

Условие

Задание 11-2. Линзы и лазер

Оборудование: собирающая и рассеивающая линзы на держателях, экран на держателе, лазер на держателе, источник питания для лазера, мерная лента, линейка (30 – 40см), транспортир.

Внимание!!! Лазер включайте только на время измерений. При длительном включении лазер может перегореть.*

Часть 1. Рассеивающая линза и лазер

1.1 Расположите вдоль одной прямой лазер, рассеивающую линзу и экран. Включите лазер, пронаблюдайте образование освещённого пятна на экране. Сделайте схематический рисунок экспериментальной установки с указанием хода лучей и обозначением необходимых физических величин. Получите уравнение зависимости $D(l_1)$: D – линейный размер освещённого пятна на экране, l_1 – расстояние между рассеивающей линзой и экраном. Используйте так же следующие обозначения: F_p – фокусное расстояние рассеивающей линзы, δ – диаметр поперечного сечения лазерного луча.

1.2 Исследуйте зависимость $D(l_1)$ экспериментально. Результаты эксперимента представьте таблично и графиком линеаризованной зависимости.

1.3 По экспериментальным данным определите диаметр поперечного сечения лазерного луча δ , и фокусное расстояние рассеивающей линзы F_p . Результаты запишите в виде: $F_p = \langle F_p \rangle \pm \Delta F_p$, $\delta = \langle \delta \rangle \pm \Delta \delta$.

Часть 2. Две линзы и лазер

2.1 Расположите вдоль одной прямой лазер, рассеивающую и собирающую линзы (на некотором расстоянии друг от друга) и экран. Включите лазер, получите освещённое пятно на экране наименьшего диаметра. Сделайте схематический рисунок экспериментальной установки с указанием хода лучей и обозначением необходимых физических величин. Получите уравнение зависимости $f_1(l_2)$: f_1 – расстояния между собирающей линзой и экраном, l_2 – расстояния между рассеивающей и собирающей линзой. Используйте так же следующие обозначения: F_c – фокусное расстояние собирающей линзы, F_p – фокусное расстояние рассеивающей линзы. *Подсказка: уравнение может быть получено в неявном виде. Для собирающей линзы справедливо уравнение $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$, где F - фокусное расстояние, d - расстояние от предмета до линзы, f - расстояние от изображения до линзы.*

2.2 Исследуйте зависимость $f_1(l_2)$ экспериментально. Результаты эксперимента представьте таблично и графиком линеаризованной зависимости.

2.3 По результатам эксперимента определите фокусное расстояние собирающей линзы F_c . Результаты запишите в виде: $F_c = \langle F_c \rangle \pm \Delta F_c$.

Часть 3. Поворот собирающей линзы (пункты 3.1 и 3.2 теоретические)

3.1 Сделайте рисунок: покажите ход параллельного пучка лучей падающего на собирающую линзу вдоль главной оптической оси. На рисунке укажите фокусы линзы. (Достаточно показать ход двух крайних лучей пучка с одной и другой стороны от главной оптической оси).*

3.2 Сделайте рисунок: покажите ход параллельного пучка лучей падающего на собирающую линзу под углом 30° к главной оптической оси. На рисунке обозначьте расстояние f_3 от оптического центра до побочного фокуса линзы, в котором сходится пучок лучей. Получите соотношение между f_3 и фокусным расстоянием F_c .

3.3 Расположите вдоль одной прямой лазер собирающую линзу и экран. Перемещая экран, получите освещённое пятно наименьшего диаметра. Измерьте расстояние F_c .

3.4 Поверните линзу относительно лазерного луча на угол 30° . Перемещая экран, получите на экране освещённое пятно наименьшего диаметра в данном случае. Измерьте расстояние f_3 от оптического центра линзы до пятна на экране.

3.5 Соотнесите результат п. 3.4 с результатом п.3.2. Дайте объяснение полученным результатам. Какие параметры нужно учесть, чтобы теория была близка к эксперименту.

