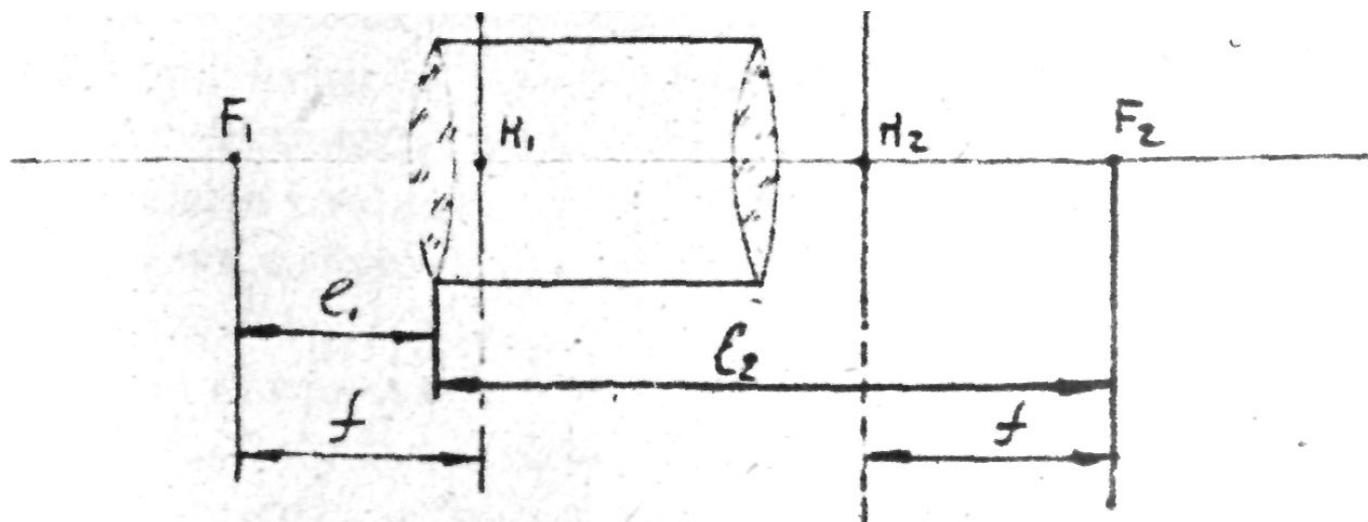


Рис.35.

(аналогично рис.35), нанеся на схеме расстояния от всех кардинальных точек до первой линзы объектива.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ГЛАВНЫХ ТОЧЕК СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ЕЕ ВРАЩЕНИЯ В ПУЧКЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛУЧЕЙ.

