

A1^{0.60} Для 5 различных значений a получите 5 соответствующих значений h , при которых изображение S' светодиода сфокусировано на экране. Для каждого измерения рассчитайте значение фокусного расстояния f . Усредните полученные значения f и запишите в лист ответов усреднённое значение f_{avg} .

a , мм	b , мм	f , мм
210	828	167.5
225	694	169.9
235	620	170.4
252	528	170.5
280	429	169.4

Ответ:

$f_{\text{avg}} = (170 \pm 2) \text{ мм}$

B0^{0.10} Измерьте и запишите в листы ответов расстояние a_0 .

Ответ:

$a_0 = (207 \pm 2) \text{ мм}$

B1^{0.40} Меняя расположение d диафрагмы, наблюдайте изменения изображения на экране. Отметьте галочкой (✓) в листах ответов все верные утверждения.

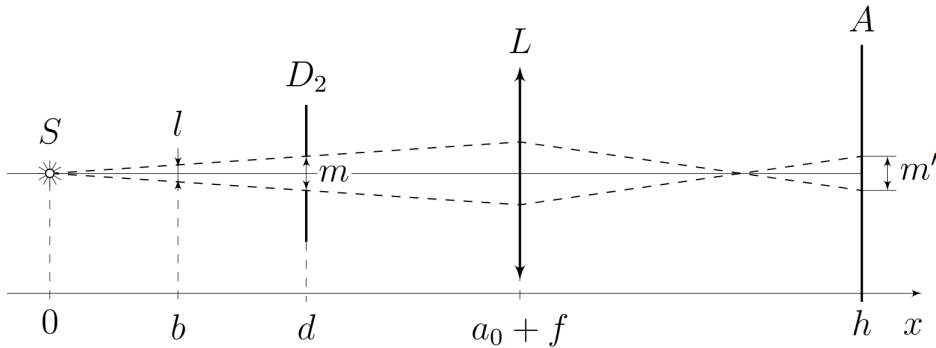
Ответ: Размер изображения и его форма остаются неизменным.
При приближении диафрагмы к источнику яркость изображения увеличивается, при отдалении диафрагмы от источника, его яркость уменьшается.

B2^{0.60} Для 8 различных расстояний d между источником и диафрагмой D_2 измерьте размеры m'_1 , m'_2 обеих диагоналей изображения креста на экране. Изменяйте d в максимально возможном диапазоне. Рассчитайте для каждого d усредненный размер изображения m' .

d , мм	$m1'$, мм	$m2'$, мм	$1/d$, м ⁻¹	m' , мм
50	88	88	20.0±0.80	88
75	88	88	13.3±0.36	88
100	88	88	10.0±0.20	88
125	88	88	8.00±0.13	88
143	85	85	6.99±0.10	85
160	64	64	6.25±0.08	64
182	55	55	5.49±0.06	55
204	49	49	4.90±0.05	49
226	43	43	4.42±0.04	43
244	40	40	4.10±0.03	40
262	35	35	3.82±0.03	35
287	32	32	3.48±0.02	32
321	28	28	3.12±0.02	28

350	27	27	2.86 ± 0.02	27
± 2	± 1	± 1		± 1

ВЗ 1.50 Получите теоретическую зависимость $m'(d)$ через m , d , f , a_0 .
Постройте линеаризованный график и получите размер m креста.



Выделим пунктиром плоскость на расстоянии b от источника, которая фокусируется линзой на экран. Очевидно, что из этой плоскости до экрана дойдут только лучи ограниченные пунктиром. Тогда мы можем рассматривать изображение размером m' на экране, как изображение отрезка длины l в указанной плоскости.

$$l = \frac{m}{d} \cdot b$$

Тогда размер изображения на экране:

$$m' = l \cdot \frac{h - a_0 - f}{a_0 + f - b}$$

Формула тонкой линзы:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a_0 + f - b} + \frac{1}{h - a_0 - f}$$

