

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНЫХ РАССТОЯНИЙ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ И ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ЛИНЗЫ.

Оборудование: оптическая скамья с набором рейтеров, положительные и отрицательные линзы, экран, осветитель, зрительная труба.

ОПИСАНИЕ ЦЕЛЕЙ РАБОТЫ.

№	Конкретная цель	Критерий достижения цели
Теоретические знания		
1	Линза. Основные элементы линзы.	Студент четко определяет элементы линзы и может указать их на чертеже.
2	Ход лучей через линзу.	Студент по заданию преподавателя может построить изображение предмета в собирающей и рассеивающей линзе.
3	Формула тонкой линзы.	Студент умеет записать ее для указанных преподавателем случаев.
4	Аберрации линз.	Студент может назвать аберрации и указать их источники.
Практические умения.		
1	Умение отъюстировать установку.	
2	Определять положение действительного изображения.	
3	Произвести расчеты и определить погрешности измерения для каждого случая.	

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ.

В настоящей работе измеряются фокусные расстояния тонких положительных и отрицательных линз. Измерения выполняются на оптической скамье, вдоль которой могут перемещаться рейтеры с линзами, экранами и т.д. Перед началом измерений центры всех линз и других оптических элементов нужно установить на одной высоте и проследить за тем, чтобы оптические оси линз были параллельны ребру оптической скамьи. (отъюстировать установку).

Фокусное расстояние тонких линз можно определять различными способами. Как было выяснено, в "приближении тонкой линзы" считается, что обе главные плоскости совпадают и проходят через середину линзы. Отсчитывая положения фокуса, предмета и изображения от середины линзы, мы допускаем при определении величин a_1, a_2 и f ошибку порядка толщины стекла. Измерять фокусное расстояние тонкой линзы имеет, поэтому, смысл только с точностью до ее толщины. При необходимости получить более точные результаты приходится отбросить "при-

ближение тонкой линзы" и учитывать расстояние между главными плоскостями.

При измерениях расстояния наводка изображения на резкость производится на глаз. Чтобы уменьшить роль возникающих при этом неточностей измерения в каждом случае рекомендуется выполнять несколько раз, а результаты - усреднять.

Применяемые в работе линзы обладают заметной хроматической aberrацией (зависимостью фокусного расстояния от длины световой волны). Точность измерений существенно повышается при работе со светофильтром.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ТОНКОЙ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ЛИНЗЫ.

СПОСОБ 1. Фокусное расстояние тонкой положительной линзы можно определить, исходя из формулы линзы. Для этого достаточно измерить расстояние a_1 и a_2 , а затем вычислить f по формуле (1).

При измерениях на одном конце оптической скамьи устанавливают осветитель, в окне которого вставлено матовое стекло. Вплотную к осветителю помещается светофильтр, а рядом с ним - прозрачная сетка, играющая роль предмета. На другом конце оптической скамьи устанавливают экран. Между экраном и предметом помещают исследуемую линзу. Перемещая линзу вдоль скамьи, получают четкое изображение сетки на экране. Затем по линейке отсчитывают расстояние от центра линзы до сетки - a_1 , и от центра линзы до экрана - a_2 . По формуле линзы (1) определяют f .

При фиксированных положениях предмета и экрана измерения выполняются несколько раз. Затем изменяют расстояние между предметом и экраном, измеряют новые значения a_1 и a_2 и вновь вычисляют значение f . Очевидно, оно должно быть близко к первому значению. Таким же образом производят еще несколько измерений. Рекомендуется часть измерений выполнить при увеличенном, а часть - при уменьшенном изображении. Поскольку при теоретическом рассмотрении производились некоторые упрощения, полезно проверить совместность полученных результатов. Для этого можно, например, изобразить результаты на графике,

по осям которого отложены $\frac{1}{a_1}$ и $\frac{1}{a_2}$. Если результаты опыта могут быть описаны

формулой (1), то все точки должны лечь на прямую, отсекающую на осях отрезки, равные $\frac{1}{f}$. По графику (или непосредственно по результатам опыта) можно

найти среднее значение фокусного расстояния. Полезно по разбросу результатов опыта оценить случайную ошибку, возникающего при однократном измерении f указанным способом, и сравнить ее с толщиной линзы. Такое сравнение позволит сделать вывод о том, целесообразно ли для исключения случайной ошибки выполнять длинную серию измерений, или можно ограничиться однократным измерением.

