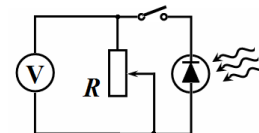


РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТУРА**Поглощение света (15,0 балла)****Часть 1. Изучение фотоприемника**

1.1 Рабочая схема измерений приведена на рисунке. При замкнутом выключателе мультиметр переводится в режим измерения напряжения (измеряется напряжение на резисторе); при разомкнутом – в режиме омметра измеряется сопротивление резистора.



1.2 – 1.5 Результаты измерения зависимости напряжения на резисторе от его сопротивления приведены в Таблице 1. В ней же представлены результаты расчетов силы тока по формуле

$$I = \frac{U}{R} \quad (1)$$

и мощности, выделяющейся на резисторе, рассчитанной по формуле

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (2)$$

Таблица 1

$R, \text{кОм}$	$U, \text{мВ}$	$I, \text{мкА}$	$P, \text{мкВт}$
104	389	3,74	1,46
87,4	388	4,44	1,72
69,5	387	5,57	2,15
48,5	385	7,94	3,06
29,3	382	13,04	4,98
15,9	373	23,46	8,75
10,8	363	33,61	12,20
8,6	353	41,05	14,49
7,9	348	44,05	15,33
6,8	336	49,41	16,60
6,4	330	51,56	17,02
5,3	307	57,92	17,78
5,1	301	59,02	17,76
4,3	266	61,86	16,45
3,9	246	63,08	15,52
3,1	196	63,23	12,39
2,8	176	62,86	11,06
2,4	154	64,17	9,88
2	131	65,50	8,58
1,5	100	66,67	6,67
1,3	86	66,15	5,69

График зависимости напряжения на резисторе от силы тока через него показан на рисунке.

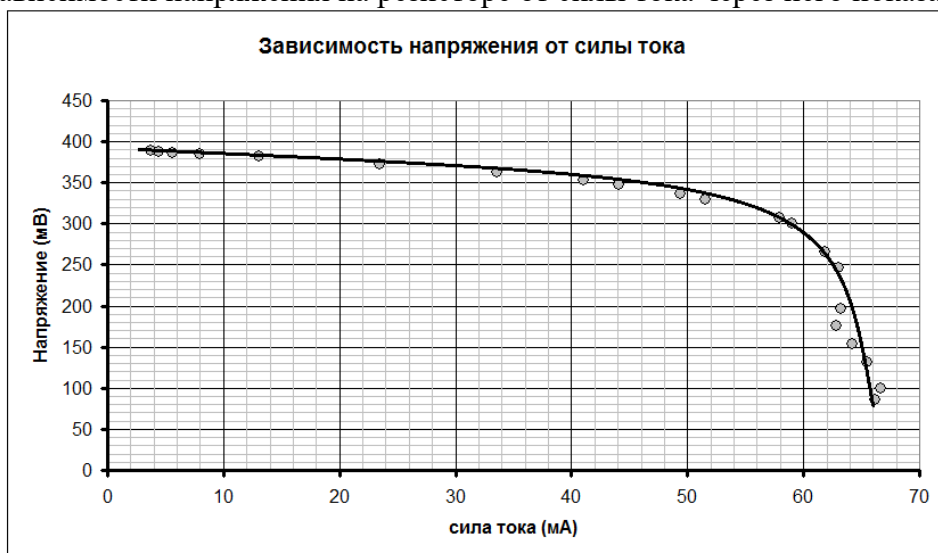
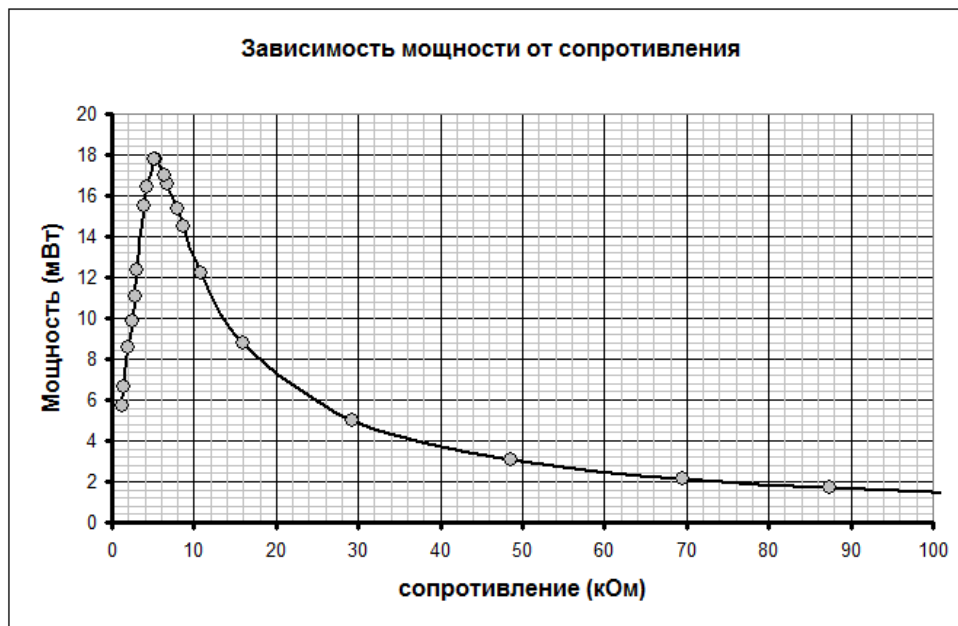


