

В этой задаче требуется оценка погрешностей!

Задание

- Нарисуйте тонкую собирающую линзу. Изобразите точечный источник света на расстоянии a больше, чем фокусное расстояние F линзы. Постройте изображение этого источника. Выведите формулу, связывающую величину $\frac{1}{a}$, обратную расстоянию между источником и линзой, величину $\frac{1}{b}$, обратную расстоянию b между изображением и линзой, и величину $\frac{1}{F}$, обратную фокусному расстоянию линзы. Полученное выражение в дальнейшем будем называть формулой тонкой линзы.
- Соберите установку для измерения фокусного расстояния линзы. Для этого Вам необходимо измерить зависимость расстояния a между светодиподом (его можно считать точечным источником света) и линзой от расстояния b между линзой и четким изображением светодипода на экране. Используя формулу тонкой линзы, рассчитайте фокусное расстояние линзы. Оцените погрешность измеренного значения.
- Зажмите в лапке штатива линейку. На дно мензурки поместите светодипод. Задействуйте в мензурку неизвестную жидкость так, чтобы светодипод был полностью погружен. Расположите линзу непосредственно над торцышком мензурки. Измерьте зависимость расстояния между линзой и четким изображением светодипода от высоты столба жидкости в мензурке.
- Столб неизвестной жидкости создает промежуточное минимое изображение светодипода, которое, после прохождения лучами линзы, преобразуется в действительное изображение на экране. Используя данные, полученные в пунктах 2 и 3, рассчитайте зависимость расстояния между линзой и минимальным изображением светодипода от высоты столба жидкости в мензурке. Постройте график этой зависимости. Найдите его угловой коэффициент.
- Используя данные, полученные в пункте 4, рассчитайте показатель преломления неизвестной жидкости. Укажите расчетную формулу и оцените погрешность ответа.

Оборудование. Штатив, линза, светодипод, соединительные провода с зажимами «крокодил», батарейки, 2 линейки, стакан с неизвестной жидкостью, мензурка, маленькие листы бумаги.

Решение

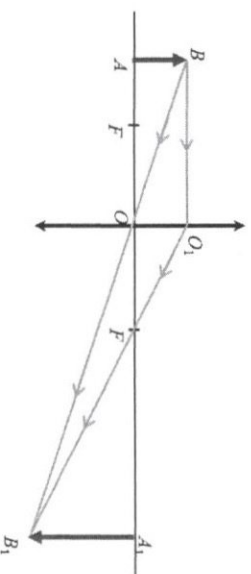


Рис. 1. Построение изображения в линзе

- Из подобия треугольников ABO , A_1B_1O , OO_1F и A_1B_1F (см. рисунок 1) несложно получить, что:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}, \quad (1)$$

где $F = OF$ — фокусное расстояние линзы, $a = AO$ — расстояние между линзой и источником, $b = BO$ — расстояние между линзой и изображением.

- Снимем зависимость расстояния между концом прозрачной части светодипода и линзой от расстояния между линзой и четким изображением светодипода. Изображение светодипода будем искать с помощью белой бумаги, используя ее как экран.

a , см	b , см	F , см
20.0	44.5	13.80
30.0	25.7	13.84
25.0	30.0	13.64
35.0	22.9	13.84
40.0	21.0	13.77

Усредним, полученные для фокуса линзы значения:

$$F = 13.78 \pm 0.06 \text{ см} \quad (2)$$

- Соберем установку, изображенную на рисунке 2. Снимем зависимость расстояния между линзой и изображением светодипода от высоты уровня жидкости в мензурке.

