

-2. Градуировка фотометра и изучение отражения света

Условие

Задание 11-2. Градуировка фотометра и изучение отражения света.



Не всегда под рукой может оказаться измеритель интенсивности света. Не беда – в который раз на белорусских олимпиадах используется фотоэлемент от обычного, китайского калькулятора. Вам предстоит проверить его работоспособность и сего помощью исследовать зависимость интенсивности отраженного света от угла падения.

Вопрос 0 (тоже оценивается!) Чей портрет изображен на заставке к задаче и почему.

Приборы и материалы: источник света (лампочка накаливания с аккумулятором) на подставке, фотоэлемент калькулятора с мультиметром, резистор 150 кОм, линза собирающая, экран со шкалой, линейка 40 см, стеклянная пластинка, напыленное зеркало (толстое, стеклянное), зеркало металлическое (маленькое на стеклышке), набор нейтральных светофильтров, пластилин, скотч, магнитная дискета.

Внимание! для успешного выполнения работы соблюдайте следующие правила: 1. Ваш стол застелен белой бумагой – можете рисовать, чертить, писать на ней. 2. Оптические приборы (особенно отражающие поверхности) любят чистоту, старайтесь не трогать их пальцами, время от времени протирайте их салфеткой. 3. Используйте пластилин и скотч в качестве крепежа. 4. Калькулятор прикройте черной дискетой, так, чтобы ее отверстие приходилось на фотоэлемент, это же кольцо поможет вам настраивать установку. 5. В оптических измерениях нужна «сноровка, закалка... юстировка». Не жалейте времени на тщательную настройку оптических схем. 6. Для измерения интенсивности подключите к фотоэлементу резистор и с помощью мультиметра измеряйте на нем напряжение, которое и будет показателем интенсивности. 7. Постоянно измеряйте фоновый сигнал (напряжение на резисторе при выключенной лампочке). Старайтесь, чтобы фон был послабее (затемняйте и перекрывайте посторонние источники света), вычитайте фоновый сигнал из результатов основных измерений. 8. Аккумулятор лампочки достаточно быстро «садится», поэтому включайте лампочку только во время проведения измерений. 9. Во всех измерениях старайтесь, чтобы фотоэлемент был полностью освещен. 10. Во всех измерениях старайтесь добиться максимальных показаний мультиметра. 11. В каждой части обязательны схемы установок (оптической части) – расположение всех оптических элементов, расстояния между ними, углы, предполагаемый ход световых лучей.

Часть 1. Фотометр - расходящийся пучок.

Одна из главных проблем оптических датчиков (помимо малой чувствительности) – нелинейность, когда снимаемые показания не пропорциональны интенсивности падающего света. В данной части работы вам необходимо исследовать именно это свойство фотоприемника.

Для проверки линейности (пропорциональности между интенсивностью света и показанием фотометра) необходимо источник, интенсивность которого можно изменять в известное число раз.

1.1 Для изменения интенсивности света, попадающего на фотоприемник можно использовать расходящийся световой пучок. Расположите линзу рядом с лампочкой так, чтобы она формировала расходящийся световой пучок с четкой, хорошо видимой границей. Измерьте зависимость показаний вашего прибора от диаметра светового пучка в плоскости фотоприемника.

1.2 Укажите, как вы изменяли диаметр пятна в плоскости приемника.

1.3 Используя полученные данные, проверьте, является фотоприемник линейным. Обоснуйте ваш вывод (возможно графически).

Часть 2. Фотометр - расходящийся пучок.

Интенсивность света можно изменять в одно и тоже число раз, используя одинаковые светофильтры. В вашем распоряжении пять одинаковых светофильтров (серых пленок).

2.1 Измерьте зависимость показаний фотометра от числа светофильтров, перекрывающих световой пучок (не забудьте привести схему вашей установки: расположения, расстояния ...)

2.2 Используя полученные данные, проверьте, является фотоприемник линейным. Обоснуйте ваш вывод (возможно графически).