Решение

Задание 11-2. Линзы и лазер

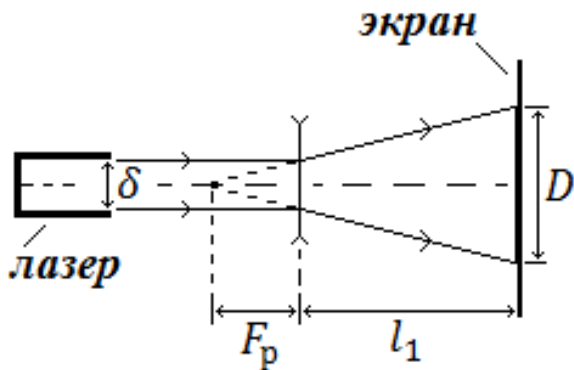
Решение **Часть 1.**

1.1 Из подобия треугольников получим:

$$\frac{\delta}{F_p} = \frac{D}{F_p + l_1}. \quad (1)$$

После преобразований получим:

$$D = \delta + \frac{\delta}{F_p} l_1. \quad (2)$$

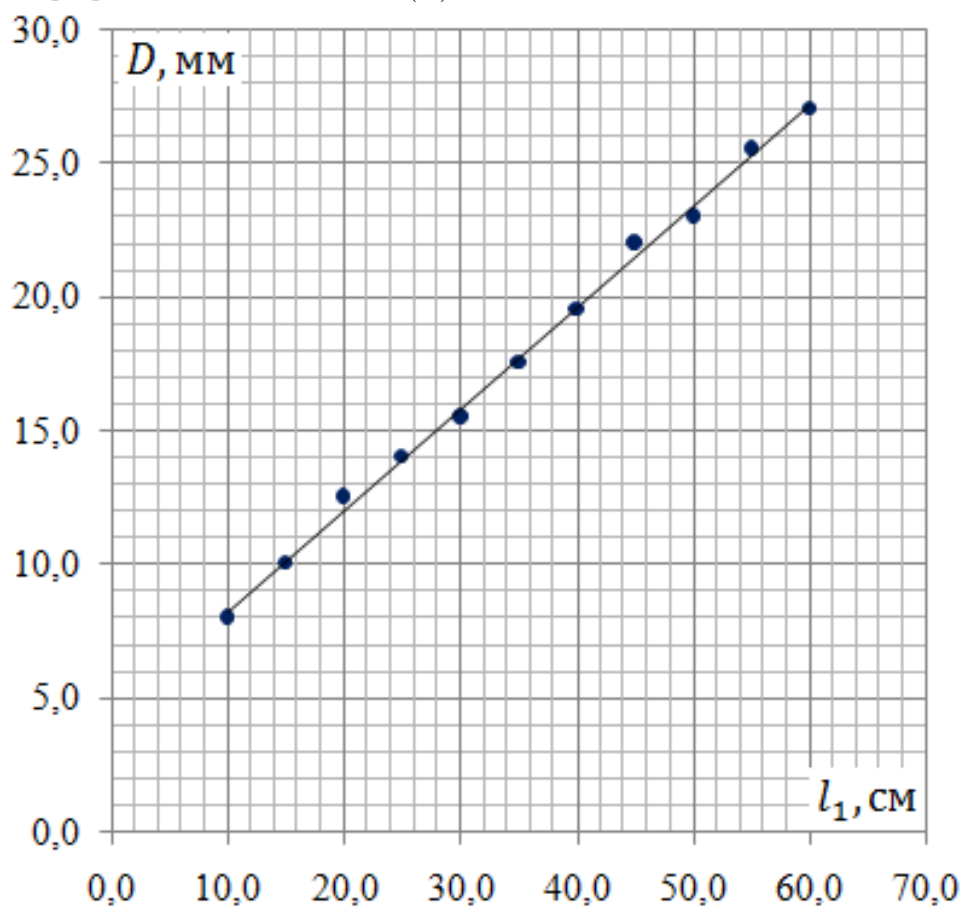


1.2 Результаты эксперимента представлены в таблице 1 и на графике 1. Уравнение (2) представляет собой линеаризованную зависимость $D(l_1)$, поэтому построен график по уравнению (2).