График зависимости мощности, выделяющейся на резисторе, от его сопротивления приведен на следующем рисунке.



Для определения положения максимума потребовалось провести дополнительные измерения в диапазоне от 0 до 10кОм. По результатам измерений оказалась, что максимальная мощность тока на резисторе достигается при сопротивлении

$$R = 5,4\text{кОм} . \tag{3}$$

Часть 2. Поглощение лазерного излучения

2.1 Так как коэффициенты пропускания одинаковых светофильтров равны, а излучение лазера является монохроматическим, то зависимость интенсивности прошедшего света от числа светофильтров имеет вид геометрической прогрессии

$$I_n = k^n I_0 . \tag{4}$$

2.2 Результаты измерений зависимости интенсивности света от числа светофильтров приведены в Таблице 2. Измерения проведены при сопротивлении 3,3 кОм.

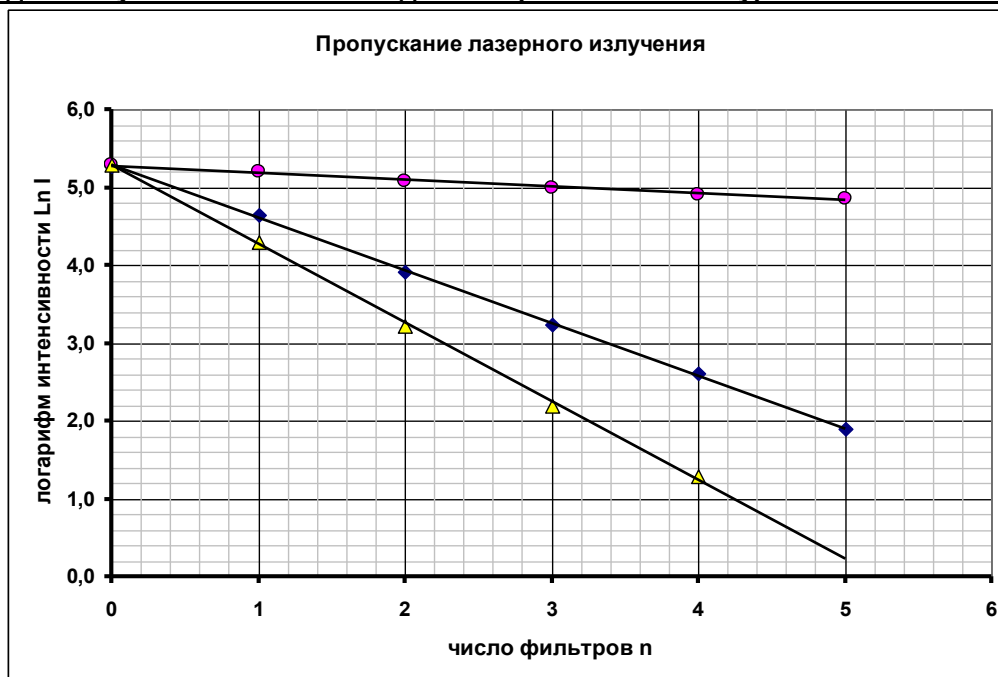
Таблица 2

	серый фильтр	желтый фильтр	синий фильтр		серый фильтр	желтый фильтр	синий фильтр
n	$U, \text{ мВ}$	$U, \text{ мВ}$	$U, \text{ мВ}$	n	$\text{Ln } U$	$\text{Ln } U$	$\text{Ln } U$
0	196	197	197	0	5,28	5,28	5,28
1	104	180	74	1	4,64	5,19	4,30
2	50	161	24,9	2	3,91	5,08	3,21
3	25,4	148	9	3	3,23	5,00	2,20
4	13,6	135	3,6	4	2,61	4,91	1,28
5	6,6	128		5	1,89	4,85	

Для проверки формулы (4) ее удобно представить в полулогарифмическом масштабе

$$\ln I_n = \ln I_0 - n \ln k . \tag{5}$$

В таком масштабе зависимость $\ln I_n$ от числа светофильтров n должна быть линейна. Проведенные измерения и расчеты подтверждают данный вывод, т.е. формула (4) правильно описывает интенсивность прошедшего света. На рисунке ниже показаны полученные результаты.



2.3 Как следует из формулы (5) коэффициент наклона a зависимости $\ln I = an + b$ равен логарифму коэффициента пропускания

$$a = \ln k, \tag{6}$$

поэтому коэффициент пропускания рассчитывается по формуле

$$k = \exp(a), \tag{7}$$

а его погрешность определяется выражением

$$\Delta k = \exp(a) \cdot \Delta a, \tag{8}$$

В таблице 3 приведены результаты расчетов (по методу наименьших квадратов) коэффициентов наклона a , их погрешностей Δa , коэффициентов пропускания k и их погрешностей для трех типов светофильтров.

Таблица 3

	серый фильтр	желтый фильтр	синий фильтр
a	-0,678	-0,089	-1,011
Δa	0,014	0,008	0,032
k	0,508	0,915	0,364
Δk	0,007	0,007	0,012

2.4 Коэффициент пропускания пары светофильтров для лазерного монохроматического излучения равен произведению коэффициентов пропускания каждого из светофильтров:

$$k_{1,2} = k_1 \cdot k_2 \tag{9}$$

В таблице 4 приведены измеренные и рассчитанные значения коэффициентов пропускания для всех пар. Как следует из приведенных данных, наблюдается хорошее соответствие этих результатов, т.е. формула (9) подтверждается экспериментально.

Таблица 4

Пара фильтров	измерено	рассчитано
синий + желтый	0,342	0,333
синий + серый	0,187	0,185
желтый + серый	0,460	0,464