Откуда:

$$a_0 + f - b = f \cdot \frac{h - a_0 - f}{h - a_0 - 2f}$$

Исключая b получаем:

$$m' = -\frac{m}{fd}(h - a_0 - 2f) \cdot (f \cdot \frac{h - a_0 - f}{h - a_0 - 2f} - a_0 - f)$$

$$m' = \frac{m}{fd} \cdot (a_0(h - a_0 - 2f) - f^2)$$

Подставим $h - a_0$ из формулы тонкой линзы:

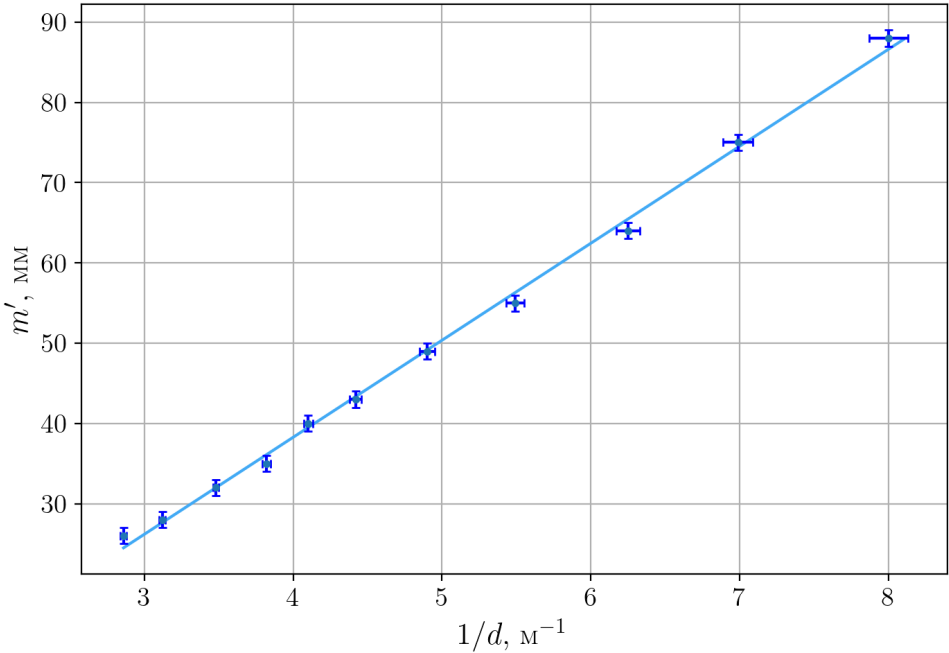
$$h - a_0 = \frac{a_0 f}{a_0 - f}$$

$$m' = \frac{m}{d} \cdot \left(\frac{a_0}{a_0 - f} (2f - a_0) - f \right) = \frac{m}{d} \cdot \left(\frac{a_0 f}{a_0 - f} - (a_0 + f) \right)$$

Линеаризация:

$$m'(1/d)$$

Точки которые лежат на плато — диафрагмирование линзой, их наносить на график не будем, т.к. они не нужны для вычисления коэффициента наклона.



Из полученного графика поучаем коэффициент наклона прямой:

$$k_1 = (1.21 \pm 0.06) \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

Выразим m ч:

$$m = \frac{k_1}{\frac{a_0 f}{a_0 - f} - (a_0 + f)}$$

Итого:

