

104. ИЗУЧЕНИЕ ТОНКИХ ЛИНЗ.

Цель работы: освоить методы определения фокусных расстояний собирающих и рассеивающих тонких линз.

Решаемые задачи:

- приобрести навыки юстировки центрированных оптических систем;
- освоить методы измерения фокусных расстояний собирающих и рассеивающих линз;
- проанализировать зависимость вида изображения от положения предмета относительно фокуса линзы.

Оптические элементы и аппаратура:

- ✓ Малый оптический рельс на подставке;
- ✓ осветитель в корпусе и блок питания;
- ✓ линза-конденсор с держателем диафрагмы (они закреплены на корпусе осветителя);
- ✓ экран;
- ✓ три собирающих линзы с фокусными расстояниями $f = 50$ мм, 100 мм, 150 мм;
- ✓ рассеивающая линза с фокусным расстоянием $f = -100$ мм;
- ✓ диафрагма в виде стрелки;
- ✓ рулетка длиной 2 м.

На рисунках и изображен ход лучей в тонкой собирающей и рассеивающей линзах, находящихся в воздухе. Ось X на рисунках называется главной оптической осью: она перпендикулярна плоскости тонкой линзы и проходит через её центр O.

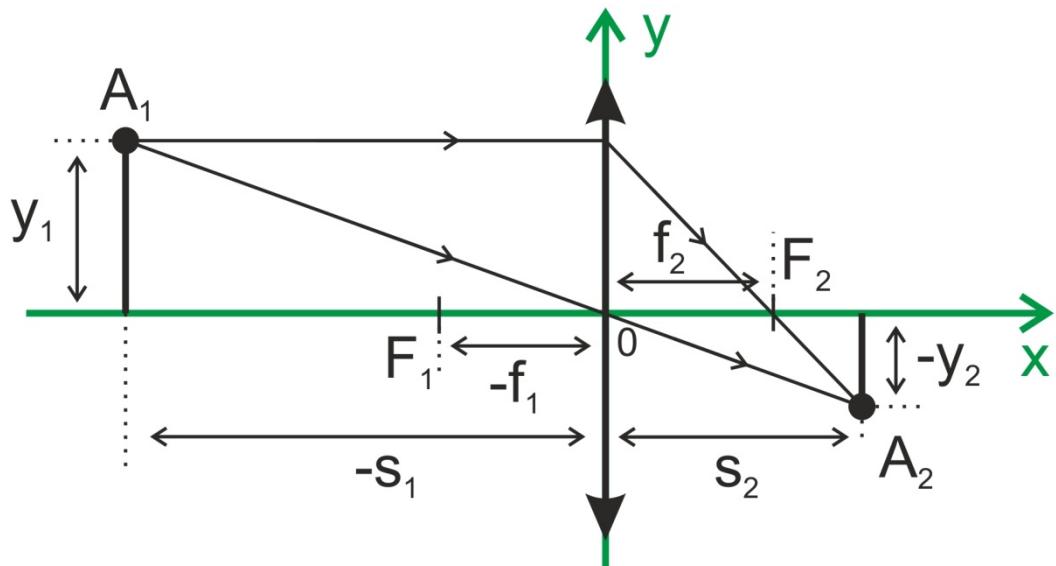


Рис. 1 Ход лучей в тонкой собирающей линзе

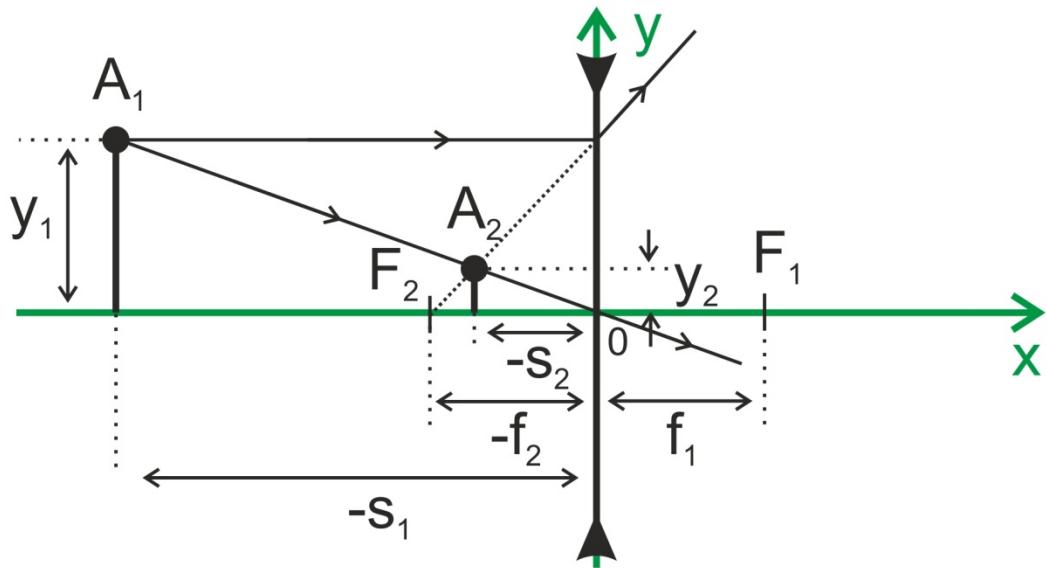


Рис. 2 Ход лучей в тонкой рассеивающей линзе

Пусть на линзу падает пучок лучей, параллельных главной оптической оси. Точка пересечения таких лучей (или их продолжений) на выходе из линзы называется задним фокусом F_2 . Для собирающей линзы задний фокус находится правее линзы, следовательно, по «правилу знаков» фокусное расстояние f_2 