Таблица 1.

	l_1 , см	D , мм
	10,0	8,0
	15,0	10,0
	20,0	12,5
	25,0	14,0
	30,0	15,5
	35,0	17,5
	40,0	19,5
	45,0	22,0
	50,0	23,0
	55,0	25,5
	60,0	27,0
Сред.	35,0	17,7
Дисп.	250	36,0
Ковар.		94,8
	$\langle a_1 \rangle$	$\langle \delta \rangle$
	0,379	4,4
	Δa_1	$\Delta \delta$
	0,012	0,5

**График 1. Зависимость $D(l_1)$ **



2023-2024 учебный год

1.3 Введём в уравнении (2) обозначение:

$$a_1 = \frac{\delta}{F_p}. \quad (3)$$

Используя МНК определим $\langle a_1 \rangle$ и $\langle \delta \rangle$ (таблица 1, третья строчка снизу) и абсолютные погрешности Δa_1 и $\Delta \delta$ (таблица 1, последняя строчка). Из (3) получим:

$$\langle F_p \rangle = \frac{\langle \delta \rangle}{\langle a_1 \rangle} = \frac{4,4 \text{ мм}}{0,379 \frac{\text{мм}}{\text{см}}} = 11,6 \text{ см}. \quad (4)$$

$$\varepsilon_{F_p} = \sqrt{\left(\frac{\Delta a_1}{\langle a_1 \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \delta}{\langle \delta \rangle}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,012 \frac{\text{мм}}{\text{см}}}{0,379 \frac{\text{мм}}{\text{см}}}\right)^2 + \left(\frac{0,5 \text{ мм}}{4,4 \text{ мм}}\right)^2} = 0,12 = 12\%, \quad (5)$$

$$\Delta F_p = \langle F_p \rangle \cdot \varepsilon_{F_p} = 11,6 \text{ см} \cdot 0,12 = 1,4 \text{ см}. \quad (6)$$

$$\varepsilon_\delta = \frac{\Delta \delta}{\langle \delta \rangle} = \frac{0,5 \text{ мм}}{4,4 \text{ мм}} = 0,11 = 11\%. \quad (7)$$

$$F_p = (11,6 \pm 1,4) \text{ см}, \quad \delta = (4,4 \pm 0,5) \text{ мм}.$$

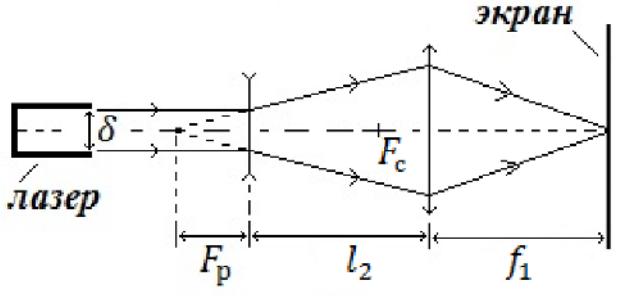
Часть 2

2.1 Применяя уравнение тонкой линзы (указано в подсказке), получим:

$$\frac{1}{F_c} = \frac{1}{F_p + l_2} + \frac{1}{f_1}. \quad (8)$$

Из (8) получим:

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{F_c} - \frac{1}{F_p + l_2}. \quad (9)$$

Применяя уравнение тонкой линзы (указано в подсказке), получим: $\frac{1}{F_c} = \frac{1}{F_p + l_2} + \frac{1}{f_1} \quad (8).$ Из (8) получим: $\frac{1}{f_1} = \frac{1}{F_c} - \frac{1}{F_p + l_2} \quad (9).$	 Рисунок 2
---	---

