

Условие

Задание 2. Поглощение света.

При прохождении света через фильтры его интенсивность убывает вследствие поглощения света. В данной работе Вам необходимо исследовать это явление и объяснить некоторые его особенности.

Оборудование: Источники света: красный лазер, белый светодиод; источник питания, фотоприемник (фотодиод), подставки, переменный резистор 20 кОм, мультиметр, соединительные провода, комплект пленок: 5 красных, 5 зеленых, 5 синих, 5 серых; прищепка, пластилин, липкая лента.

Коэффициентом пропускания пленки K называется отношение интенсивности прошедшего через пленку света I_1 к интенсивности падающего света I_0 , поэтому

$$I_1 = KI_0. \quad (1)$$

Если свет проходит через n пленок с одинаковыми коэффициентами пропускания, то интенсивность прошедшего света описывается очевидной формулой

$$I_n = K^n I_0. \quad (2)$$

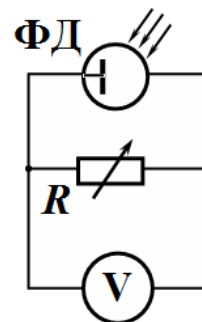
Для анализа этой зависимости и определения коэффициента пропускания удобно использовать логарифмический масштаб

$$\ln \left(\frac{I_n}{I_0} \right) = n \ln K. \quad (3)$$

Используйте этот подход в обработке результатов измерений.

Для измерения интенсивности света используйте следующую схему. Сопротивление резистора в этой схеме надо подбирать экспериментально. При больших значениях этого сопротивления фотоприемник может перейти в режим насыщения, когда измеряемое напряжение оказывается не пропорциональным интенсивности падающего света. При уменьшении сопротивления измеряемое напряжение уменьшается, но характеристика фотоприемника становится линейной.

Закрепите с помощью липкой ленты и пластилина на столе фотоприемник на подставке. Расположите лазер таким образом, чтобы его луч попадал на фотоприемник и полностью освещал его (надо чтобы пятно лазера немного превышало размер входного отверстия). В ходе измерений положение лазера и фотоприемника не должно изменяться. Если в ходе измерений с одним комплектом 5 одинаковых пленок произошло смещение источника или фотоприемника, измерения начинайте сначала. Исследуемые пленки скрепляйте с помощью прищепки и подносите непосредственно



к входному отверстию фотоприемника, не касаясь его. Перед каждой серией измерений пропускания одинаковых пленок измеряйте фоновое значение интенсивности (при выключенном источнике), при необходимости учитывайте его при расчетах.

Часть 1. Выбор режима работы фотоприемника.

Фотоприемник освещается светом лазера. Для измерения интенсивности используйте описанную электрическую схему. Измерения проводите только с серыми пленками.

1.1 Проведите измерения зависимости напряжения U_n на резисторе от числа пленок n при 3 различных сопротивлениях резистора.

Сначала проведите измерения при 2 значениях сопротивлений резистора 20 кОм, 10 кОм. После этого установите такое значение сопротивления, при котором напряжение при максимальном освещении (т.е. без пленок) немного меньше 200 мВ. Используйте соответствующий диапазон измерения мультиметра.

1.2 Постройте на одном бланке графики зависимости логарифма напряжения $\ln U$ от числа пленок n для различных значений сопротивления резистора.

1.3 Качественно (и кратко) объясните полученные зависимости.

1.4 Рассчитайте коэффициент пропускания серой пленки K_C . Оцените погрешность найденного значения.

В дальнейшем работайте при таком значении сопротивления резистора, чтобы максимальное напряжение (при максимальном освещении) не превышало 200 мВ. При необходимости Вы можете изменять сопротивление резистора.

Часть 2. Поглощение красного света лазера.

2.1 Измерьте зависимости интенсивности света I_n , прошедшего через n одинаковых пленок, от числа этих пленок. Измерения проведите для красных, зеленых и синих пленок. Постройте графики (на одном бланке) линеаризованных зависимостей (3) для этих пленок.

2.2 Укажите, выполняется ли закон (2) в этих экспериментах.

2.3 Рассчитайте коэффициенты пропускания красной $K_{кр}$, зеленой $K_{зел}$ и синей $K_{син}$ пленок.

2.4 Измерьте пропускания трех пленок, сложенных вместе: двух красных и одной зеленой. Приведите теоретическую формулу для коэффициента пропускания этих пленок и сравните результат расчета по этой формуле с результатом измерения.

Часть 3. Поглощение белого света.

Установите вместо лазера источник белого света. Расположите его вблизи приемника, оставьте небольшой промежуток между ними для размещения в нем исследуемых пленок.

3.1 Измерьте зависимости интенсивности света I_n , прошедшего через n одинаковых пленок, от числа n . Измерения проведите для всех типов пленок: серой, красной, зеленой и синей. Постройте линеаризованные графики полученных зависимостей.

3.2 Докажите, что, например, для зеленой пленки закон поглощения (2) строго не выполняется.