считается положительным. Для рассеивающей линзы, поскольку задний фокус левее линзы, фокусное расстояние f_2 считается отрицательным. Точка F_1 называется передним фокусом. Расстояние от предмета до линзы обозначается s_1 , а расстояние от изображения до линзы обозначается s_2 . Согласно правилу знаков

расстояния, отсчитываемые от линзы влево считаются отрицательными, а вправо - положительными. На s_1 и s_2 указываются *длины* отрезков, которые являются положительными величинами, поэтому перед отрицательными величинами поставлен знак минус.

Связь между величинами s_1, s_2, f_1, f_2 задается формулой тонкой линзы:

$$\frac{1}{s_2} - \frac{1}{s_1} = \Phi \quad (1)$$

где Φ – оптическая сила линзы.

Если с двух сторон линзы находится воздух, то Φ равно:

$$\Phi = \frac{1}{f_2} = -\frac{1}{f_1} \quad (2)$$

Для собирающей линзы $\Phi > 0$, для рассеивающей $\Phi < 0$.

Отношение

$$\beta = \frac{y_2}{y_1} \quad (3)$$

называется поперечным увеличением. $\beta > 0$ при прямом изображении, $\beta < 0$ при перевёрнутом. Увеличение можно рассчитать по формулам:

$$\beta = 1 - \frac{s_2}{f_2}, \beta = \frac{f_1}{f_1 - s_1} \quad (4)$$

Упражнение 1. Определение фокусного расстояния тонкой собирающей линзы.

Порядок выполнения упражнения:

1. На оптической скамье расположите осветитель, собирающую линзу ($f = 150$ мм) и экран (Рис. 3).

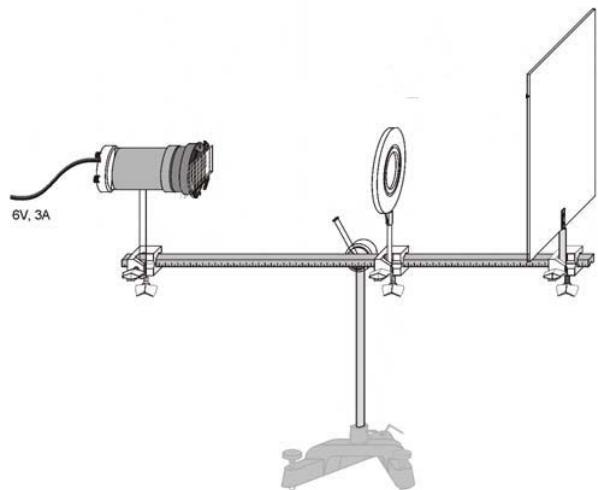


Рис. 3. Экспериментальная установка для определения фокусного расстояния собирающей линзы.