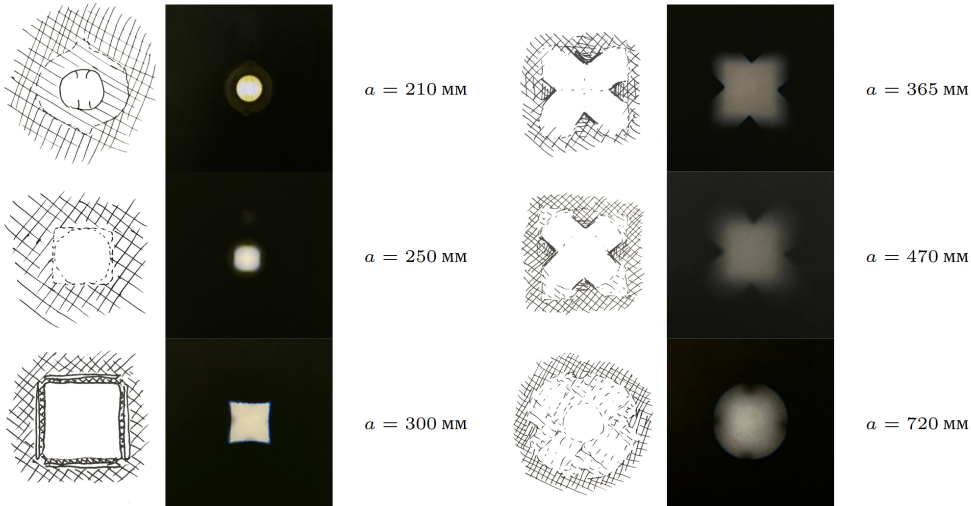
$$m = 21 \text{ мм}$$

$$\Delta m = 3 \text{ мм}$$

Ответ:

$$m = (21 \pm 3) \text{ мм}$$

C1^{1.80} При перемещении линзы вид изображения на экране будет меняться. Изменяйте положение линзы (то есть значение a) и для каждого a зарисуйте в листы ответов вид изображения. На вашем изображении должны быть явно обозначены (штриховкой или как-либо иначе) свет, тень и полутень (при наличии).



Комментарий к картинкам.

1. $a = 210$ мм - сфокусированный светодиод;
2. $a = 250$ мм - размытый круг (почти квадрат);
3. $a = 300$ мм - сфокусированный квадрат (полоски по краям — отражения от кромок);
4. $a = 365$ мм - крест, почти сфокусирован, обрезан квадратом;
5. $a = 470$ мм - крест, обрезанный квадратом, размытый;
6. $a = 720$ мм - крест, обрезанный кругом (линзой), сильно размытый.

C2^{0.90} Измерьте и запишите a_1 . Меняя только положение диафрагмы D_2 (крест), снимите 8 точек зависимости минимальной горизонтальной ширины v_2 изображения (ширины в самом узком месте) от расстояния d_2 между источником и диафрагмой D_2 . Изменяйте d_2 в максимально возможном диапазоне.

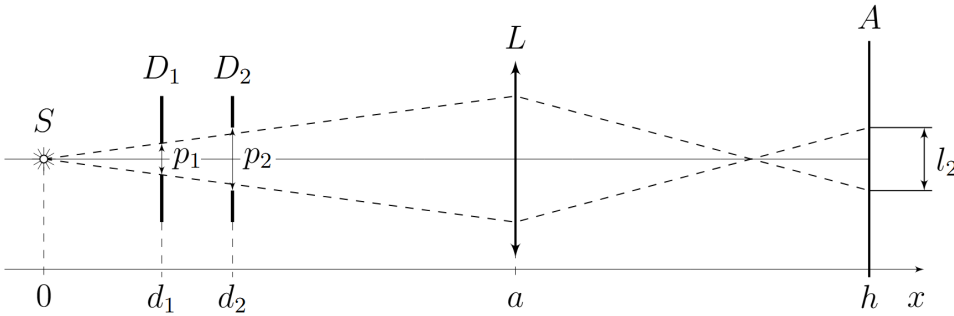
$$a_1 = 295 \text{ мм}$$

$d_2, \text{ мм}$	$v_2, \text{ мм}$	$1/d_2 \text{ м}^{-1}$
132	20	7.58 ± 0.11
155	20	6.45 ± 0.08
175	18.5	5.71 ± 0.07
192	16.5	5.21 ± 0.05
203	16	4.93 ± 0.05
215	15	4.65 ± 0.04
227	14	4.41 ± 0.04
245	13.5	4.08 ± 0.03
265	13	3.77 ± 0.03
± 2	± 0.5	

