

Определение фокусных расстояний рассеивающих линз и систем линз



Задача этого эксперимента - определить фокусные расстояния рассеивающих линз и систем линз.

Физика

Свет и оптика

Оптические приборы и линзы



Уровень сложности

твердый



Размер группы

1



Время подготовки

10 Минут



Время выполнения

40 Минут



Общая информация

Описание



Экспериментальная установка

Знание фокусного расстояния рассеивающих линз и систем линз имеет важное значение в медицинской оптике. Например, с помощью рассеивающих линз можно исправить дефекты зрения. Линза очков и хрусталик глаза образуют систему линз. Если общее фокусное расстояние системы установлено правильно, то изображение будет четко сфокусировано на сетчатке.

Дополнительная информация (1/2)

PHYWE
excellence in science

Предварительные знания



Учащиеся должны иметь представление о фокусном расстоянии, а также о системе линз.

Принцип



Действительные изображения создаются только с помощью собирающих линз (выпуклых линз), фокусные расстояния которых f всегда положительны. В отличие от этого, вогнутые или рассеивающие линзы ($f < 0$) имеют отрицательные значения. в этом эксперименте фокусное расстояние рассеивающих линз можно определить с помощью собирающей линзы.

Дополнительная информация (2/2)

PHYWE
excellence in science

Цель



Учащиеся научатся применять формулу линзы и метод Бесселя к рассеивающим линзам и системам линз и таким образом смогут определять фокусное расстояние.

Задачи



Задача этого эксперимента - определить фокусные расстояния рассеивающих линз и систем линз.

Инструкции по технике безопасности

PHYWE
excellence in science

Для этого эксперимента применяются общие инструкции по безопасному проведению экспериментов при преподавании естественных наук.

Теория (1/4)

PHYWE
excellence in science

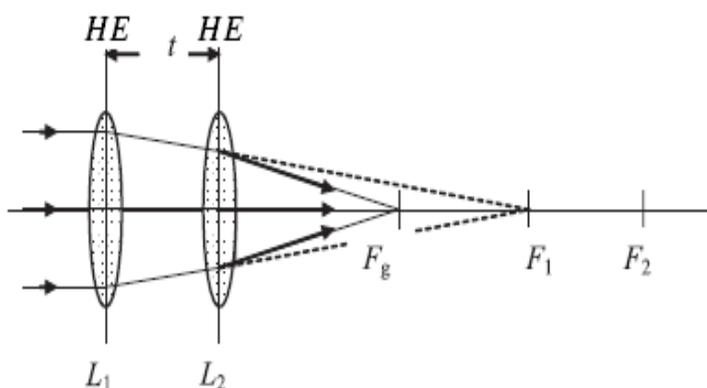


Рисунок 1

Если объектив имеет фокусное расстояние f , то величина обратная фокусному расстоянию $1/f$ также называется оптической силой (преломляющая способность линзы D [1дптр = 1/м])

Общая оптическая сила D_g системы линз, состоящей из двух тонких одиночных линз с оптическими силами D_1 и D_2 оптические центральные плоскости которых (главные плоскости) HE находятся на расстоянии t друг от друга (рис. 1), в результате равна,

$$D_g = D_1 + D_2 - t \cdot |D_1| \cdot |D_2| = \frac{1}{f_s}$$

$$= \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{t}{|f_1| \cdot |f_2|} .$$

Теория (2/4)

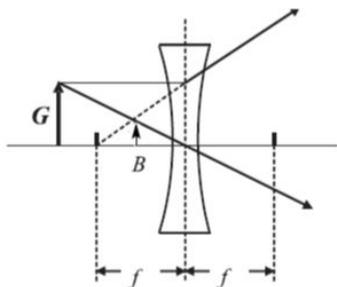


Рисунок 2

Если две линзы расположены близко друг к другу ($t \ll f_1, f_2$), оптические силы отдельных линз складываются.

$D_g = D_1 + D_2 = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$ Оптическая сила D_s собирающей линзы и, следовательно, ее фокусное расстояние всегда положительно.

Напротив, рассеивающие линзы имеют отрицательное фокусное расстояние, поэтому соответствующая оптическая сила является отрицательной: $D_z < 0$ (рис. 2). Если система линз состоит только из собирающих линз, то всегда получаются действительные изображения, так как в этом случае $D_g > 0$

С другой стороны, если собирающую линзу с оптической силой D_s соединить с рассеивающей линзой с оптической силой D_z , то всегда для получения действительного изображения, необходимо чтобы $|D_s| > |D_z|$.