2. Вставьте в держатель линзы-конденсора объект - диафрагму в виде стрелки.
3. Включите осветитель в сеть.
4. Переместите экран на конец рельса.
5. Перемещая исследуемую линзу между экраном и предметом, добейтесь на экране четкого изображения стрелки.
6. Измерьте расстояния $(-s_1)$ и s_2 . Напомним, что согласно правилу знаков величина $(-s_1)$ в данном случае положительная.
7. Уменьшите расстояние между предметом и экраном на 3 – 4 см. Передвигая линзу, добейтесь резкого изображения стрелки. Измерьте расстояния $(-s_1)$ и s_2 .
8. Повторите п.7 для 4-5 расстояний между предметом и экраном.
9. Постройте график, откладывая по осям координат величины $x = \frac{1}{(-s_1)}$ и $y = \frac{1}{s_2}$
10. Определите по графику оптическую силу и фокусное расстояние линзы (согласно формуле (1) ордината точки пересечения графика с осью Y равна оптической силе Φ).

Упражнение 2. Определение фокусного расстояния собирающей линзы методом Бесселя.

Если между предметом и экраном расстояние больше $4f$, то находят два положения линзы, одно из которых соответствует увеличенному, другое –

уменьшенному изображениям (Рис. 4). Расстояние между объектом и экраном L остается неизменным.

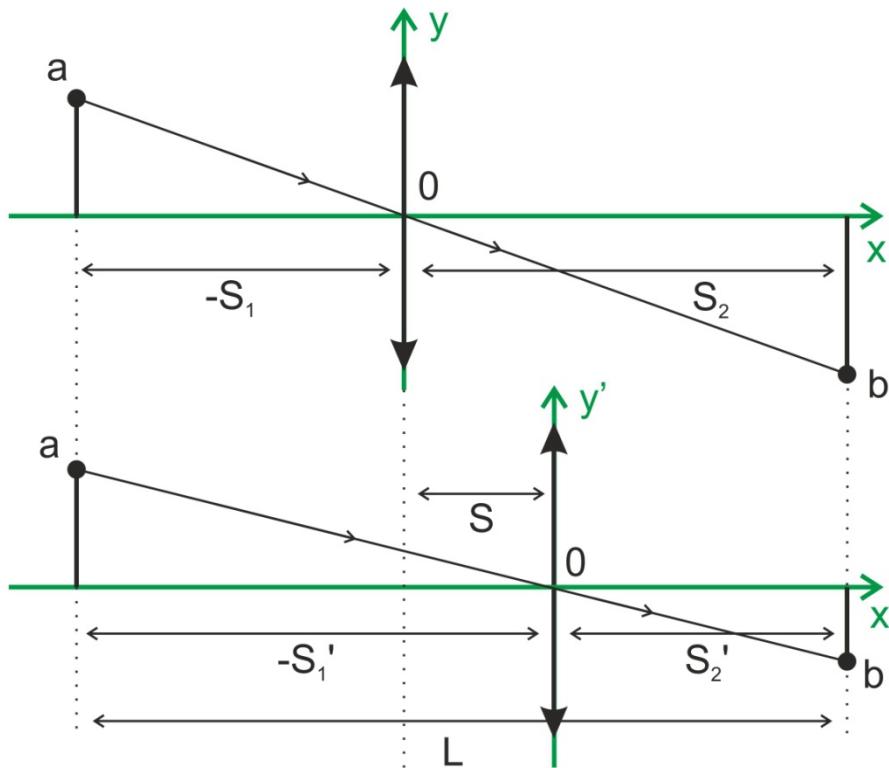


Рис. 4. К определению фокусного расстояния тонкой собирающей линзы методом Бесселя.