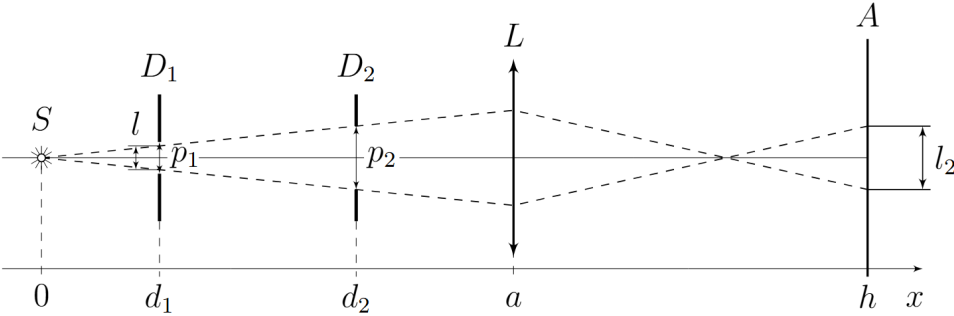
СЗ 0.90 Измерьте и запишите a_2 . Меняя только положение диафрагмы D_1 (квадрат), снимите 8 точек зависимости максимальной диагональной ширины v_1 (вдоль прямой AB , показанной на рисунке к пункту **B2**) изображения от расстояния d_1 между источником и диафрагмой D_1 . Изменяйте d_1 в максимально возможном диапазоне.

$a_2 = 382 \text{ мм}$		
$d_1, \text{ мм}$	$v_1, \text{ мм}$	$1/d_1, \text{ м}^{-1}$
22	63	45.4 ± 4.13
41	63	24.3 ± 1.19
53	63	18.8 ± 0.71
68	63	14.7 ± 0.43
73	59	13.7 ± 0.38
88	49	11.3 ± 0.26
97	43	10.3 ± 0.21
106	39	9.43 ± 0.18
114	34	8.77 ± 0.15
128	28	7.81 ± 0.12
± 2	± 2	

С4 0.80 Пусть расстояние a между линзой и источником такое, что на экране получается сфокусированное изображение диафрагмы D'_1 . Найдите зависимость размера изображения l_2 на экране от расстояния d_2 между источником и второй диафрагмой D'_2 . Найдите d'_2 , при котором меняется характер зависимости. Ответы выразите через h , a , d_1 , d_2 , p_1 , p_2 .



Из рисунка видно, что при малых d_2 изображение будет выглядеть как распределение интенсивности света в сечении D_1 , и не будет меняться при изменении d_2 , до какого-то определенного значения ($d_2 = d'_2$).



Начиная с d'_2 часть лучей проходящих диафрагму D_1 не будут проходить диафрагму D_2 . Этот момент наступает тогда, когда угловые размеры диафрагм одинаковы. Тогда:

$$d'_2 = \frac{p_2}{p_1} \cdot d_1.$$

Теперь найдем l_2 . Аналогично пункту **B3** можем рассмотреть отрезок l в плоскости D_1 ограниченный крайнии лучами проходящими через диафрагму D_2 (или D_1 , если $d_2 < d'_2$).

$$l_2 = \frac{h - a}{a - d_1} \cdot l,$$

где:

$$l = \begin{cases} p_1, & \text{при } d_2 < d'_2 \\ \frac{d_1}{d_2} \cdot p_2, & \text{при } d_2 > d'_2 \end{cases}$$

Ответ:

$$d_2' = \frac{p_2}{p_1} \cdot d_1,$$

$$l_2 = \begin{cases} \frac{h-a}{a-d_1} \cdot p_1, & \text{при } d_2 < d_2' \\ \frac{h-a}{a-d_1} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot p_2, & \text{при } d_2 > d_2'. \end{cases}$$

C5^{0.40}

Пусть теперь расстояние a между линзой и источником такое, что на экране получается сфокусированное изображение диафрагмы D_2' .

Найдите зависимость размера изображения l_1 на экране от расстояния d_1 между источником и второй диафрагмой D_1' . Найдите d_1' , при котором меняется характер зависимости. Ответы выразите через h, a, d_1, d_2, p_1, p_2 .

Записав уравнения аналогичные C4 получаем ответ:

Ответ:

$$d_1' = \frac{p_1}{p_2} \cdot d_2$$

$$l_1 = \begin{cases} \frac{h-a}{a-d_2} \cdot p_2, & \text{при } d_1 < d_1' \\ \frac{h-a}{a-d_2} \cdot \frac{d_2}{d_1} \cdot p_1, & \text{при } d_1 > d_1'. \end{cases}$$

C6^{0.60}

Получите выражения для $v_1(d_1)$ и $v_2(d_2)$. Ответы выразите через h, a, d_1, d_2, m, n, c .

