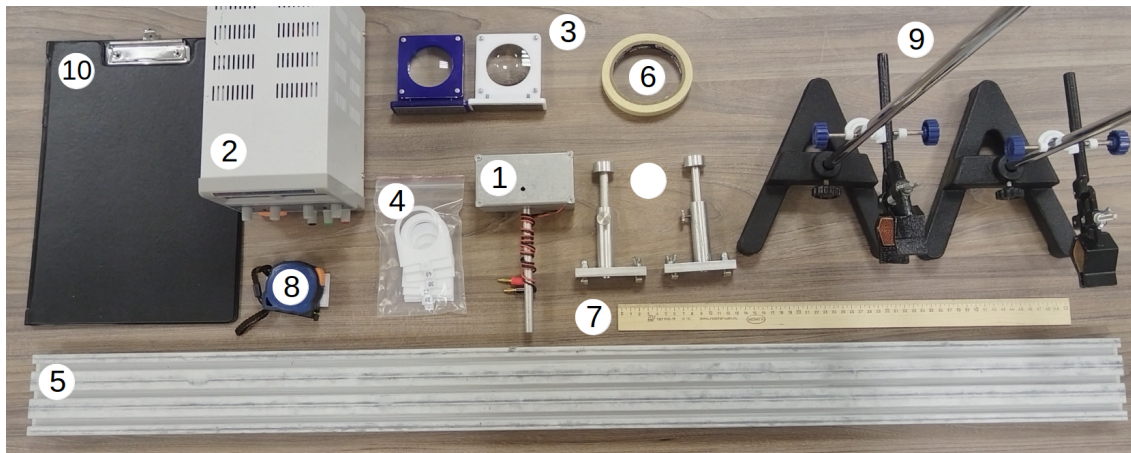


Road to IPhO

Чёткая оптика

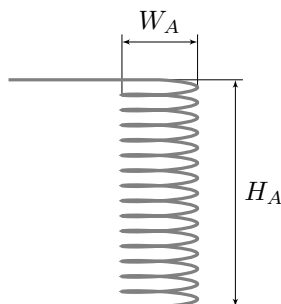
Оборудование:



1. Лампа накаливания в корпусе
2. Источник постоянного напряжения
3. Две линзы с подставками для оптической скамьи.
4. Набор из 9-ти диафрагм, диаметры в миллиметрах указаны на них.
5. Оптическая скамья
6. Малярный скотч
7. Деревянная линейка
8. Рулетка
9. Два штатива с лапками
10. Планшет для закрепления бумаги

Исследования человеческого зрения и разработка технологий фотографирования неизбежно связаны с изучением фокусировки изображений с помощью собирающих линз.

В данной работе источником света выступает спираль внутри лампы накаливания. Обозначим ее диаметр за W_A , высоту за H_A а количество витков за N_A .



Внимание! В задаче не требуется оценка погрешностей. **Внимание!** Пользуйтесь индивидуальной лампой для освещения рабочего места. **Внимание!** Самостоятельно не доставайте провода лампы из клемм источника постоянного напряжения. Для питания лампы используйте источник постоянного напряжения $U = 9.0$ В. При корректной работе лампы у нее светится только спираль накаливания (при некорректной внутренняя поверхность покрывается светлым осадком, и поэтому лампочка «светится» полностью). Располагайте лампу так, чтобы спираль накаливания была вертикальной.

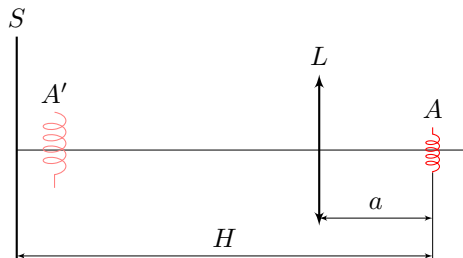
Road to IPhO

Часть А. Вводная.

Обозначения, выбранные в этой части, справедливы в течение всей последующей задачи.

Рассмотрим оптическую схему, состоящую из неточечного источника A , линзы L и экрана S . На рисунке за A' обозначено изображение источника A .

В простейшем фотоаппарате вместо экрана S используется матрица из фоточувствительных элементов, например, фотодиодов.



За L_F обозначим линзу с большим фокусным расстоянием, а само фокусное расстояние за F . Линзу с меньшим фокусным расстоянием соответственно L_f , ее фокусное расстояние f .

- | | |
|---|------------|
| A1 Измерьте фокусные расстояния f и F с помощью получения изображения A' на экране. Для измерения используйте $H \approx 1.20$ м. В листе ответов крестиком укажите соответствие между цветом линзы и названиями L_f и L_F . | 0.2 |
|---|------------|

При достаточно больших H на экране получается сфокусировать изображение при двух положениях: ближняя фокусировка – положение при меньшем a и дальняя фокусировка – положение при больших a .

Часть В. Неточности ближней фокусировки

Метод определения фокусного расстояния линзы, рассмотренный в пункте **A1** в любом случае имеет существенный недостаток: нет формального критерия «сфокусированного изображения». В данной части мы дополним метод и избавим его от этого недостатка, рассмотрев физику неточной фокусировки и понятие резкости.