Обозначив $S = (-s'_1) - (-s_1) = s_2 - s'_2$ и $L = (-s_1) + s_2 = (-s'_1) + s'_2$, с учетом формулы (1) получим формулу Бесселя для определения фокусного расстояния:

$$f = \frac{L^2 - S^2}{4L} \quad (5)$$

Порядок выполнения упражнения:

1. Установите осветитель у края оптического рельса. Вставьте в держатель линзы-конденсора диафрагму в виде стрелки (объект).
2. Расположите экран на расстоянии около $L = 50$ см от объекта.
3. Линзу с $f = 100$ мм установите между объектом и экраном, ближе к объекту. (Рис. 5)

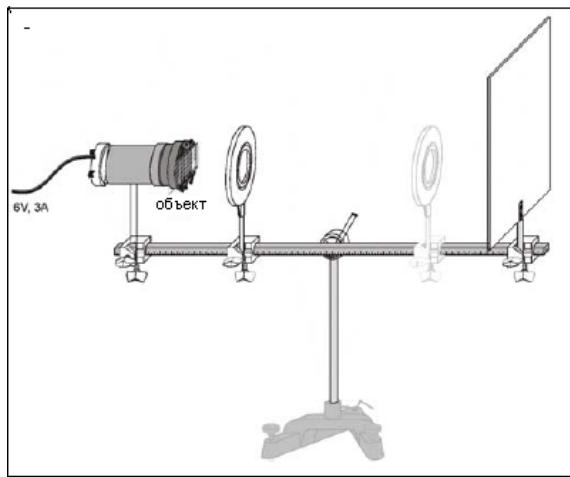


Рис. 5. Экспериментальная установка для определения фокусного расстояния линзы методом Бесселя

4. Перемещая линзу, получите на экране резкое увеличенное изображение стрелки. Измерьте расстояние s_2 между линзой и экраном.
5. Сдвиньте линзу по направлению к экрану и получите четкое уменьшенное изображение стрелки. Измерьте расстояние s'_2 между линзой и экраном.
6. Определите $S = s_2 - s'_2$ и по формуле (6) рассчитайте фокусное расстояние линзы.

Упражнение 3. Определение фокусного расстояния собирающей линзы автоколлимационным методом.

Автоколлимационный метод основан на обратимости хода световых лучей, идущих параллельно оптической оси. Если объект поместить в фокусе линзы, то после линзы будет распространяться пучок света параллельный оптической оси. Стоящее позади линзы плоское зеркало будет отражать этот свет таким образом, что изображение объекта будет наблюдаться рядом с объектом (Рис. 6). При этом расстояние $|s_2|$ между линзой и изображением будет равно f – фокусному расстоянию линзы.