Используя результат предыдущего пункта для пункта C2 можно сопоставить

$$\begin{cases} p_1 = c \\ p_2 = n\sqrt{2} \\ l_2 = v_2 \\ a = a_1 \end{cases}$$

тогда получаем:

Ответ:

$$d_2' = \frac{n\sqrt{2}}{c} \cdot d_1,$$

$$v_2 = \begin{cases} \frac{h-a_1}{a_1-d_1} \cdot c, & \text{при } d_2 < d_2' \\ \frac{h-a_1}{a_1-d_1} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot n\sqrt{2}, & \text{при } d_2 > d_2'. \end{cases}$$

Для C3:

$$\begin{cases} p_1 = c\sqrt{2} \\ p_2 = m \\ l_1 = v_1 \\ a = a_2 \end{cases}$$

Итого получаем:

Ответ:

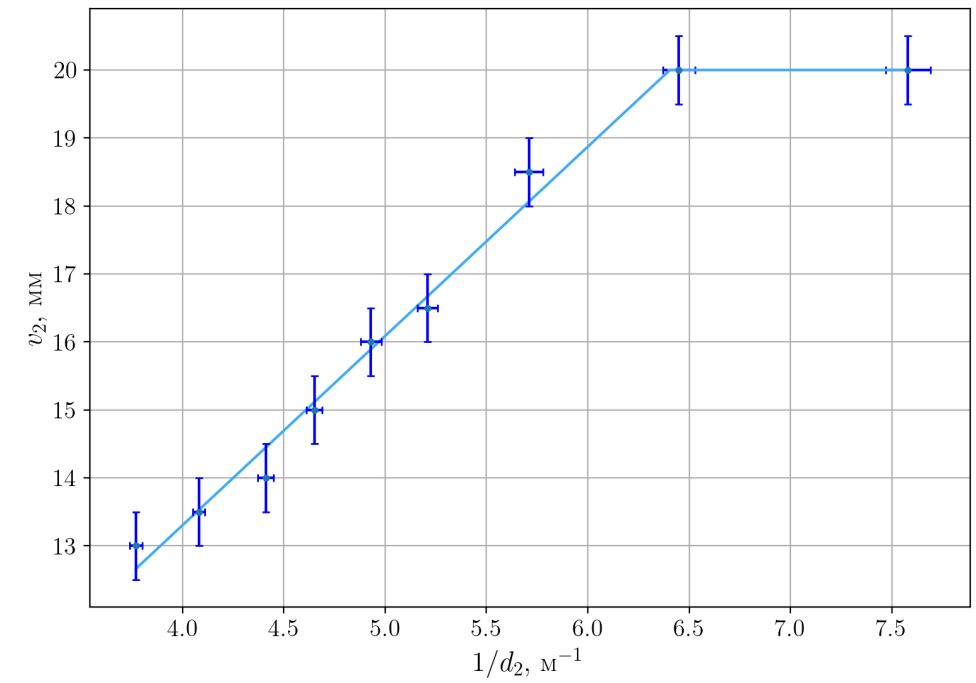
$$d_1' = \frac{c\sqrt{2}}{m} \cdot d_2$$

$$v_1 = \begin{cases} \frac{h-a_2}{a_2-d_2} \cdot m, & \text{при } d_1 < d_1' \\ \frac{h-a_2}{a_2-d_2} \cdot \frac{d_2}{d_1} \cdot c\sqrt{2}, & \text{при } d_1 > d_1'. \end{cases}$$

C7^{0.70}

Постройте линеаризованный график зависимости, снятой в пункте C2, и получите размеры c и n диафрагм. Оценка погрешности конечного ответа c и n не требуется.

Линеаризация — $v_2(1/d_2)$.