В данной части используется только линза L_F . Расстояние $H \approx 1.20$ м.

За a_0 обозначим расстояние a , соответствующее ближней фокусировке. Меняя расстояние a в окрестности a_0 , можно получать на экране изображения разной степени размытости (примеры чёткого и очень нечёткого изображения приведены на фотографиях ниже). Также на размытость изображения влияет форма и диаметр диафрагмы – экрана с отверстием, которым закрывают часть линзы.

- | | |
|---|------------|
| B1 Выставьте линзу так, что $a = a_0 + F/2$. В дальнейших пунктах мы будем изучать характерный размер таких изображений, поэтому выберите, какой линейный размер – высоту h или ширину w нечеткого изображения вы будете измерять в последующих пунктах. Обоснуйте свой выбор и крестиком обозначьте его в листе ответов. Этот размер будет обозначаться за p . | 0.2 |
|---|------------|

В первую очередь изучим влияние диафрагмы на размытость.

- | | |
|--|-------------|
| B2 Накройте часть линзы, обращенную к экрану, диафрагмой диаметра D . Для всех диафрагм измерьте размер изображения p . | 0.45 |
|--|-------------|

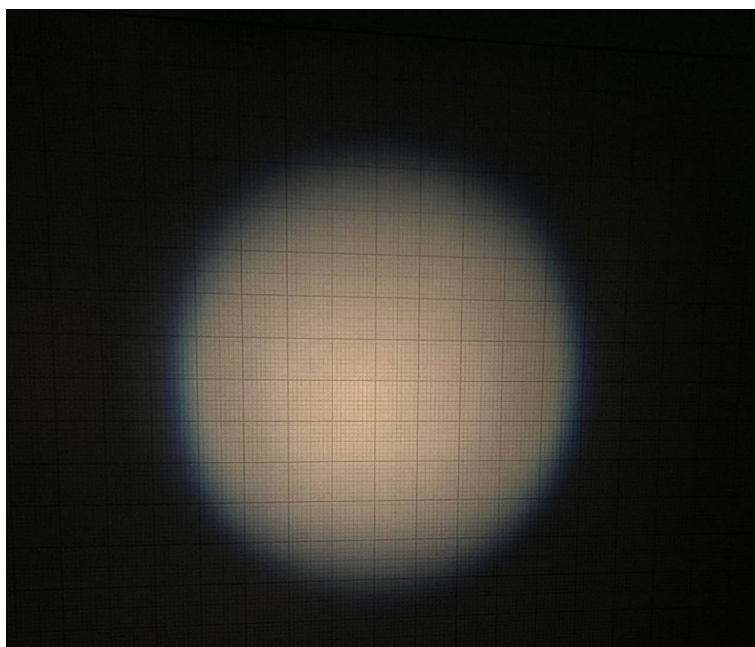
- | | |
|---|------------|
| B3 Постройте график зависимости $p(D)$. | 0.4 |
|---|------------|

- | | |
|--|------------|
| B4 При том же расположении объектов снимите диафрагму с линзы и измерьте размер p_0 изображения на экране. Определите диаметр D_0 открытой части линзы на основе p_0 , сравните результат с непосредственными измерениям. | 0.1 |
|--|------------|

Road to IPhO



Четкое изображение



Нечеткое изображение

Теперь посмотрим, как ошибка фокусировки влияет на размытость.

B5 При 11 различных a в диапазоне $[a_0 - F/3, a_0 + F/2]$ измерьте размер p изображения на экране. **0.55**

B6 Постройте линеаризованный график зависимости p от a . Из графика найдите фокусное расстояние F и сравните его с полученным ранее. Считайте, что спираль накаливания имеет размеры $0.10 \text{ см} \times 0.30 \text{ см}$. **1.3**

Теперь изучим, как форма даже несфокусированного изображения связана с формой источника.

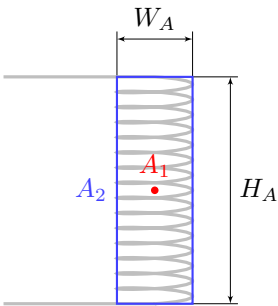
B7 Расположите линзу так, чтобы $a = a_0 + 2F/5$. Зарисуйте границу изображения на миллиметровой бумаге. Обозначьте центр изображения, горизонтальную ось x_S и вертикальную ось y_S . **0.3**

Road to IPhO

Границу нечеткого изображения лампы невозможно точно описать без рассмотрения распределения интенсивности света по экрану, поэтому для начала рассмотрим две упрощенные модели источника света:

1. В первой модели источник A_1 является точечным и располагается посередине спирали лампы накаливания. Границу изображения, создаваемого им обозначим Γ_1 .
2. Во второй модели источником A_2 является граница сечения спирали, то есть источник является прямоугольником с размерами $W_A \times H_A$. Считайте, что данный источник светит одинаково ярко по всему своему периметру. Границу изображения от него обозначим Γ_2 .