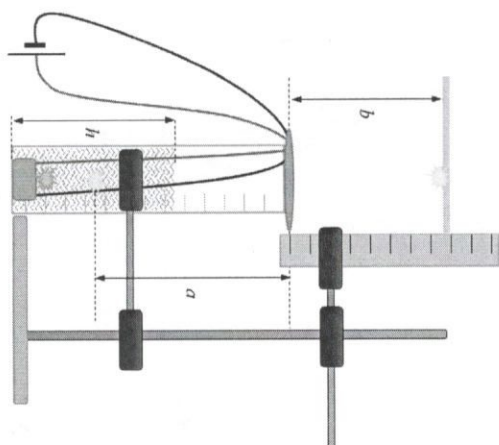


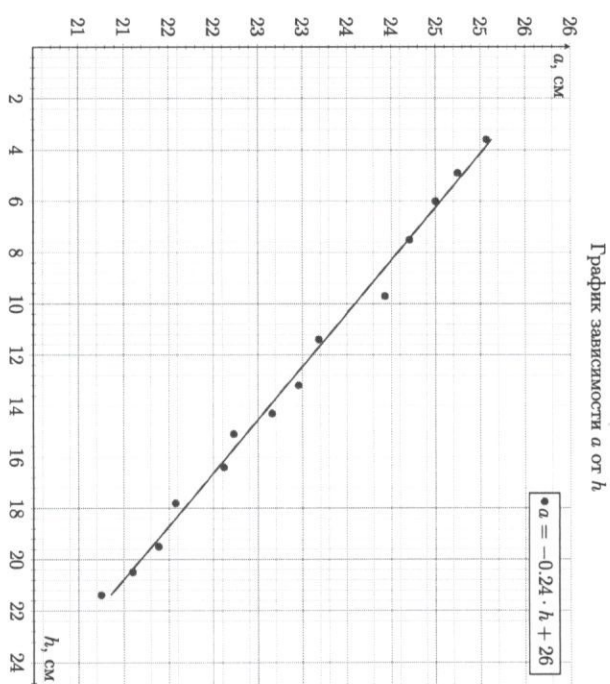
Рис. 2. Установка для определения коэффициента преломления неизвестной жидкости

h , см	b , см	a , см
3.6	30.7	25.1
4.9	31.2	24.7
6.0	31.6	24.5
7.5	32.1	24.2
9.7	32.6	23.9
11.4	34.1	23.2
13.2	34.6	23.0
14.3	35.3	22.7
15.1	36.4	22.2
16.4	36.7	22.1
17.8	38.3	21.6
19.5	38.9	21.4
20.5	39.9	21.1
21.4	41.2	20.8

4. С помощью формулы тонкой линзы рассчитаем расстояние между линзой и минимым изображением светодиода в толще воды, которое является источником для формирования изображения в линзе.

$$a = \frac{bF}{b - F}. \quad (3)$$

И построим график зависимости $a(h)$.



Определим модуль углового коэффициента графика:

$$\gamma = 0.240 \pm 0.006 \quad (4)$$

5. Модуль углового коэффициента графика связан с показателем преломления вещества, которое несложно вывести из законов геометрической оптики. Нарисуем ход лучей от точечного источника, находящегося под поверхностью жидкости (рисунок 3. Будем рассматривать только лучи, имеющие малый угол отклонения от перпендикуляра к поверхности жидкости. Для таких лучей углы падения и преломления малы, поэтому можно пользоваться приближением равенства угла падения или преломления в радианах синусу и тангенсу соответствующего угла.

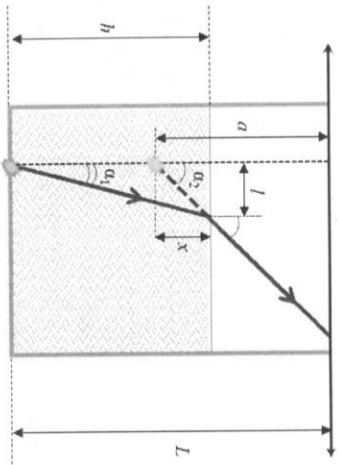


Рис. 3. Ход лучей выходящих из точечного источника, находящегося под под поверхностью жидкости.

Запишем исходную систему уравнений связи для геометрических величин, указанных на рисунке.

$$\begin{aligned} \lg \alpha_1 &= \frac{l}{h}, & \lg \alpha_2 &= \frac{l}{x}, \\ \sin \alpha_1 \cdot n &= \sin \alpha_2. \end{aligned} \quad (5)$$

В силу малости углов:

$$\begin{aligned} \sin \alpha &\approx \lg \alpha, \\ nl/h &= l/x, \\ x &= h/n. \end{aligned} \quad (6)$$

Тогда:

$$a = L - H + x = L - \left(h - \frac{h}{n}\right) = L - \frac{n-1}{n}h. \quad (7)$$

Откуда для углового коэффициента графика получаем:

$$\gamma = \frac{n-1}{n}. \quad (8)$$

И окончательно для углового коэффициента:

$$n = \frac{1}{1-\gamma} = 1.32 \pm 0.01. \quad (9)$$