2.3 Считая приемник линейным, рассчитайте коэффициент пропускания светофильтра (с оценкой погрешности).

Часть 3. Отражение света от стеклянной пластинки.

3.1 Измерьте зависимость интенсивности отраженного от стеклянной пластинки света от угла падения. Постройте график этой зависимости. Дайте ему качественное объяснение.

3.2 Оцените коэффициент отражения света от стекла при угле падения в 45° .

Часть 4. Отражение от зеркал.

Проведите измерения аналогичные части 3 для двух зеркал. Возможно, вам придется изменить оптическую схему установки.

4.1 Измерьте зависимость интенсивности отраженного от стеклянной пластинки света от угла падения. Постройте график этой зависимости. Дайте ему качественное объяснение.

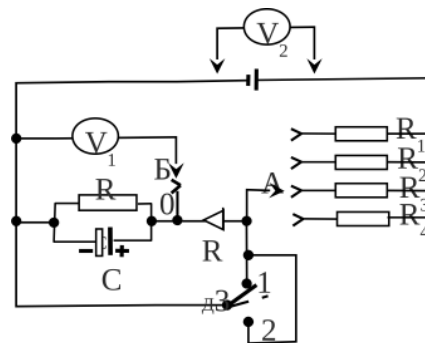
4.2 Оцените коэффициент отражения света от стекла при угле падения в 45° .

Решение

Задание №2

Процессы в электрической цепи довольно быстротечны, поэтому необходимо собрать такую схему рис.5, чтобы при перемещении ключа из положения 1 в положение 2 конденсатор

заряжался, а при замыкании контактов 3 и 2 или 3 и 1 зарядка и разрядка конденсатора через внешнюю цепь отсутствовала! Учитывая сопротивление утечки конденсатора, необходимо за короткое время после замыкания контакта 2 и 3 производить мультиметром измерение напряжения на конденсаторе. Время переключения выключателя из положения 3,1 в 3,2 сравнимо с временем реакции человека ($\tau \approx 0,2$ с). Оценим время зарядки конденсатора при подключении контакта А последовательно с резисторами $R_1 - R_4$, если контакт 3 не замкнут с контактами 1 и 2.



R	10^2	10^3	10^4	$1,1 \cdot 10^5$
Ом				
R_d	$2 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^2$	110^5	$1 \cdot 10^4$
Ом				
$\tau = 2,3(R + R_d)C$	$6 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-1}$	6

Таким образом, для определения времени переключения переключателя подходит резистор $R_4 = 1,1 \times 10^5$ Ом последовательно включенный с диодом, сопротивление которого равно $R_d = 1 \times 10^4$ Ом, т. к. время зарядки конденсатора существенно больше времени возможного переключения контакта.

Если считать ток зарядки конденсатора за время переключения ключа постоянным и равным $I = \frac{U_2}{R_{d4} + R_4}$, то $\frac{I\tau_0}{C} = U_1$ и время зарядки конденсатора (время, когда контакты 3,1 разомкнуты, а контакты 3,2 не замкнуты) равно:

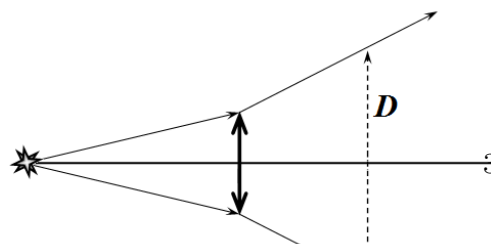
$$\tau_0 = \frac{U_1 (R_{d4} + R_4) C}{U_2} = \frac{0,23 (10^4 + 1,1 \times 10^5) 20 \times 10^{-6}}{4,73} = 0,1170 \approx 0,1 \text{ с}$$

Задание 11-2. Градуировка фотометра и изучение отражения света.

Вопрос 0. На заставке портрет Огюста Френеля – французского оптика, автора формул Френеля, описывающих интенсивности отраженного и преломленного света.