СПОСОБ 2. При описанном выше методе оказывается существенный, чтобы указатель на рейтере линзы был расположен против ее середины. Опишем способ, при

котором положение указателя не сказывается на результате измерений.

Пусть расстояние L между предметом и экраном превышает $4f$. Нетрудно убедиться, что при этом всегда найдутся два таких положения линзы, при которых на экране получается отчетливые изображения предмета (в одном случае - уменьшенное, в другом - увеличенное) (см. рис.19).

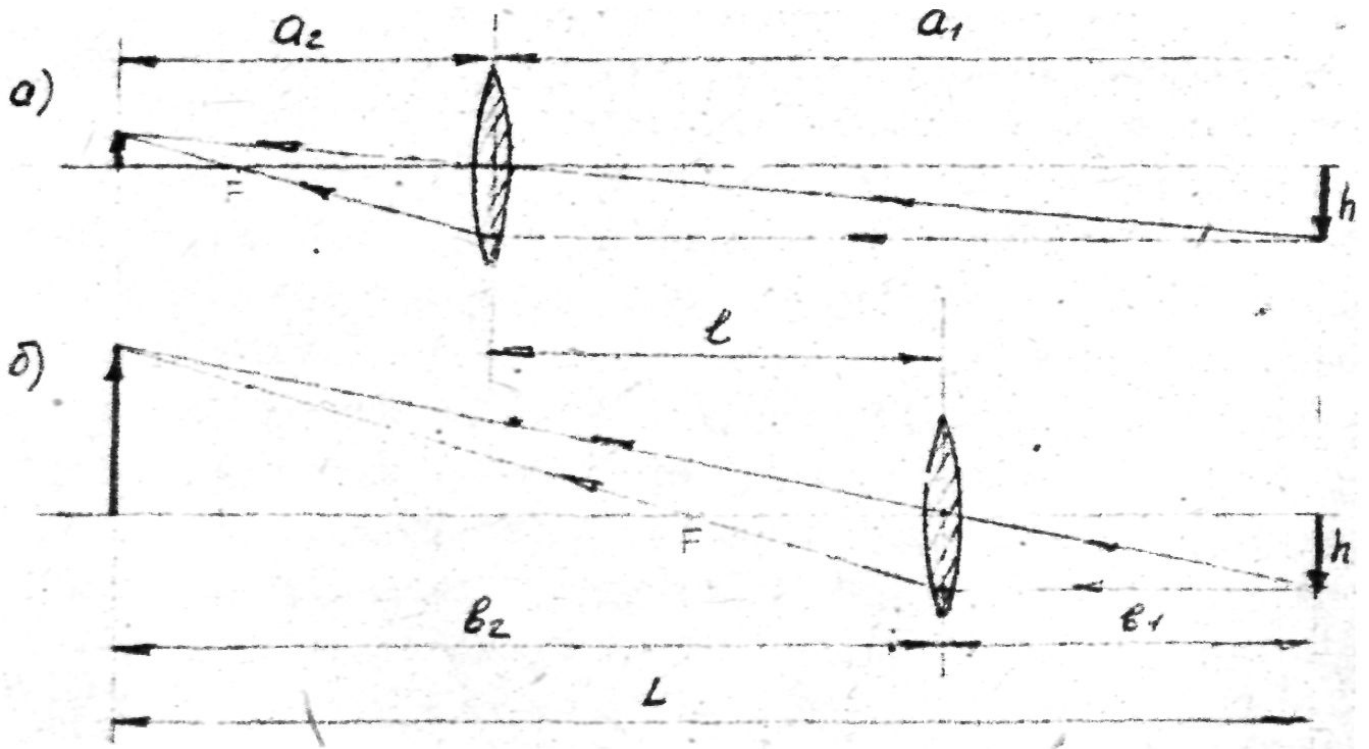


Рис.19.

Обозначим для одного случая расстояния предмета и изображения от линзы через a_1 и a_2 , в другой случае - \hat{a}_1 и \hat{a}_2 . Из соображений симметрии (поменяйте местами экран и предмет на рис.19) ясно, что $a_1 = \hat{a}_1$ и $a_2 = \hat{a}_2$. Обозначив расстояние между двумя положениями линзы через l , получим:

$L = a_1 + a_2 = \hat{a}_1 + \hat{a}_2$; $l = a_1 - a_2 = \hat{a}_2 - \hat{a}_1$. Отсюда:

$$a_1 = \hat{a}_2 = \frac{L-l}{2}, \quad a_2 = \hat{a}_1 = \frac{L+l}{2}. \quad (*)$$

Подставляя (*) в формулу линзы, после несложных преобразований найдем:

$$f = \frac{L^2 - l^2}{4L}. \quad (10)$$

Для определения фокусного расстояния достаточно, таким образом, измерить расстояние L между предметом и экраном и расстояние l между двумя положениями линзы, при которых на экране получаются четкие изображения.