3.3 Рассчитайте коэффициенты пропускания всех типов пленок: серой, красной, зеленой. Оцените погрешность измерения коэффициента пропускания серой пленки.

3.4 Сравните коэффициенты пропускания белого света с коэффициентами пропускания красного света. Укажите основную причину их возможных различий. **3.5** Измерьте коэффициент пропускания двойной пленки одной красной и одной синей. Приведите теоретическую формулу для коэффициента пропускания этих пленок и сравните результат расчета по этой формуле с результатом измерения. Качественно объясните полученный результат.

3.6 Сделайте общий вывод: от чего зависит коэффициент пропускания пленки.

Решение

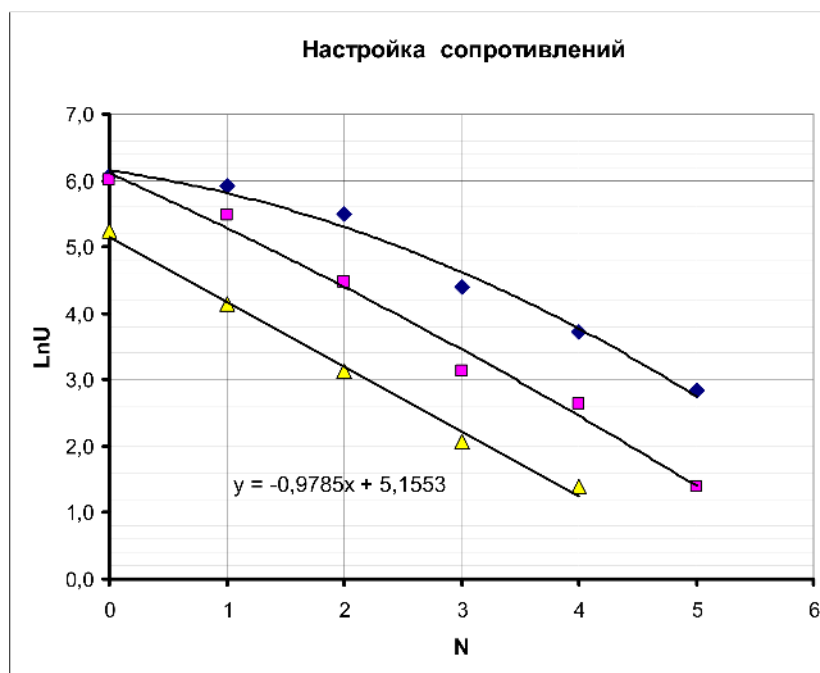
Задание 2. Поглощение света (Решение)

Часть 1. Выбор режима работы фотоприемника.

1.1 Результаты измерений напряжений на резисторе от числа N серых пленок приведены в Таблице 1. В последних столбцах таблицы приведены значения логарифмов $\ln(U)$ для трех полученных зависимостей.

Таблица 1

n	$U(20k)$	$U(10k)$	$U(200mV)$	$\ln U(20k)$	$\ln U(10k)$	$\ln U(200mV)$
0	427	407	190	6,057	6,009	5,247
1	369	239	63	5,911	5,476	4,143
2	242	88	23	5,489	4,477	3,135
3	82	23	8	4,407	3,135	2,079
4	41	14	4	3,714	2,639	1,386
5	17	4		2,833	1,386	



1.2 Графики полученных зависимостей показаны на рисунке.

1.3 Зависимости при высоких сопротивлениях не линейны. Последний график описывается линейной зависимостью. Очевидная причина этого – нелинейность фотоприемника, он может работать в режиме насыщения. Именно поэтому авторы рекомендуют работать именно в этом диапазоне.

1.4 Для «старших» пора уже пользоваться для обработки зависимостей МНК. Расчет коэффициента наклона и последующий переход ($K = \exp(a)$) дает следующее значение коэффициента пропускания для серой пленки