Наша задача заключается в «совмещении» этих моделей. Пусть «совмещенный» источник создает границу изображения Γ . Каждой конкретной точке Γ соответствует луч B' выходящий из центра изображения, и проходящий через нее. Будем считать, что точка границы Γ находится посередине между точками $\Gamma_1 \cap B'$ и $\Gamma_2 \cap B'$.



Источники A_1 и A_2 .

B8

Рассчитайте положение границы Γ изображения относительно его центра в 11 точках, лежащих в области $x_S > 0, y_S > 0$. Нанесите эти точки на тот же лист миллиметровой бумаги, где зарисовано изображение.

0.8

Часть С. Хроматическая аберрация.

В данной части используются обе линзы. Расстояние $H \approx 1.20$ м.

Меняя a в окрестности a_0 в части **В** вы, вероятно, заметили, что граница изображения имеет различный цвет при $a < a_0$ и $a > a_0$. Это связано с тем, что разные цвета немного по-разному преломляются в стекле, из которого сделана линза, а описать это можно в терминах разных показателей преломления для света разного цвета: n_b для синего и n_r для красного.

C1

В листах ответов поставьте крестик напротив истинных утверждений.

0.06

L_F	Граница синяя при $a < a_0$, красная при $a > a_0$	
L_F	Граница красная при $a < a_0$, синяя при $a > a_0$	
L_f	Граница синяя при $a < a_0$, красная при $a > a_0$	
L_f	Граница красная при $a < a_0$, синяя при $a > a_0$	

Road to IPhO

C2 В листах ответов поставьте крестик напротив истинных утверждений о n_b и n_r . Обоснуйте свой выбор.

0.5

L_F	$n_b > n_r$	
L_F	$n_r > n_b$	
L_f	$n_b > n_r$	
L_f	$n_r > n_b$	

Часть D. Увеличение.

В данной части задачи используется только линза L_F .

D1 При 7-ми различных H измерьте размер изображения p в условиях ближней фокусировки.

0.7

D2 Линеаризуйте зависимость p от H , постройте ее график. Рассчитайте параметры источника W_A и H_A , сделав дополнительные измерения при необходимости.

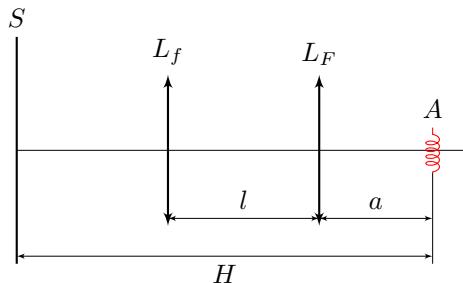
0.55

D3 Посчитайте количество спиралей N_A в спирали источника.

0.1

Часть E. Телескоп Кеплера.

В данной части используются обе линзы, а $H \approx 1.20$ м. С помощью системы из двух линз получите четкое изображение источника A на экране S .



E1 При различных фиксированных значениях a подберите расстояния l , соответствующие четкому изображению. Измерьте высоту четкого изображения h . Если при нескольких разных значениях l получается несколько четких изображений, то выбирайте изображение, имеющее большее h . У зависимости h от a есть характерная точка, опишите ее и промерьте ее окрестность особенно тщательно. Всего сделайте не менее 15-ти измерений.

0.85

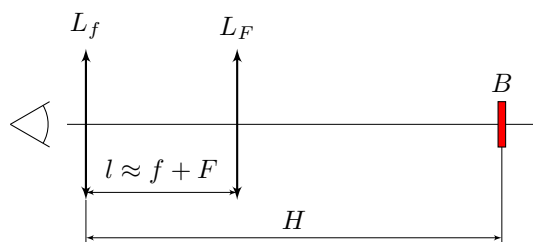
E2 Получите теоретическую формулу для зависимости h от a . Постройте линеаризованный график и покажите, что теоретическая формула справедлива.

1.74

Road to IPhO

В силу того, что любая реальная линза не является тонкой, фокусное расстояние для лучей идущих далеко от оптической оси отличается от фокусного расстояния для параксиальных лучей.

Замечен этот эффект (наряду с хроматической аберрацией) в телескопе Кеплера — системе из двух собирающих линз, отдаленных друг от друга на расстояние, близкое к сумме их фокусных расстояний.



Расположите две линзы на расстоянии $l \approx f + F$ рядом друг с другом у одного из краев стола, чтобы вы могли через них наблюдать за предметами, расположенными с другого края — там закрепите линейку в штативе и расположите источник света так, чтобы он освещал линейку B , но не светил в линзы.

Увеличением телескопа называется отношение видимого размера объекта к настоящему размеру объекта.

Е3 Настройте телескоп Кеплера так, чтобы расстояние между линзой L_f и линейкой было $H \approx 1.20$ м, и через телескоп Вам было четко видно увеличенное изображение линейки. Сделайте необходимые измерения и рассчитайте экспериментальное значение увеличения Γ_K телескопа Кеплера в такой системе. **0.8**

Е4 Пронаблюдайте искажение изображения линейки у краев области видимости телескопа. Зарисуйте видимое через телескоп Кеплера изображение линейки. На рисунке отобразите и хроматические, и сферические аберрации. **0.4**