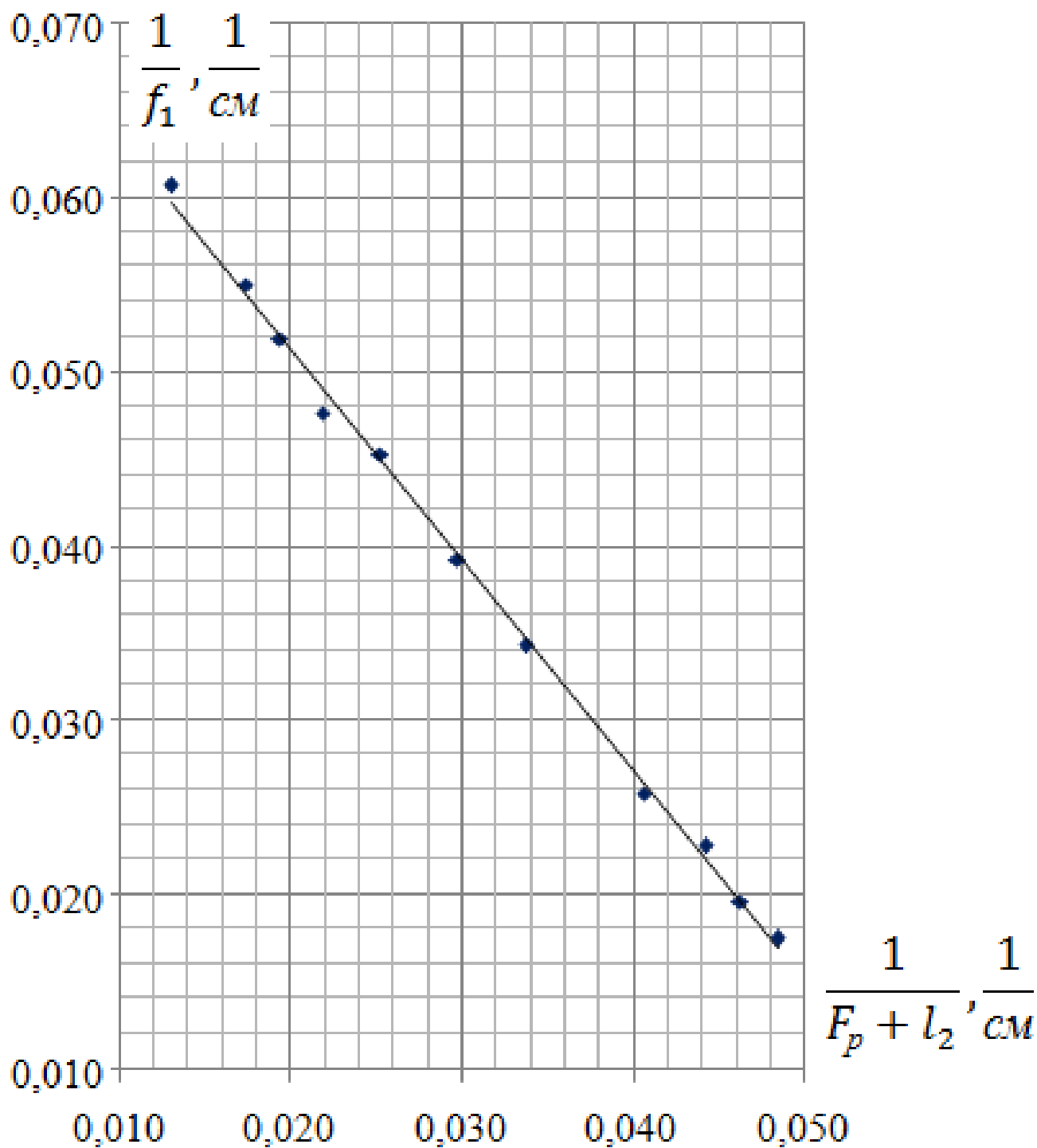
2.2 Результаты эксперимента представлены в таблице 2 и на графике 2. Уравнение (9) представляет собой линеаризованную зависимость $f_1(l_2)$ в виде $\frac{1}{f_1} \left(\frac{1}{F_p + l_2} \right)$.