Часть 1. Фотометр - расходящийся пучок.

Оптическая схема показана на рисунке. Удобней располагать лампочку до фокуса линзы, в случае получается расходящийся световой пучок с резко очерченной границей. Для большего угла расхождения подставки линзы



и лампочки – впритык друг к другу. Диаметр светового пятна измеряется с помощью линейки.

При неизменном расстоянии между лампочкой и линзой световой поток, падающий на линзу, остается неизменным. Поэтому интенсивность света в области круглого светового пятна оказывается обратно пропорциональной площади пятна, или обратно пропорциональной квадрату диаметра пятна.

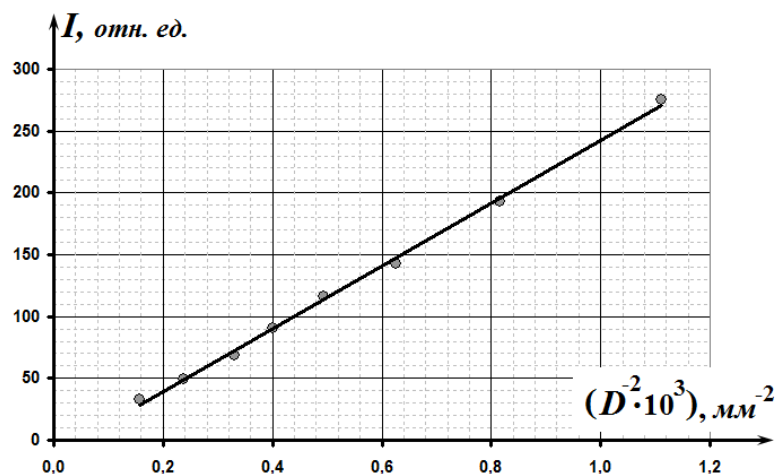


График 1. Проверка линейности по диаметру пятна

Результаты измерений зависимости интенсивности I от диаметра пятна D приведены в таблице 1, зависимость интенсивности от D^{-2} показана на графике 1.

Таблица 1.

** D , мм**	** I , отн. ед.**	** $1000 \cdot D^{-2}$ **
30	275	1,11

35	193	0,82
40	143	0,63
45	116	0,49
50	91	0,40
55	69	0,33
65	49	0,24
80	33	0,16

Получена практически линейная зависимость, что свидетельствует о линейности фотоприемника.

Часть 2. Фотометр - расходящийся пучок.

Оптическая схема остается неизменной. Расстояние до фотоприемника должно быть таким, чтобы диаметр пятна был минимальным, но при этом фотоприемник полностью освещен.

Обозначим коэффициент поглощения одного светофильтра - γ , тогда коэффициент пропускания равен $\tau = 1 - \gamma$.

Если свет пройдет через n фильтров, то его интенсивность окажется равной

$$I_n = I_0 \cdot \gamma^n. \quad (1)$$

Для линеаризации этой зависимости, прологарифмируем ее:

$$\ln I_n = \ln I_0 - n \ln \gamma \quad (2)$$

Таким образом, зависимость логарифма интенсивности от числа фильтров линейна, причем коэффициент наклона равен логарифму коэффициента поглощения.

Результаты измерений зависимости интенсивности от числа фильтров приведены в Таблице 2. Линеаризованная зависимость показана на графике 2.