Теория (3/4)

Если это так, то, зная оптическую силу собирающей линзы, с помощью формулы тонкой линзы можно определить неизвестную оптическую силу рассеивающей линзы путем получения изображения объекта.

Для тонких линз и систем линз формула линзы применяется при формировании изображений лучами, расположенными близко к оси:

$$\frac{1}{f} = \frac{b+g}{b \cdot g} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}.$$

С помощью известных расстояний до объекта g и соответствующих расстояний до изображения b можно определить фокусное расстояние.

Для измерения фокусного расстояния системы линз может так же использоваться другой метод, если расстояние d между объектом и плоскостью изображения больше, чем $4f$.

При заданном расстоянии d между объектом и изображением можно получить резкое изображение (увеличенное и уменьшенное) для двух положений системы линз.

Теория (4/4)

Если e - разность между этими двумя положениями (рис. 3), то фокусное расстояние определяется так:

$$f = \frac{d^2 - e^2}{4d}.$$

Этот метод, названный в честь математика и астронома Бесселя, имеет то преимущество, что положение системы линз не нужно определять абсолютно, а определяется только разность между двумя положениями.

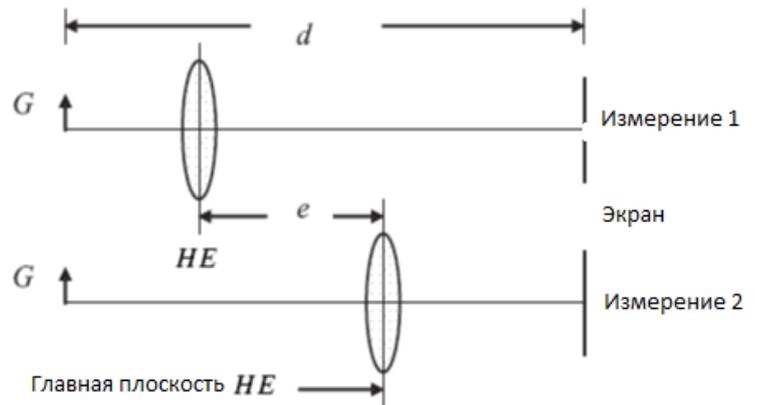


Рисунок 3

Оборудование

Позиция	Материал	Пункт No.	Количество
1	Оптическая скамья, l=1000 мм	08370-00	1
2	Экспериментальная лампа	08130-99	1
3	Скользящая опора для оптической скамьи	09822-00	2
4	Рамка со шкалой на скользящей опоре	09823-00	2
5	Линза в оправе, f=+100 мм	08021-01	1
6	Линза, в оправе, f=+200 мм	08024-01	1
7	Линза в оправе, f=+300 мм	08023-01	1
8	Линза в оправе, f=-200 мм	08028-01	1
9	Держатель для диафрагм	11604-09	1
10	Объект в виде буквы "L", стеклянные шарики	11609-00	1
11	Экран, белый, 150x150 мм	09826-00	1

PHYWE
excellence in science

Подготовка и выполнение работы

Подготовка

PHYWE
excellence in science

- Вставьте экспериментальную лампу с горизонтальным стержнем в отверстие скользящей опоры и плотно закрутите винт. Поместите ее на оптической скамье так, чтобы белая линия была на отметке 2,3 см
- Подключите лампу к источнику питания.
- Рядом с выходной трубкой экспериментальной лампы расположите рамку со шкалой, на которой установлен держатель диафрагмы со вставленным объектом в виде буквы Perl-L.
- Исследуемая система линз и исследуемый экран располагаются на оптической скамье с помощью скользящих опор.



Экспериментальная установка

Выполнение работы (1/2)

PHYWE
excellence in science

Длинную ножку объекта в виде буквы Perl-L рекомендуется располагать горизонтально. С помощью ползунка на корпусе светильника, лампа теперь перемещается так, чтобы Perl-L, который всегда остается неподвижным, освещался напрямую.

Необходимо определить результирующие фокусные расстояния двух систем линз. Одна система состоит из двух собирающих линз с фокусными расстояниями $f_1 = +100\text{мм}$ и $f_2 = +300\text{мм}$ другая состоит из линз с фокусным расстоянием $f_1 = +50\text{мм}$ и $f_2 = -50\text{мм}$.