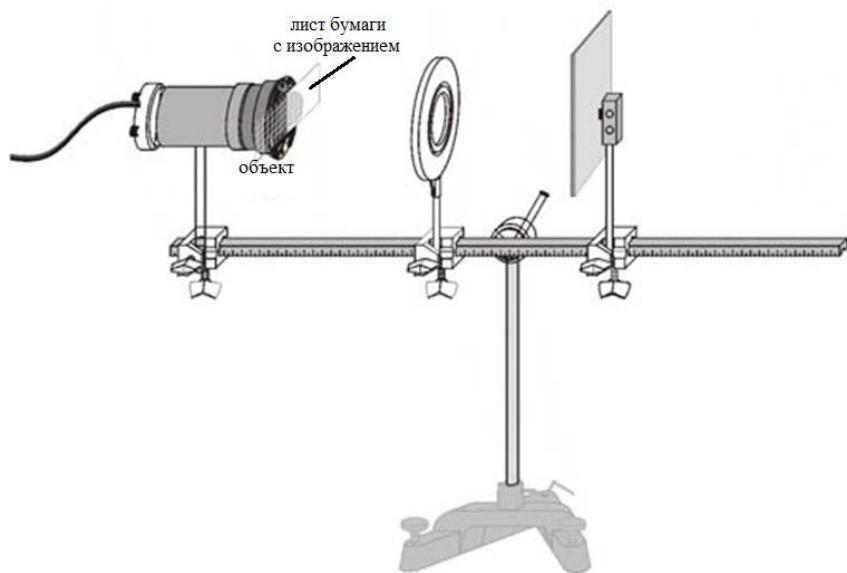


Рис. 6. Экспериментальная установка для определения фокусного расстояния линзы автоколлимационным методом

Порядок выполнения упражнения:

1. Установите осветитель на оптический рельс, как показано на рисунке . На расстоянии около 15 см от осветителя установите линзу $f = +150$ мм таким образом, чтобы свет проходил через линзу вдоль оптической оси. Вставьте в держатель осветителя объект - диафрагму в виде стрелки.
2. Установите зеркало позади линзы. Расстояние между линзой и зеркалом может выбрано меньше фокусного расстояния.
3. Пронаблюдайте появление изображения на плоскости диафрагмы. Подстраивайте положение линзы до тех пор, пока изображение стрелки на диафрагме не станет четким. Возможно, понадобится подстраивать положения зеркала и линзы до тех пор, пока изображение не станет одного размера с оригиналом.
4. Измерьте расстояние $|s_2|$ между линзой и объектом.
5. Определите фокусное расстояние линзы и укажите доверительный интервал.

Упражнение 4. Определение фокусного расстояния тонкой рассеивающей линзы.

Фокусное расстояние отрицательной линзы определяется с помощью вспомогательной положительной линзы.

Если на пути лучей, выходящих из источника S и сходящихся в точке (a) после преломления в собирающей линзе 1 (Рис. 7) поместить рассеивающую линзу 2 так, чтобы расстояние s_1 было меньше ее фокусного расстояния, то изображение источника S удалится от линзы 1. Предположим, что оно переместится в точку b. Для рассеивающей линзы 2 точка (a) является предметом, а b – изображением.

Тогда, согласно формуле (1) можно найти координату заднего фокуса рассеивающей линзы:

$$f_2 = \frac{s_1 s_2}{s_1 - s_2} . \quad (6)$$

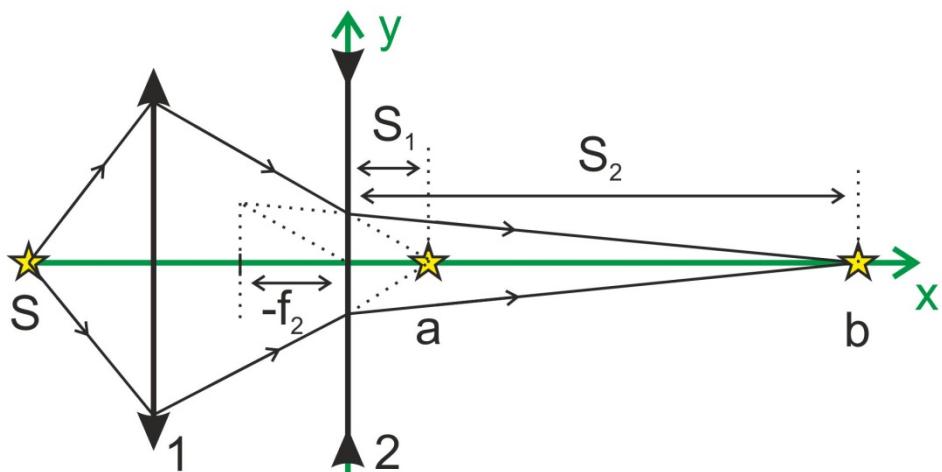


Рис. 7. К определению фокусного расстояния рассеивающей линзы

Порядок выполнения упражнения:

1. На оптической скамье расположите осветитель, собирающую линзу с $f = 100$ мм и экран, как показано на Рис. 3.
2. Вставьте в держатель осветителя объект - диафрагму в виде стрелки.
3. Поместите собирающую линзу на расстояние ~ 25 см от объекта и, перемещая экран, получите на нем резкое уменьшенное изображение стрелки. Отметьте это положение экрана (точка a).
4. На оптическую скамью между собирающей линзой и экраном поместите исследуемую рассеивающую линзу.
5. Перемещая экран, вновь найдите отчетливое изображение стрелки (точка b).