$$K = 0,37 \pm 0,2$$

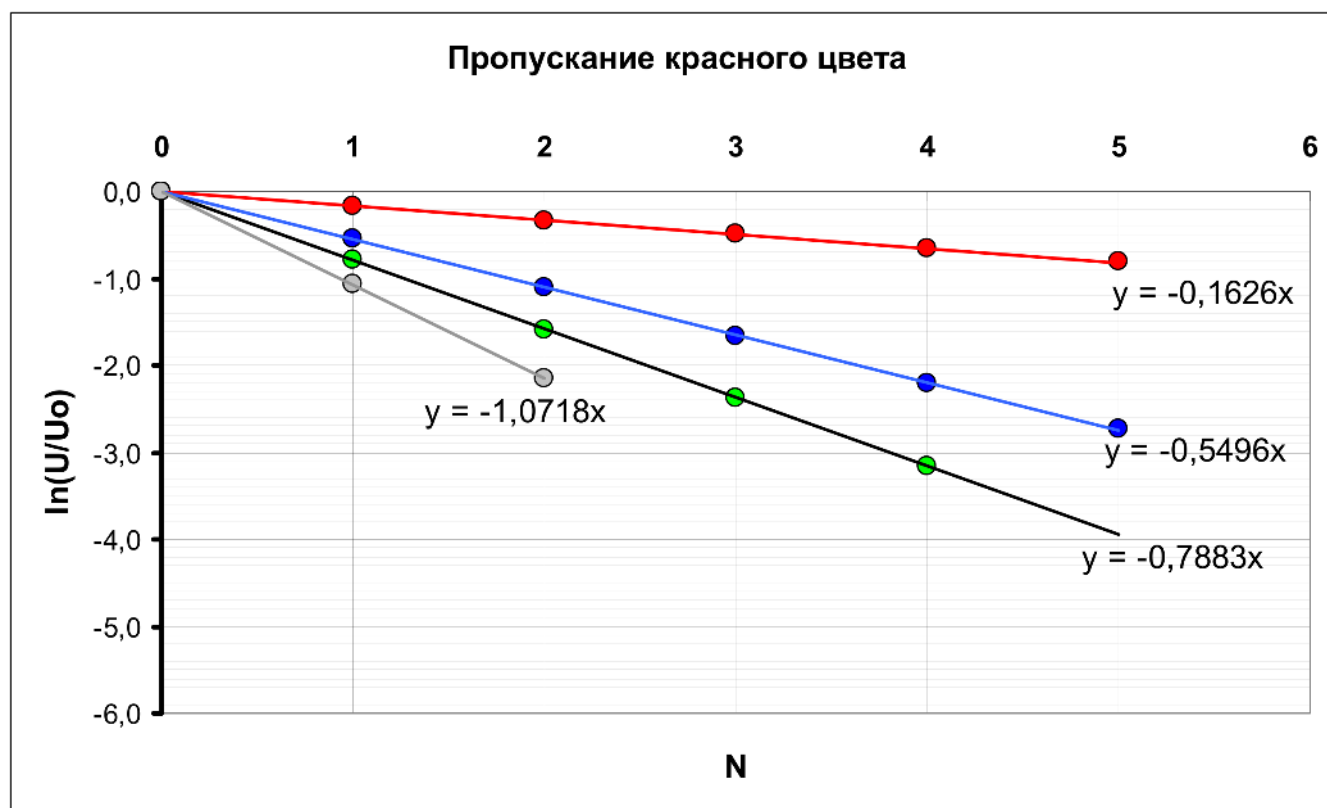
Часть 2. Поглощение красного света лазера.

2.1 Результаты измерений зависимости интенсивности света от числа пленок (для различных цветов) приведены в Таблице 2.

Таблица 2 Пропускание красного света

n	красный		зеленый		синий		серый	
N	U	$\ln(U/U_0)$	U	$\ln(U/U_0)$	U	$\ln(U/U_0)$	U	$\ln(U/U_0)$
0	129,5	0,000	131,1	0,000	131,7	0,000	131,2	4,877
1	109,4	-0,169	60,2	-0,778	76,9	-0,538	45,4	3,816
2	92,4	-0,337	27,0	-1,580	43,7	-1,102	15,3	2,728
3	79,6	-0,486	12,3	-2,366	24,9	-1,667		
4	67,5	-0,651	5,6	-3,153	14,6	-2,200		
5	57,7	-0,808			8,5	-2,737		
K	0,85		0,45		0,58		0,34	

Графики зависимостей



2.2 Так как все зависимости полученные зависимости линейны, то закон поглощения света в форме (2) выполняется для всех пленок.

2.3 Коэффициенты пропускания, рассчитанные по МНК, для всех пленок приведены в нижней строке Таблицы 2.

2.4 Теоретическое значение коэффициента пропускания двух красных и одной зеленой пленки равно

$$K = K_{\text{кр}}^2 K_{\text{зел}} = 0,32.$$

Экспериментально измеренное значение этого коэффициента в пределах погрешности совпадает с этим значением.

Часть 3. Поглощение белого света

3.1 Результаты измерений здесь не приводятся, так как они существенно зависят от типа источника белого света, которые закупают хозяева олимпиады.

3.2 Закон (2) для зеленой пленки не выполняется, так как полученная зависимость не является геометрической прогрессией. Один из возможных методов доказательства вычисление последовательных отношений интенсивности, которое изменяется закономерным образом. Альтернативный метод ряд последовательных логарифмов пропускания не является арифметической прогрессией.

3.3-3.4 Для дальнейшего анализа приведем сравнительную таблицу коэффициентов пропускания (еще раз подчеркнем – основываться на численных значениях для белого света нельзя, они могут быть иными для других источников).

фильтр	свет	
	белый	красный
красный	0,89	0,85
зеленый	0,89	0,45
серый	0,40	0,34
синий	0,88	0,58

Эти коэффициенты существенно различаются. Главная причина в различных спектрах излучения.

3.5 Для белого света приведенная в п.2.4 формула не выполняется – причина та же; излучение лазера монохроматическое, а белый свет имеет сплошной спектр, возможно даже уходящий в ИК область (например, для ламп накаливания).

3.6 Вывод - Поглощение и пропускание зависят не только от оптических свойств материала, но и от спектра падающего излучения.