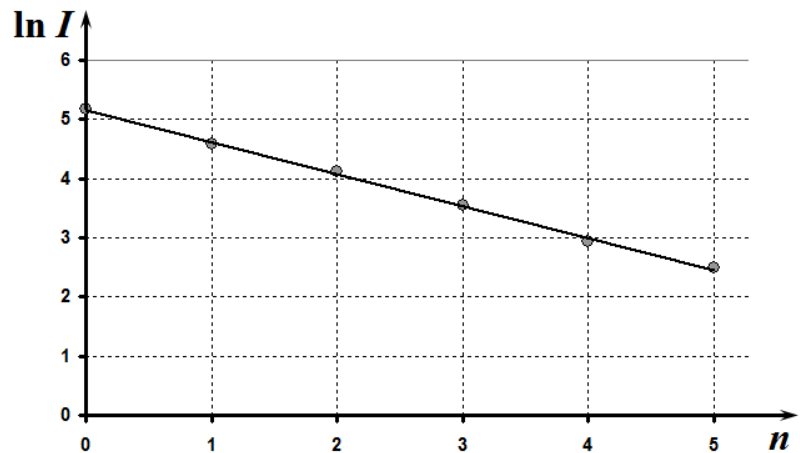


График 2. Зависимость интенсивности от числа фильтров

Таблица 2.

n	I	$\ln I$
0	176	5,170
1	98	4,585
2	61	4,111
3	35	3,555
4	19	2,944
5	12	2,485

Получена практически линейная зависимость, что еще раз подтверждает линейность работы фотоприемника. Параметры линейной зависимости $\ln I = a \cdot n + b$, рассчитанные по методу наименьших квадратов равны:

$$\begin{aligned} a &= -0,54 \pm 0,02 \\ b &= 5,16 \pm 0,06 \end{aligned} \quad (3)$$

Коэффициент поглощения (как следует из выражения (2)) рассчитывается по формуле

$$\gamma = \exp(a) = 0,58. \quad (4)$$

Погрешность коэффициента поглощения необходимо рассчитывать по формуле

$$\Delta\gamma = \frac{d\gamma}{da} \Delta a = \gamma \cdot \Delta a = 0,01 \quad (5)$$

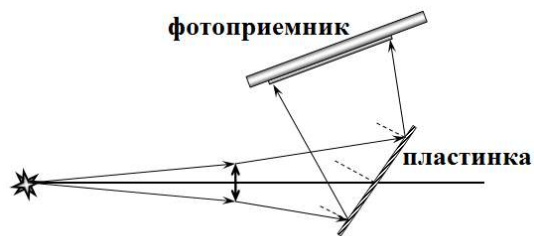
Окончательно, для коэффициента пропускания получаем:

$$\tau = 0,42 \pm 0,01 \quad (6)$$

Часть 3. Отражение света от стеклянной пластинки.

Оптическая схема установки показана на рисунке.

Опять удобно располагать лампочку до фокуса (собирается большой световой поток). Размеры пластинки позволяют отражать весь пучок, если расстояния от линзы до пластики и от пластинки фотоприемника примерно равны 20 см. Для измерения углов удобно разграфить лист бумаги. Не составляет труда построить равнобедренные треугольники со сторонами 20х20х3,5 см (тогда угол при вершине равен 10°). Перемещая фотоприемник по этой сетке, задаем двойной угол падения. Для измерения интенсивности падающего света фотоприемник следует расположить на оси пучка на таком же расстоянии, как и при измерении интенсивности отраженного света.



Результаты измерений приведены в Таблице 3. На графике 3 показана эта же зависимость. Интенсивность падающего света примерно 130 мВ

Таблица 3.

$2\alpha^\circ$	$I, \text{ мВ}$	α°	I/I_0
60	16,2	30	0,125
70	17,0	35	0,131
80	16,2	40	0,125
90	16,2	45	0,125
100	18,3	50	0,141
110	22,3	55	0,172
120	25,8	60	0,198
130	34,4	65	0,265
140	39,9	70	0,307
150	55,5	75	0,427
160	70,0	80	0,538