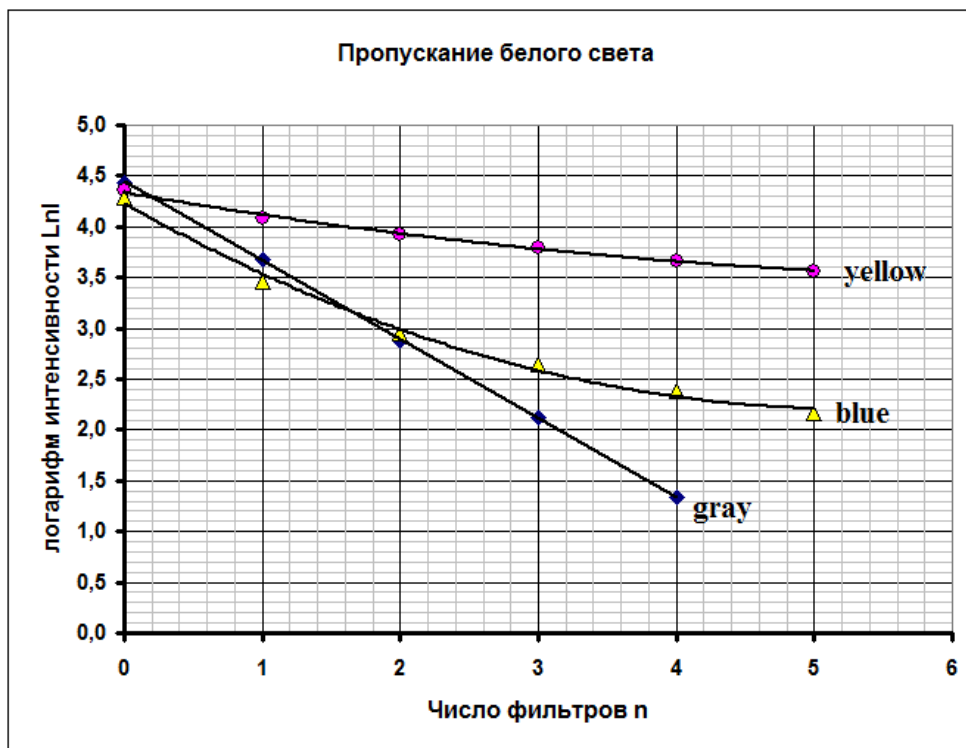
Часть 3. Поглощение белого света

3.1 Результаты измерений интенсивности света, прошедшего через светофильтры, приведены в таблице 5. (измерения проведены при сопротивлении резистора 10,1 кОм).

Таблица 5

	серый фильтр	желтый фильтр	синий фильтр		серый фильтр	желтый фильтр	синий фильтр
n	$U, мВ$	$U, мВ$	$U, мВ$	n	$Ln U$	$Ln U$	$Ln U$
0	84,8	77,8	72,6	0	4,44	4,35	4,28
1	39,4	59,4	31,7	1	3,67	4,08	3,46
2	17,9	50,8	19,2	2	2,88	3,93	2,95
3	8,4	44,5	14	3	2,13	3,80	2,64
4	3,8	39,2	10,8	4	1,34	3,67	2,38
5		35	8,7	5		3,56	2,16

Графики полученных зависимостей приведены на следующем рисунке.



3.2 Из графиков видно, что зависимость (5) выполняется для серых и не выполняется для синих. Основная причина нарушения полученного закона заключается в том, что коэффициент пропускания существенно зависит от длины волны падающего света. Так, для серых фильтров коэффициент пропускания мало изменяется в видимом диапазоне, поэтому для них формула (5) выполняется (в пределах погрешностей измерений). Для синих фильтров коэффициент пропускания изменяется заметно, поэтому формула (5) к ним не применима.

3.3 Измеренные значения коэффициентов пропускания белого света для трех светофильтров приведены в ниже.

Таблица 6

Серый фильтр	0,450
Синий фильтр	0,431
Желтый фильтр	0,759

В таблице 7 приведены измеренные и рассчитанные значения коэффициентов пропускания для пар светофильтров, Видно, что для белого света коэффициент пропускания пары пленок не равен произведению коэффициентов пропускания пленок, что связано с зависимостью коэффициентов пропускания от длины волны.

Таблица 7

Пара фильтров		измерено		рассчитано
синий + желтый		0,271		0,327
синий + серый		0,188		0,194
желтый + серый		0,362		0,342

Схема оценивания

Пункт задачи	Критерии оценивания	Всего за пункт	Баллы
Часть 1. Изучение фотоприемника		6,0	
1.1	Подключение выключателя	0,2	0,2