2023-2024 учебный год

Таблица 2.

l_2 , см	f_1 , см	$\frac{1}{F_p+l_2}, \frac{1}{\text{см}}$	$\frac{1}{f_1}, \frac{1}{\text{см}}$
65,0	16,5	0,0131	0,0606
46,0	18,2	0,0174	0,0549
40,0	19,3	0,0194	0,0518
34,0	21,0	0,0219	0,0476
28,0	22,1	0,0253	0,0452
22,0	25,5	0,0298	0,0392
18,0	29,2	0,0338	0,0342
13,0	38,8	0,0407	0,0258
11,0	44,0	0,0442	0,0227
10,0	51,2	0,0463	0,0195
9,0	57,3	0,0485	0,0175
Сред.		0,0309	0,0381
Дисп.		0,000143	0,000209
Ковар.			-0,000173
		$\langle a_2 \rangle$	$\langle b_2 \rangle$
		-1,2	0,0754
		Δa_2	Δb_2
		0,04	0,0012

**График 2. Линеаризованная зависимость $f_1(l_2)$ **



2.3 Введём в уравнении (9) обозначение:

$$b_2 = \frac{1}{F_c}. \quad (10)$$

Используя МНК определим $\langle b_2 \rangle$ (таблица 2, третья строчка снизу) и абсолютную погрешность Δb_2 (таблица 1, последняя строчка).

Из (10) получим:

$$\langle F_c \rangle = \frac{1}{\langle b_2 \rangle} = \frac{1}{0,0754 \frac{1}{\text{см}}} = 13,3 \text{ см.} \quad (11)$$

$$\varepsilon_{F_c} = \varepsilon_{b_2} = \frac{\Delta b_2}{\langle b_2 \rangle} = \frac{0,0012 \frac{1}{\text{см}}}{0,0754 \frac{1}{\text{см}}} = 0,016 = 1,6\%, \quad (12)$$

$$\Delta F_c = \langle F_c \rangle \cdot \varepsilon_{F_c} = 13,3 \text{ см} \cdot 0,016 = 0,2 \text{ см.} \quad (13)$$

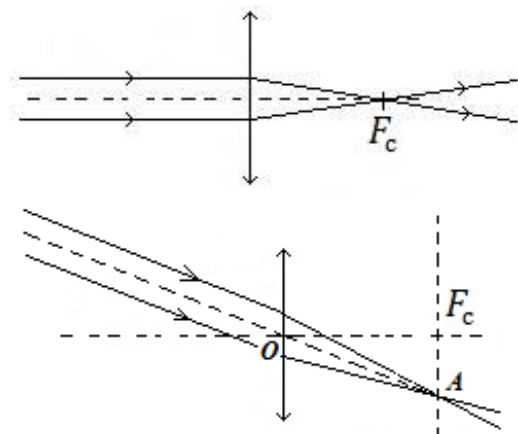
$$F_c = (13,3 \pm 0,2) \text{ см},$$

2023-2024 учебный год

Часть 3.

3.1 Смотри рисунок 3. **3.2** Смотри рисунок 4. $f_3 = OA$ (14). Из прямоугольного треугольника OF_cA получаем:

$$f_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} F_c = 1,15 F_c \quad (15)$$



3.3 $F_c = (14,5 \pm 0,1) \text{ см}$. **3.4** $f_3 = (10,2 \pm 0,1) \text{ см}$. **3.5** В соответствии с п. 3.2 мы должны были бы получить f_3 больше чем F_c в 1,15 раза, а в реальности получили меньше в 1,42 раза. Это несоответствие теории с экспериментом вызвано тем, что в п. 3.2 при построении мы пользовались свойством параксиальных лучей, но лучи, которые распространяются под углом к главной оптической оси больше чем 10° нельзя считать параксиальными. Для верного построения хода лучей необходимо учитывать диаметр пучка, радиусы поверхностей линзы, её толщину в центре, показатель преломления линзы, угол падения лучей на поверхность линзы. Если учесть все эти параметры, то мы получим теоретическое значение f_3 близкое к экспериментальному.