6. Поместив начало координат в точку расположения рассеивающей линзы, найдите s_1 и s_2 (Рис. 7). По формуле (7) вычислите фокус рассеивающей линзы.

Упражнение 5. Определение фокусных расстояний собирающей и рассеивающей линз с помощью параллельных пучков света (демонстрационное упражнение).

1. Установите источник света с линзой-конденсором и экран на оптический рельс, как показано на Рис. 8. Линзу пока не устанавливайте.

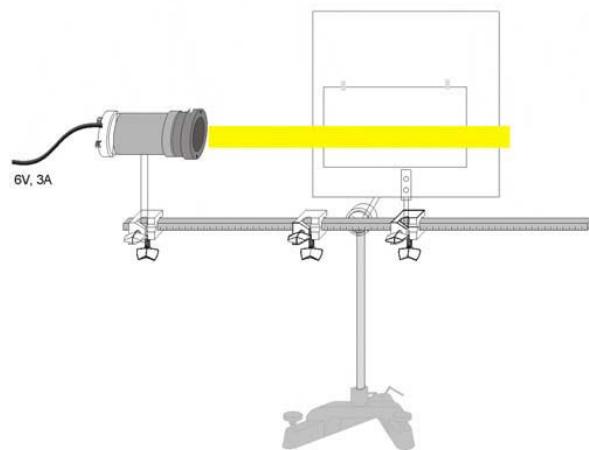


Рис. 8. Исходная экспериментальная установка

2. Создайте параллельный пучок света, направленный вдоль оптической оси. Для этого перемещая лампу относительно линзы-конденсора, получите четкое изображение спирали лампы или кристалла светодиода на удалённой плоскости, например на стене.

3. Закрепите на экране лист белой бумаги. Убедитесь, что сформировался параллельный пучок света (Рис. 8).

4. Установите перед экраном линзу с фокусным расстоянием $f = 100$ мм.

5. Отметьте точку пересечения лучей преломленного пучка, вышедшего из линзы (Рис. 9), и измерьте фокусное расстояние линзы.

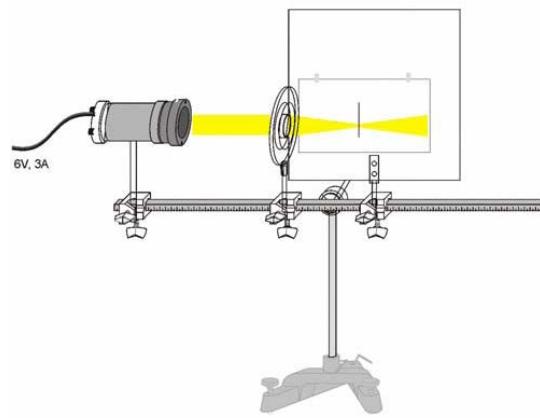


Рис. 9. Экспериментальная установка для определения фокусных расстояний собирающих линз с помощью параллельных пучков

6. Для определения фокусного расстояния рассеивающей линзы, сложите лист белой бумаги вдвое и закрепите на экран таким образом, чтобы изгиб совпадал с краем экрана вблизи линзы (Рис. 10).
7. Установите линзу $f = -100\text{мм}$ в зажиме перед экраном.
8. Зарисуйте на бумаге форму преломленного пучка света, проведя линии вдоль границы освещенной области (Рис. 10).
9. Снимите лист бумаги, разверните его и продолжите полученные линии до пересечения. Определите по чертежу фокусное расстояние линзы, как показано на Рис. 10.