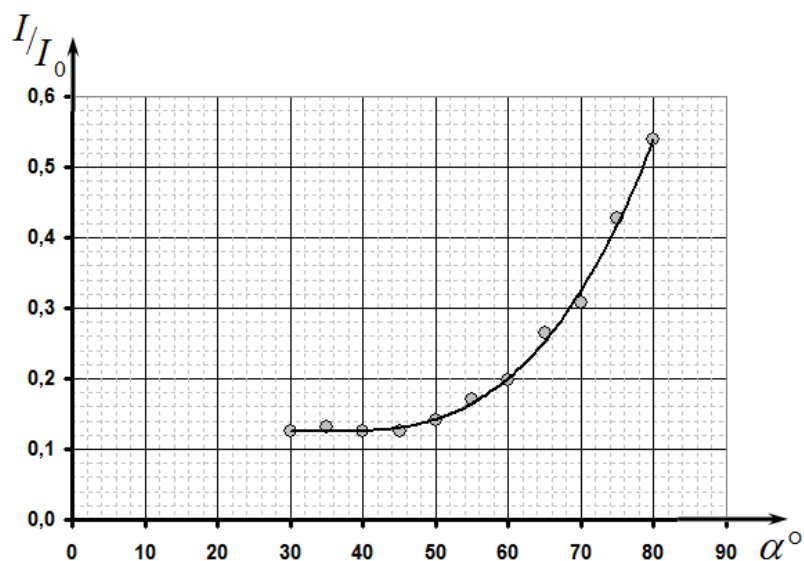


График 3. Отражение от стеклянной пластинки

Главной особенностью полученной зависимости является резкое возрастание коэффициента отражения при углах падения больших 50° .

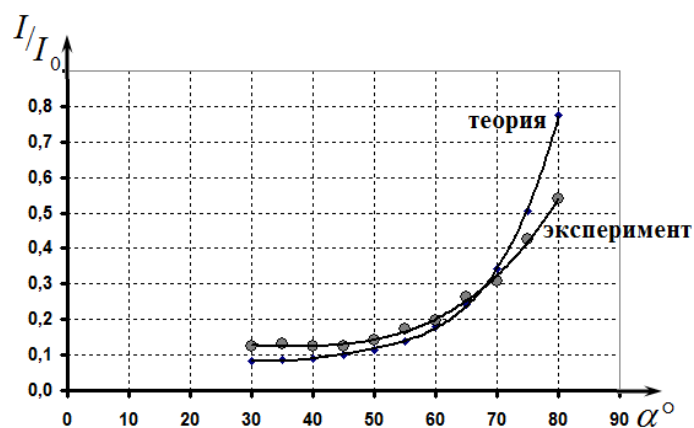
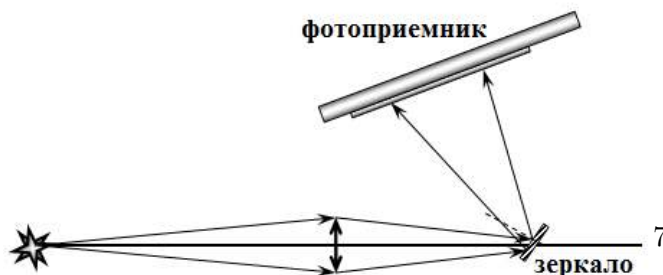


График 4. Сравнение с теорией

Интересно сравнить полученную зависимость с теоретической зависимостью, рассчитанной по формулам Френеля. На графике 4 рассчитан коэффициент отражения неполяризованного света и показателя преломления пластики $n = 1,5$. Как видно эти результаты качественно согласуются.

Часть 4. Отражение от зеркал.

Так как размеры зеркал малы, то необходимо сфокусировать излучение них, т.е. поместить лампочку за фокусом линзы. В этом случае юстировка установки при изменении отражения достаточно сложна, поэтому результаты носят качественный характер.



Важно отметить, что для диэлектрического зеркала коэффициент отражения уменьшается при увеличении угла падения, а для металлического - растет. Значения коэффициента отражения при угле падения в 30° примерно равны 70-80%. В таблице 4 и на соответствующем графике приведены результаты измерений.



Таблица 5.

α°	r_1	r_2
30	0,89	0,41
35	0,86	0,49
40	0,78	0,54
45	0,77	0,66
50	0,68	0,88
55	0,61	0,97
60	0,56	0,90