Описанный, способ теоретически является наиболее точным. Действительно, обычно, измеряя расстояние до линзы, подразумевают под этим середину линзы, на самом деле расстояния следует отсчитывать от соответствующих главных плоскостей линзы, определение положения которых довольно затруднительно. В описываемом же способе эта погрешность исключается благодаря тому, что в нем

измеряется не расстояние между центрами линзы, а между двумя положениями рейтера, что определяется гораздо точнее.

Измерения следует производить с линзой, которая применялась в предыдущем опыте. Установив сетку и экран на расстоянии $L > 4f$, помещают между ними линзу и, передвигая ее, получают на экране отчетливое изображение сетки (например, увеличенное). Уточняют положение линзы и измеряют расстояние от сетки или экрана до края рейтера линзы. Затем передвигают линзу и получают второе отчетливое изображение (теперь уменьшенное). Уточнив установку линзы измеряют расстояние от сетки (экрана) до того же края рейтера линзы. Разность двух измерений есть величина l . Измерив расстояние L между сеткой и экраном вычисляют фокусное расстояние по формуле (10). Повторяя измерения f , изменяя расстояние L , несколько раз. Усреднив полученные значения f сравните его со значением, полученным для той же линзы по первому способу.

Проведите опыт. Последовательно сближайте экран и предмет. При этом окажется, что два положения линзы, дающие увеличенное и уменьшенное изображение, приближаются друг к другу и, наконец, совпадают при некотором определенном расстоянии между экраном и линзой. Тогда будет существовать только одно положение, при котором линза дает изображение на экране. В этом случае величина изображения равна величине предмета, т.к. $a_1 = a_2$. В формуле (10)

$l = 0, f = \frac{L}{4}$. Если линза тонкая, то расстояние от предмета до экрана равно $4f$.

Это обстоятельство дает возможность определить фокусное расстояние линзы. В этом случае за предмет лучше всего взять ряд вертикальных параллельных полос, находящихся на одинаковом расстоянии друг от друга. Измерения фокусного расстояния указанными способами можно проводить и по методу отсутствия параллакса.