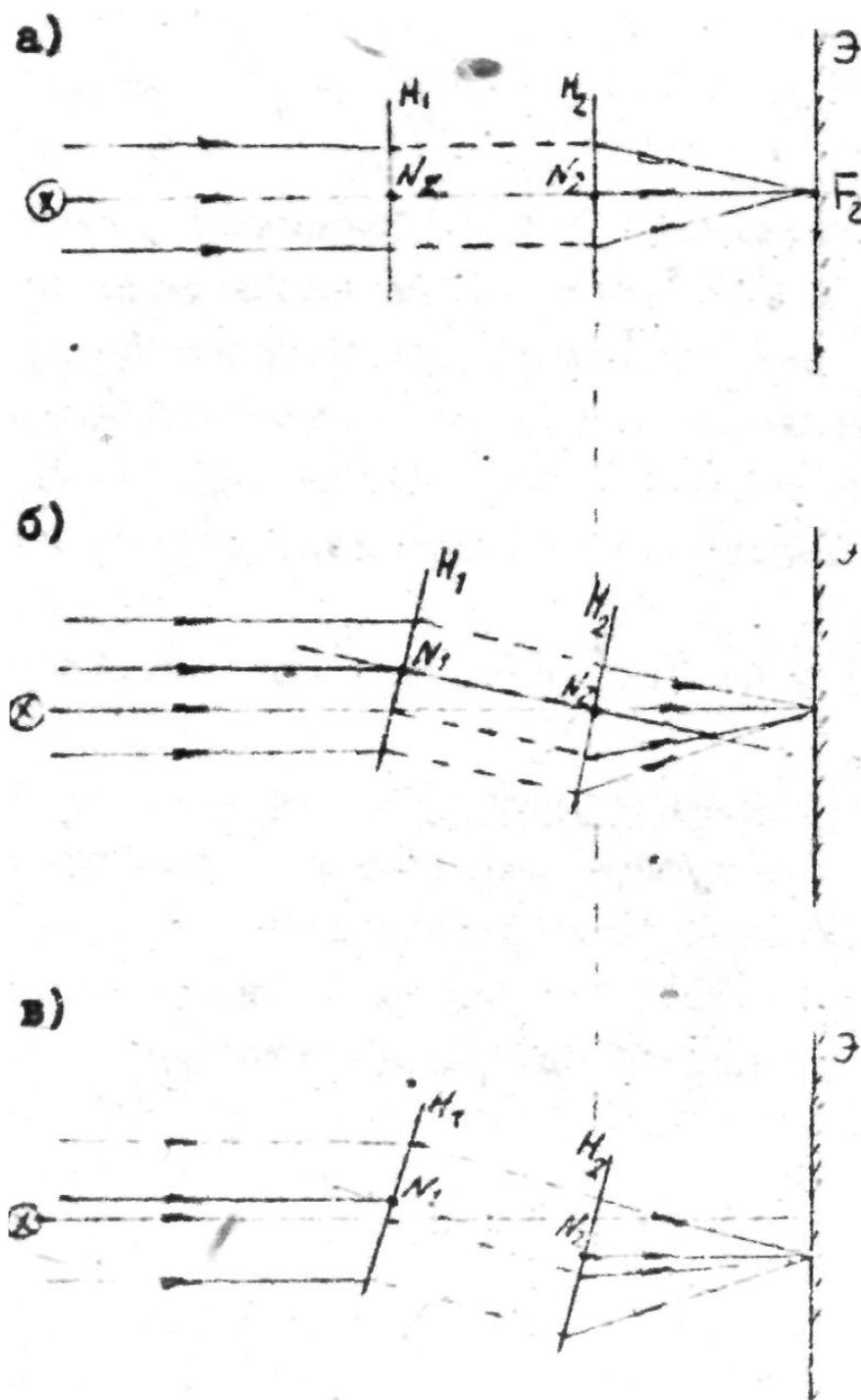


Рис. 36.

Кардинальные точки оптической системы можно найти, используя свойства узловых точек: луч, проходящий через первую узловую точку N_1 (рис.9), выходит из второй узловой точки N_2 в направлении, параллельном направлению падающего луча. Пусть на оптическую систему падает пучок лучей, параллельных главной оптической оси. Тогда изображение источника света будет в точке второго фокуса F_2 (рис.36,а). Будем теперь поворачивать оптическую систему вокруг оси, перпендикулярной главной оптической оси системы. Так как направление падающего пучка в пространстве осталось неизменным, то луч, идущий через первый узел системы N_1 , выйдет из узла N_2 , сохраняя то же направление в пространстве. Если точка N_2 останется на том же месте, (ось вращения проходит через N_2), то изображение останется на том же месте экрана (рис.36,б). Если же точка N_2 сместится, то и изображение сместится в ту же сторону, что и N_2 (см. рис.36,в). Т. о., если ось вращения системы проходит через заднюю узловую

точку N_2 , то изображение источника света на неподвижном экране не будет смещаться при небольших поворотах оптической системы. Это свойство узловых точек позволяет экспериментально определить их положение.