Из графика находим коэффициент наклона, размер изображения на плато, и точку излома:

$$k_2 = 2.78 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$
$$v_2' = 20 \text{ мм}$$
$$d_2' = 156 \text{ мм}$$

Ответ: Из коэффициента наклона прямой:

$$n = \frac{k_2(a_1 - d_1)}{\sqrt{2} d_1 (h - a_1)} = 5.7 \text{ мм}$$

Из значения плато:

$$c = \frac{v_2'(a_1 - d_1)}{h - a_1} = 4.9 \text{ мм}$$

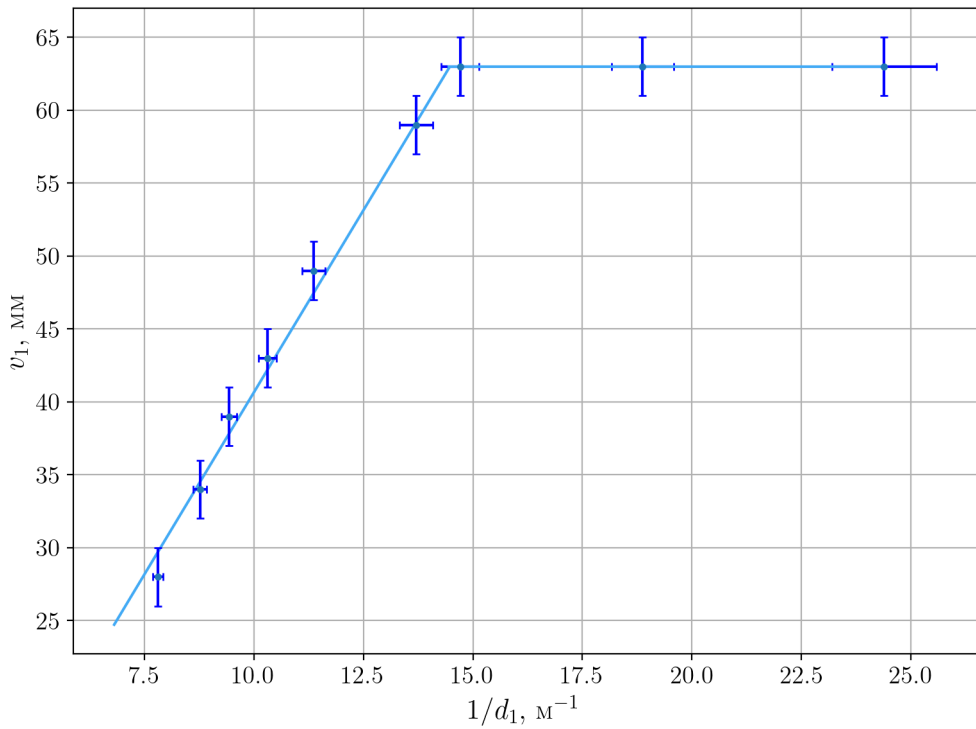
Из точки излома и значения плато:

$$n = \frac{c d_2'}{\sqrt{2} d_1} = 6.4 \text{ мм}$$

Прямые измерения $n = 6.3$ мм, $c = 5.3$ мм.

С8^{0.70} Постройте линеаризованный график зависимости, снятой в пункте **С3**, и получите размеры c и m диафрагм. Оценка погрешности конечного ответа c и m не требуется.

Линеаризация — $v_1(1/d_1)$



Из графика находим коэффициент наклона, размер изображения на плато, и точку излома:

$$k_3 = 4.99 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

$$v'_1 = 63 \text{ мм}$$

$$d'_1 = 69 \text{ мм}$$

Ответ: Из коэффициента наклона прямой:

$$c = \frac{k_3(a_2 - d_2)}{\sqrt{2} d_2(h - a_2)} = 5.7 \text{ мм}$$

Из значения плато:

$$m = \frac{v'_1(a_2 - d_2)}{h - a_2} = 17.4 \text{ мм}$$

Из точки излома и значения плато:

$$m = \frac{\sqrt{2} c d_2}{d'_1} = 19.9 \text{ мм}$$

Прямые измерения $m = 17.3 \text{ мм}$, $c = 5.3 \text{ мм}$.