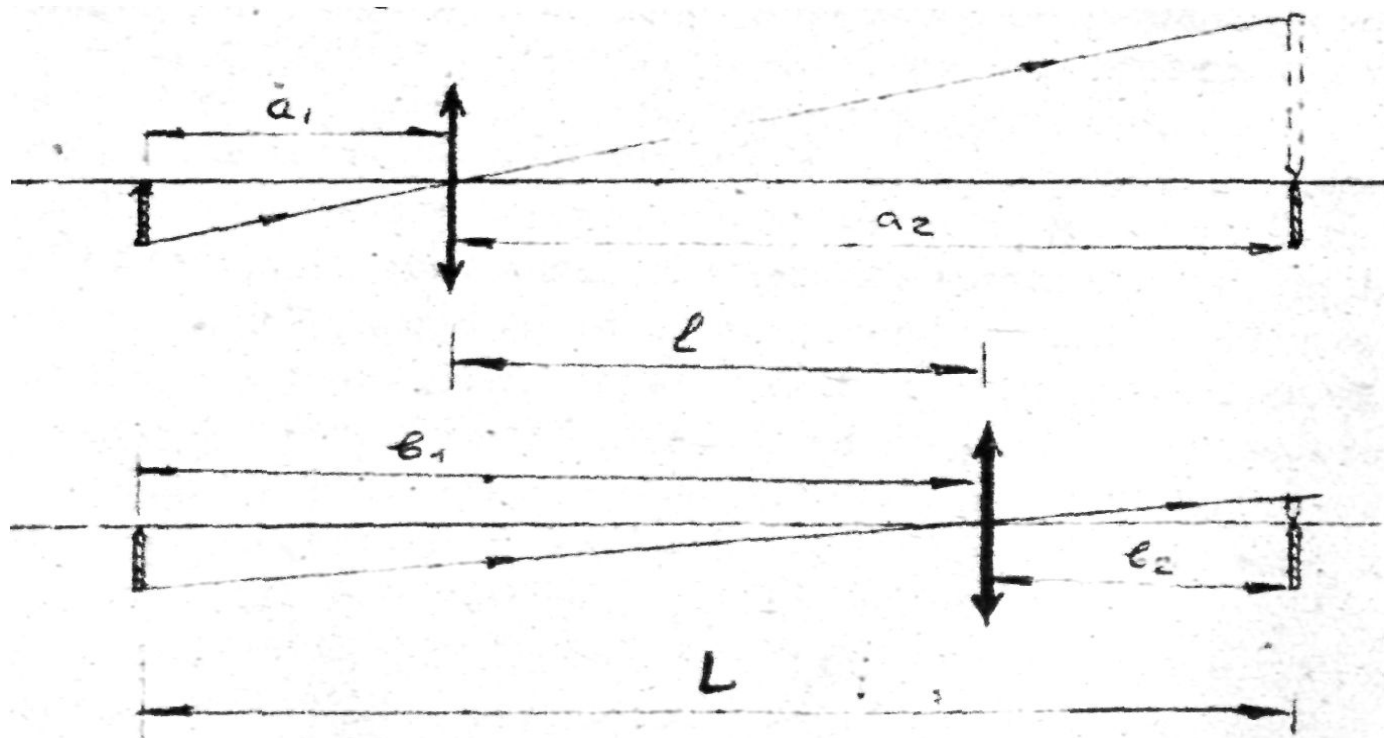


Рис.20.

Два острия и линзу располагают на одной прямой. Одно острие будет предметом. Второе острие перемещают таким образом, чтобы его вершина без параллакса совпала с увеличенным изображением первого острия в линзе, измеряют расстояния a_1 - от первого острия до центра линзы к a_2 - от линзы до второго острия и по формуле (1) определяют f . Не сдвигая острия, путем перемещения линзы, находят ее новое положение, при котором получается уменьшенное изображение второго острия. Измеряют расстояние \hat{a}_1, \hat{a}_2 и перемещение линзы l . По формулам (1) и (10) вычисляют главное фокусное расстояние собирающей линзы.

Опыт повторяют несколько раз, находят среднее арифметическое значение f и вычисляют погрешности результата. Найденное при усреднении результатов фокусное расстояние следует сравнить со значением, полученным для той же линзы при измерениях первым способом.

СПОСОБ 3. Фокусное расстояние тонкой положительной линзы можно определить с помощью зрительной трубы, установленной на бесконечность. Такую установку проще всего осуществить, наводя ее на достаточно удаленный предмет (например, на окно в конце длинного коридора). Затем устанавливают трубу на оптической скамье, а между ней и предметом помещают исследуемую линзу. Передвигая линзу, следует установить ее так, чтобы в окуляре трубы появилось отчетливое изображение предмета. Поскольку труба настроена на бесконечность и, следовательно, сфокусирована на параллельный пучок лучей, отчетливое изображение появляется при совмещении сетки с фокальной плоскостью линзы. Расстояние между предметом и серединой линзы равно для тонкой линзы фокусному расстоянию. В случае толстой линзы зрительная труба позволяет определить только положение главного фокуса. Опыт производится несколько раз: по результатам опыта определяется среднее значение фокусного расстояния и оценивается случайная ошибка измерений.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ТОНКОЙ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ЛИНЗЫ.

СПОСОБ 1. Определение фокусного расстояния отрицательной линзы затрудняется тем, что изображение предмета получается мнимым (при действительном источнике) и поэтому не может быть непосредственно промерено. Эту трудность легко обойти с помощью вспомогательной положительной линзы. В начале опыта на оптической скамье помещают положительную линзу и получают на экране действительное изображение предмета (сетки). Отмечают на скамье положение S_1 этого изображения. Затем на пути лучей, выходящих из положительной линзы, располагают исследуемую отрицательную линзу (рис.21). На нее падает пучок сходящихся лучей. Точка S_1 пересечения лучей по отношению к отрицательной линзе является мнимым источником.

Действительное изображение источника S переместится теперь в S_2 . Отмечая положения точки S_2 и отрицательной линзы, определяют расстояния a_1 и

a_2 , и по формуле (1) вычисляют фокусное расстояние отрицательной линзы. При вычислении нужно приписать расстояниям a_1 и a_2 правильные знаки.

Опыт проводят несколько раз при различных значениях a_1 и a_2 . Результаты опыта следует изобразить на графике в координатах $\frac{1}{a_1}$ и $\frac{1}{a_2}$ и убедиться в совместности результатов. Фокусное расстояние линзы рассчитывается по графику или непосредственно из результатов измерений.