1.2	Измерения $U(R)$: <i>Оценивается если отличия от табличных не более 50%:</i> - максимальное напряжение более 350 мВ; - максимальное сопротивление более 90 кОм; - минимальное сопротивление менее 2 кОм; - число точек 15 и более (10-14, 7- 9, менее); - не менее 5 точек в диапазоне до 10 кОм; - получена монотонно убывающая зависимость; - указаны единицы измерения (кОм. мВ);	3,5	0,2 0,2 0,2 2(1;0,5;0) 0,5 0,2 0,1+0,1
1.3	Нагрузочная характеристика: (оценивается, если оценен п.1.2) - формула для расчета силы тока; - проведен расчет сил токов для всех экспериментальных точек; - указана единица измерения силы тока (мкА); - качественное поведение (сначала медленный, потом резкий спад); Построение графика: - оси подписаны и оцифрованы; - нанесены точки в соответствии с таблицей; - проведена сглаживающая кривая;	0,9	0,1 0,2 0,1 0,2 0,1 0,1 0,1
1.4	Зависимость мощности от сопротивления: (оценивается, если оценен п.1.2) - формула для расчета мощности; - проведен расчет мощностей для всех экспериментальных точек; - указана единица измерения мощности (мкВт); - качественное поведение (наличие максимума в диапазоне до 10 кОм, медленный спад); Построение графика: - оси подписаны и оцифрованы; - нанесены точки в соответствии с таблицей; - проведена сглаживающая кривая;	0,9	0,1 0,2 0,1 0,2 0,1 0,1 0,1
1.5	Определено положение максимума В диапазоне 5-6 кОм (4-7 кОм, иное)	0,5	0,5(0,3;0)
Часть 2. Поглощение лазерного излучения		5,5	
2.1	Формула $I_n = k^n I_0$	0,2	0,2
2.2	Измерение пропускания <i>Оценивается если отличия от табличных не более 50%:</i> - Измерения в диапазоне 200 мВ; - Есть начальные интенсивности; - измерения проведены для 5 (4) фильтров; - получены убывающие зависимости; Линеаризация - использование полулогарифмического масштаба; - посчитаны логарифмы интенсивности для всех точек; Построение графика:(оценивается, если оценены результаты измерений)	2,6	0,1 0,1x3=0,3 0,3x3=0,9 0,1x3=0,3 0,2 0,2