Если линзы правильно расположены на оптической скамье, то расстояние между их главными плоскостями составляет $t = 14\text{мм}$.

Теперь перемещая экран можно получить четкие увеличенные и уменьшенные изображения для различных положений линз.

Выполнение работы (2/2)

PHYWE
excellence in science

ВНИМАНИЕ: При определении мест расположения объекта и системы линз необходимо учитывать следующее:

- правильное положение объекта Perl-L 1 см перед отметкой на ножке соответствующего держателя
- центральная плоскость системы линз находится примерно на 0,35 см перед линией скользящей опоры

Общее фокусное расстояние системы, состоящей из двух собирающих линз, должно быть определено один раз, используя формулу линз и для сравнения используя метод Бесселя. Измерение с использованием комбинации собирающей и рассеивающей линз выполняется только по методу Бесселя.

Оценка (1/4)

В таблице 1 показаны измеренные значения и полученные результаты для системы линз, состоящей из двух собирающих линз с фокусными расстояниями $f_1 = +100\text{мм}$ и $f_2 = +300\text{мм}$.

n	Linsenformel			Bessel-Methode		
	g/cm	b/cm	f_g/cm	d/cm	e/cm	f_g/cm
1	16,0	16,3	8,07	70,0	51,4	8,06
2	17,0	15,7	8,16	68,0	49,2	8,10
3	18,0	14,6	8,06	66,0	46,9	8,17
4	19,0	14,0	8,06	64,0	45,0	8,09
5	20,0	13,3	7,99	62,0	43,0	8,04
6	21,0	13,0	8,03	60,0	40,6	8,13
7	22,0	12,5	7,97	58,0	38,5	8,11
8	23,0	12,2	7,97	56,0	36,4	8,09
9	24,0	11,9	7,96	54,0	34,1	8,12
10	25,0	11,6	7,92	52,0	31,9	8,11

Таблица 1

Оценка (2/4)

Фокусное расстояние рассчитывается как по формуле линзы, так и по методу Бесселя. Следующие средние значения получаются для общего фокусного расстояния f_g :

Оценка по формуле линзы:

$$f_g = (8,02 \pm 0,14)\text{см}; \Delta f/f = \pm 1,7\%$$

Оценка по методу Бесселя:

$$f_g = (8,10 \pm 0,07)\text{см}; \Delta f/f = \pm 0,86\%$$

Расстояние между главными плоскостями HE двух собирающих линз составляет $t = 14\text{мм}$.

С помощью этого значения и фокусных расстояний отдельных линз рассчитывается фокусное расстояние системы линз:

$$D_g = (1/10 + 1/30)\text{см}^{-1} + 1,4(1/10 \cdot 1/30)\text{см}^{-1} = 0,138\text{см}^{-1} \text{ и } f_g = 1/D_g = 7,25\text{см}.$$

Оценка (3/4)

Оказывается, экспериментально определенное значение f_g по методу Бесселя лучше согласуется с вычисленными по формуле значением.

В таблице 2 приведены измеренные значения, определенные по методу Бесселя для системы линз, состоящей из собирающей линзы $f = +50\text{мм}$ и рассеивающей $f = -50\text{мм}$

Среднее значение общего: $f_g = (15,19 \pm 0,21)\text{см}$; $\Delta f_g / f_g \approx \pm 1,4\%$

При таком значении получается фокусное расстояние f_z рассеивающей линзы с $t = 14\text{мм}$: $f_z = -17,86\text{см}$

Длинную ножку объекта в виде Perl-L рекомендуется располагать горизонтально. С помощью ползунка на корпусе светильника лампа теперь перемещается так, чтобы Perl-L, который всегда остается неподвижным, освещался напрямую.

Оценка (4/4)

В следующей таблице приведены измеренные значения, определенные по методу Бесселя для системы линз, состоящей из собирающей линзы $f = +50\text{мм}$ и рассеивающей линзы $f = -50\text{мм}$.

n	Bessel-Methode		
	d/cm	e/cm	f_g/cm
1	96,0	58,0	15,24
2	93,0	55,0	15,12
3	90,0	51,0	15,28
4	87,0	47,0	15,4
5	84,0	44,0	15,24
6	81,0	40,5	15,19
7	78,0	36,5	15,23
8	75,0	33,5	15,01
9	72,0	29,5	14,98

Таблица 2: Фокусное расстояние f_g системы линз, состоящей из собирающей линзы $f = +50\text{мм}$ и рассеивающей линзы $f = -50\text{мм}$