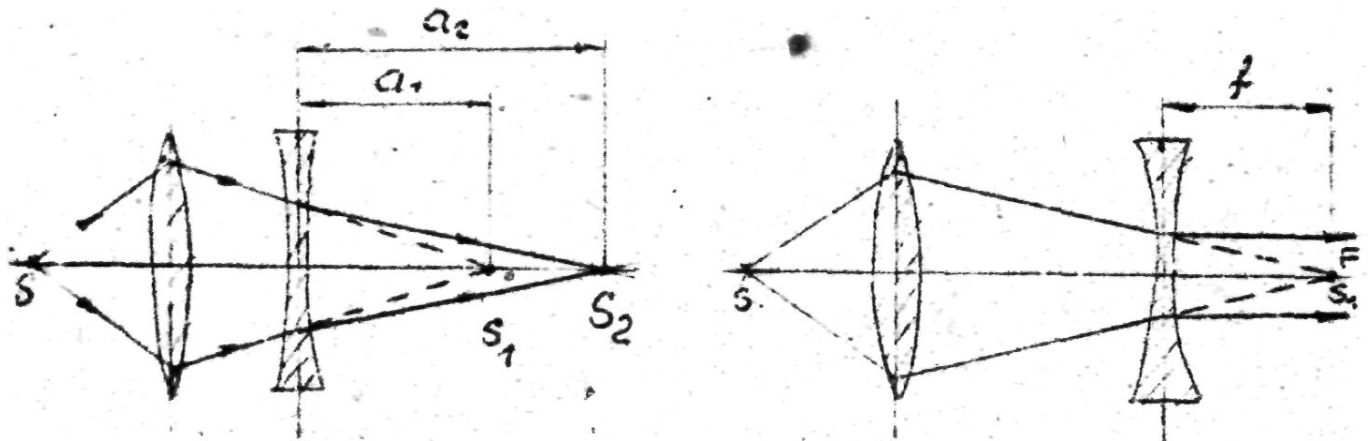


Рис.21.

СПОСОБ 2. Если мнимый источник S_1 (рис.21) совпадает с передним фокусом отрицательной линзы, то изображение S_2 перемещается в бесконечность, т. е. лучи выходят из линзы параллельным пучком. Параллельность пучка можно установить с помощью зрительной трубы, настроенной на бесконечность. Зная положения фокуса и линзы, нетрудно определить фокусное расстояние, если линза тонкая. В случае толстой отрицательной линзы описанный метод позволяет определить только положение фокуса.

Для проведения измерений на оптической скамье последовательно размещают осветитель, предмет (сетку), собирающую линзу и экран, получают на нем отчетливое изображение сетки. Отметив это положение, сдвигают экран и вновь его перемещают, добиваясь отчетливого изображения. Таких установок делают не менее 5-ти и берут среднее арифметическое значение. Это даёт положение точки S_1 (рис.21).

Убирают экран и помещают исследуемую рассеивающую линзу между собирающей линзой и точкой S_1 . За рассеивающей линзой помещают зрительную трубу, установленную предварительно на бесконечность. Параллельный пучок лучей, попадающих в трубу, установленную на бесконечность, собирается вблизи фокальной плоскости окуляра. Перемещая рассеивающую линзу между точкой S_1 и собирающей линзой, добиваются того, чтобы в трубе наблюдалось отчетливое изображение сетки. Установку линзы повторяют несколько раз и вновь берут среднее значение. Расстояние между точкой S_1 и найденным положением линзы и дает её фокусное расстояние.

СПОСОБ 3. Фокусное расстояние рассеивающей линзы можно определять и методом параллельных лучей. Основа метода состоит в том, что если на рассеивающую линзу направить пучок параллельных лучей, то вследствие рассеивания их после линзы мы получим расходящийся пучок (рис.22). Продолжения расходящихся лучей должны сойтись в фокусе линзы, поэтому из подобия треугольников (рис.22) получим: $f : d = (f + l) : D$, откуда найдем искомое фокусное расстояние рассеивающей линзы:

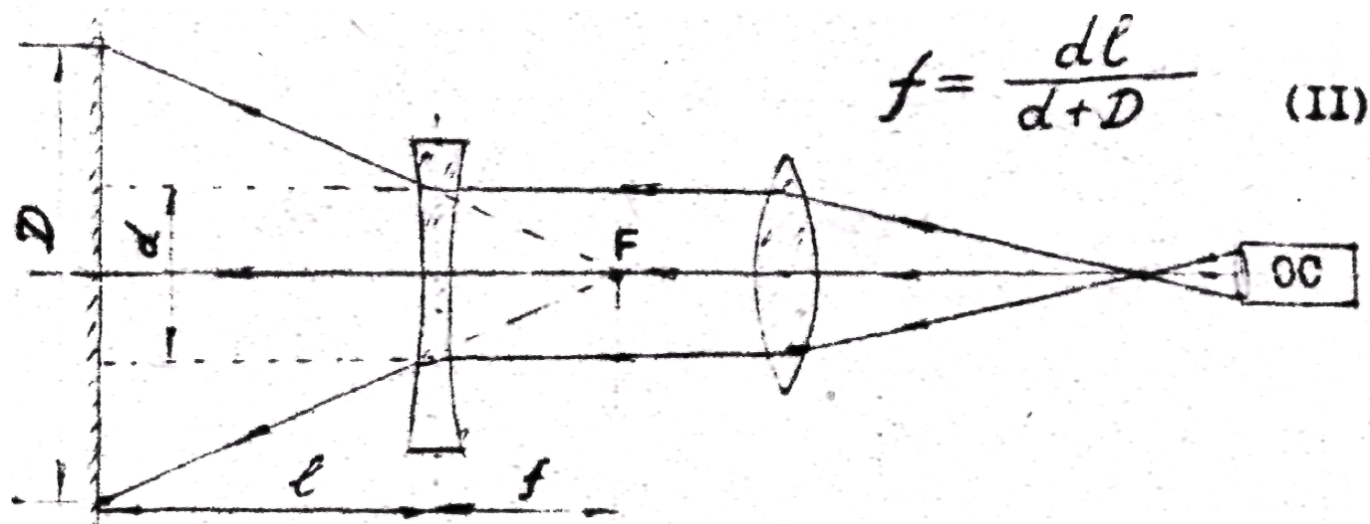


Рис.22.

Если установить линзу так, чтобы $D=2d$, то $f=l$, то есть искомое фокусное расстояние непосредственно отсчитывается по линейке.

Необходимый пучок параллельных лучей можно получить, если поместить точечный источник света в фокусе собирающей линзы.

Точечный источник света можно смоделировать следующим образом:

А) использовать маленькую лампочку. К сожалению, она обычно дает мало света;

Б) можно использовать более мощную лампу (осветитель ОС) и с помощью собирающей линзы сфокусировать её излучение в "точку", которая будет играть роль точечного источника (рис.22).

Получив параллельный пучок лучей, надо проверить его параллельность. Для этого на экране укрепляют лист бумаги с миллиметровыми делениями (можно и в клеточку). Сечение пучка должно не быть меньше отверстия линзы. Помещая экран в разных местах поперек пучка лучей, сравнивают величину его поперечного сечения. Если она остается постоянной, значит лучи параллельны.

Измерения проводятся в следующем порядке:

- 1) Получают параллельный пучок лучей и проверяют его на параллельность;
- 2) Экран закрепляют на расстоянии $30 \div 50$ см от собирающей линзы и измеряют диаметр светового пятна;
- 3) Между экраном и собирающей линзой устанавливается исследуемая рассеивающая линза. Измеряют диаметр увеличившегося светлого пятна. Диаметр линзы должен быть больше диаметра светлого пятна.
- 4) Измеряют расстояние l от рассеивающей линзы до экрана и определяют фокусное расстояние по формуле (11);
- 5) Сдвигая рассеивающую линзу относительно экрана и повторив измерения D и

l вычисляют f . Таких измерений делают от 3 до 5, находят среднее значение и погрешность измерений f

ЗАДАНИЯ

1. Определите фокусное расстояние собирающей линзы:
 - а) исходя из формулы линзы (способ 1);
 - б) методом перемещений (способ 2);
 - в) по методу отсутствия параллакса;
 - г) с помощью зрительной трубы.
2. Определите фокусное расстояние рассеивающей линзы:
 - а) с помощью собирающей линзы;
 - б) с помощью зрительной трубы;
 - в) по методу параллельных лучей.
3. Сложите вместе (поставьте рядом) собирающую и рассеивающую линзы и определите положение фокусов этой системы.
4. Предложите свой метод определения фокусного расстояния собирающей или рассеивающей линз.
5. Решите задачу на построение (по выбору преподавателя).