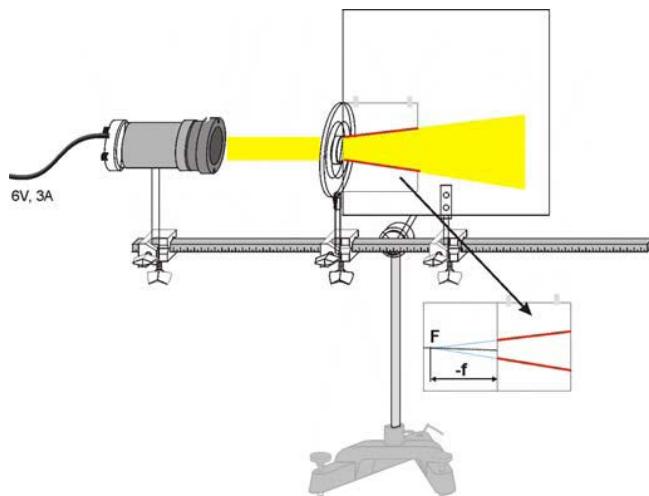


Рис. 10. Экспериментальная установка для определения фокусного расстояния рассеивающей линзы с помощью параллельных пучков

Упражнение 6. Определение поперечного увеличения собирающей линзы и размера светящегося объекта.

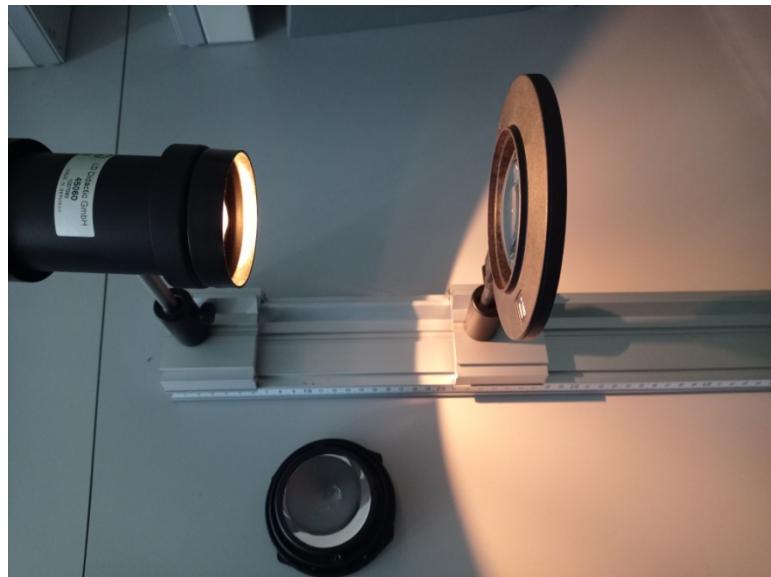


Рис. 11. Экспериментальная установка для определения поперечного увеличения собирающей линзы и определения размера светящейся спирали.

- 1) Установите штатив с осветителем на оптической скамье.
- 2) Снимите с осветителя линзу-конденсор.
- 3) Установите собирающую линзу с $f = 150$ мм на расстоянии фокусного расстояния перед осветителем.
- 4) Перемещая линзу, получите на удалённом экране (например, на стене) четкое изображение светящегося объекта (спирали лампы или кристалла светодиода).
- 5) Измерьте расстояние от линзы до изображения s_2 .
- 6) Измерьте поперечный размер изображения y_2 .
- 7) Используя формулы (3) и (4), рассчитайте увеличение β и поперечный размер светящегося объекта y_1 .

Контрольные вопросы:

1. Центрированная оптическая система (ЦОС)
2. Кардинальные элементы ЦОС. Построение изображений в ЦОС.
3. Тонкая линза. Оптическая сила линзы.
4. Методы определения фокусных расстояний собирающих и рассеивающих линз.

Составители:

А.И.Фишман, Д.С.Ирисов

март, 2023 г.