Порядок измерений:

1. Получите параллельный пучок лучей. Проверьте его параллельность.
2. Установите в пучке лучей объектив. Закрепите рейтер. Объектив установлен на горизонтальной поверхности и может перемещаться по ней в горизонтальном направлении с помощью кремальерной подачи.
3. Установите экран и найдите такое его положение, при котором на экране получается резкое изображение коллиматорной щели. Это положение второго фокуса системы. Отмерьте его положение от первой линзы объектива.
4. Поверните оптическую систему на небольшой угол ($\pm 3^\circ$), наблюдая за положением изображения на экране. Если оно не смещается, значит ось вращения проходит через узловую точку N_2 (которая, в данном случае, совпадает с главной H_2). Отмерьте ее положение от первой линзы объектива.
5. Если изображение смещается, то передвиньте объектив с помощью кремальеры и найдите новое положение фокуса. Опять поверните систему на небольшой угол $\pm 3^\circ$ в ту и другую сторону, наблюдая за поведением изображения на экране. Если оно, по-прежнему, смещается, то вновь сдвиньте объектив и так до тех пор, пока не найдете такое положение объектива, при котором изображение щели не смещается при поворотах объектива. В этом случае ось вращения проходит через узловую точку N_2 . Определите её положение относительно первой линзы объектива.
6. Разверните объектив на 180° и аналогичным образом определите положение узловой точки N_1 и первого главного фокуса. (Все расстояния лучше всего отмечать от какой-нибудь одной и той же точки объектива, например, первой линзы).
7. Схематически (см. рис.35) изобразите положение всех кардинальных точек системы на чертеже, отмечая расстояния от всех кардинальных точек до первой линзы.
8. Сравните между собой результаты, полученные обоими методами.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Ландсберг Г.С. Оптика.. 1976, §79. с.294-301.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. М.: 1980, §11. с. 74-85.
3. Савельев И. В. Курс Общей физики, т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. М.: Наука, 1988. §116. с. 336-343.
4. Физический практикум. Электричество и оптика (под ред. В.И. Ивероной.). М.: 1968. с.411-419.
5. Лабораторные занятия по физике (под ред. Гольдина Л.Л.). М.: 1983. с.301-392.

ВОПРОСЫ.

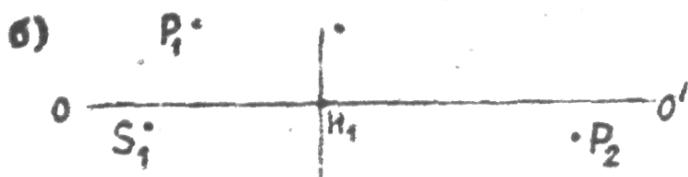
1. Почему при определении положения фокуса, параллельный пучок лучей, падающий на систему, должен быть по диаметру меньше диаметра линзы?
2. Почему при определении положения узловых точек повороты объектива в параллельных лучах должны быть небольшими? Что произойдет с изображением, если углы поворота будут большими? Проверьте.
3. Объясните, почему должно смещаться изображение при повороте объектива вокруг оси, не проходящей через второй узел?

4. Будет ли смещаться изображение, если ось вращения пройдет через первый фокус?
5. Решите задачу на построение:

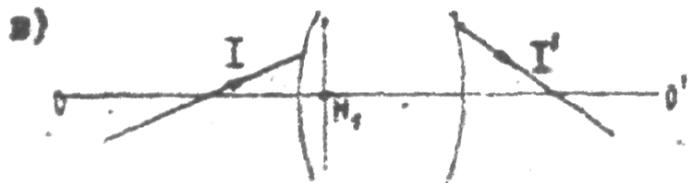
Оптическая система находится в воздухе. Пусть OO' - её оптическая ось, F_1 и F_2 - передний и задний фокусы, H_1 и H_2 - передняя и задняя главные плоскости, P_1 и P_2 - сопряженные точки. Найти построением:



положение F_2 и H_2 ;



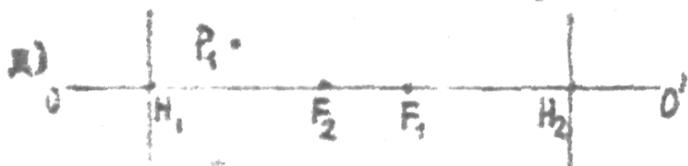
положение точки S_2 , сопряженной с S_1 ;



положение F_1 , F_2 и H_2 , если луч I' сопряжен с лучом I ;



положение P_2 ;



положение P_2 .