	- оси подписаны и оцифрованы; - нанесены точки в соответствии с таблицей; - проведены сглаживающие прямые; Получены линейные зависимости;		0,1 0,1 0,1 0,3
2.3	Формула для расчета пропускания $k = \exp(a)$ Формула для расчета погрешности $\Delta k = \exp(a) \cdot \Delta a$; Проведены расчеты по всем точкам (МНК, усреднение); (Проведены расчеты по 2 точкам); Получены значения пропускания: Серый в диапазоне 0,45-0,55 (0,4 -0,6; иное) Желтый в диапазоне 0,85-0,95 (0,8-0,98; иное) Синий в диапазоне 0,30-0,40 (0,25-0,45; иное) Проведена оценка погрешностей	1,4	0,1 0,1 0,3 0,1 0,2(0,1;0) 0,2(0,1;0) 0,2(0,1;0) 0,1x3=0,3
2.4	Проведены измерения коэффициентов пропускания Синий+желтый в диапазоне 0,30-0,40 (0,25-0,45; иное) Синий+серый в диапазоне 0,15-0,25 (0,10-0,30; иное) Серый +желтый в диапазоне 0,40-0,50 (0,35 – 0,55; иное); Формула для расчета $k_{1,2} = k_1 \cdot k_2$; Проведены расчеты пропускания; Получено совпадение теории и эксперимента;	1,3	0,2(0,1;0) 0,2(0,1;0) 0,2(0,1;0) 0,1 0,1x3=0,3 0.1x3=0,3
Часть 3. Поглощение белого света		3,5	
3.1	Измерение пропускания Оценивается если отличия от табличных не более 50%: - Измерения в диапазоне до 100 мВ; - Есть начальные интенсивности; - измерения проведены для 5 (4) фильтров; - посчитаны логарифмы интенсивности для всех точек; Построение графика:(оценивается, если оценены результаты измерений) - оси подписаны и оцифрованы; - нанесены точки в соответствии с таблицей; - проведены сглаживающие линии; Для серого фильтра получена линейная зависимость; Для синего фильтра получена нелинейная зависимость	1,9	0,1 0,1x3=0,3 0,2x3=0,6 0,3 0,1 0,1 0,1 0,1 0,2
3.2	Формула не выполняется Причина зависимость пропускания от длины волны	0,3	0,1 0,2
3.3	Измерены коэффициенты пропускания Серый – 0,4-0,5 (0,35-0,55; иное) Синий - 0,4-0,5 (0,35-0,55; иное) Желтый – 0,7 – 0,8 (0,65 – 0,85; иное) Синий+желтый 0,22-0,3 (0,18 -3,5;иное) Синий+серый 0,14-0,23 (0,1 -0,27;иное) Желтый+серый 0,3 – 0,4 (0,25 – 0,45; иное) С расчетами не совпадает	1,3	0,2(0,1;0) 0,2(0,1;0) 0,2(0,1;0) 0,2(0,1;0) 0,2(0,1;0) 0,2(0,1;0) 0,1
	ВСЕГО	15	