

Изучение фотоэлемента

Условие

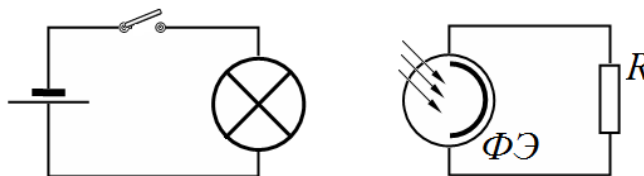
Задание 2.

«Изучение фотоэлемента»

Приборы и оборудование: лампочка накаливания на подставке с источником, калькулятор с фотоэлементом, мультиметр, переменный резистор, резистор сопротивлением с известным сопротивлением (его точное значение вам будет указано), соединительные провода, электрический ключ, ключ трехполюсный, картонная коробка, набор нейтральных светофильтров, картон, скотч, ножницы.

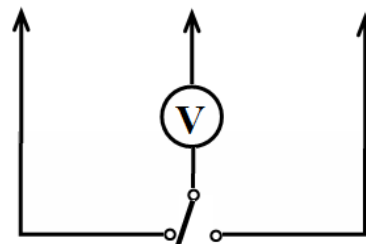
Внимание! Все измерения проводите в закрытой картонной коробке, чтобы исключить влияние внешнего освещения! Мультиметр используйте только в качестве вольтметра! Его сопротивление превышает 1 МОм.

Подключите батарейку к лампочке через электрический ключ. Проверьте, чтобы свет от лампочки попадал на фотоэлемент. Отрегулируйте положение фотоэлемента, так чтобы добиться максимального электрического тока. Подключите нагрузку к фотоэлементу.



Не забудьте привести в вашей работе использованные электрические схемы.

При разработке схемы подключения учитывайте, что вам необходимо измерять напряжение и силу тока с помощью одного вольтметра, который рекомендуем для экономии времени подключать по схеме, показанной на рисунке (внизу – трехполюсный ключ, для цифрового вольтметра полярность подключения не существенна).



Часть 1. Фотоэлемент – источник мощности!

Измерения проводите без светофильтров, при максимальной освещенности фотоэлемента!

1. Исследуйте зависимость электрического напряжения на внешней нагрузке R от силы тока через нее. Постройте график полученной зависимости.
2. Постройте график зависимости мощности, выделяющейся на внешней цепи, от ее сопротивления. Рассчитайте значение максимальной мощности, которую может дать фотоэлемент.
3. Постройте график зависимости силы тока во внешней нагрузке от ее сопротивления.

4. Закройте фотоэлемент одним светофильтром. Исследуйте зависимость силы тока в цепи от ее сопротивления в этом случае. Постройте график полученной зависимости на том же рисунке, что и в п.3.

Часть 2. Фотоэлемент – измеритель интенсивности света!

5. Обоснуйте на основании данных, полученных в первой части, что для измерения интенсивности (в относительных единицах) следует измерять величину фототока. Укажите, при каком сопротивлении внешней цепи следует проводить измерения интенсивности света. Приведите электрическую схему для проведения измерений.

6. Исследуйте зависимость фототока от интенсивности падающего света, изменяя его с помощью светофильтров. Считая, что ток фотоэлемента пропорционален интенсивности падающего света, определите коэффициент пропускания одного светофильтра.

7. Постройте график зависимости фототока от интенсивности падающего света (в относительных единицах). Проверьте использованное ранее предположение о прямо пропорциональной зависимости между этими величинами. Ответ обоснуйте.

Решение

Задание 11-2. Изучение фотоэлемента

Для изучения фотоэлемента, который обладает большим внутренним сопротивлением, необходимо использовать следующую схему. Здесь резистор с сопротивлением $R_0 = 20 \text{ кОм}$ является составной частью нагрузки. В положении ключа 1 вольтметр показывает напряжение на этом резисторе U_1 , которое используется для расчета силы тока в цепи, в положении 2 вольтметр показывает полное напряжение на нагрузке U_0 .

Формулы для расчета силы тока, сопротивления нагрузки, и мощности выделяющейся на ней приведены в предыдущей задаче. Поэтому можно приступить к изложению полученных результатов.

В Таблице 1. приведены результаты измерений напряжений и расчетов сил токов, сопротивлений и мощностей при освещении фотоэлемента лампочкой без светофильтра и со светофильтром.

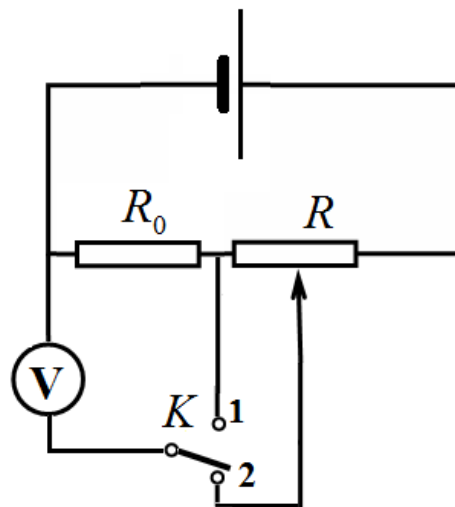
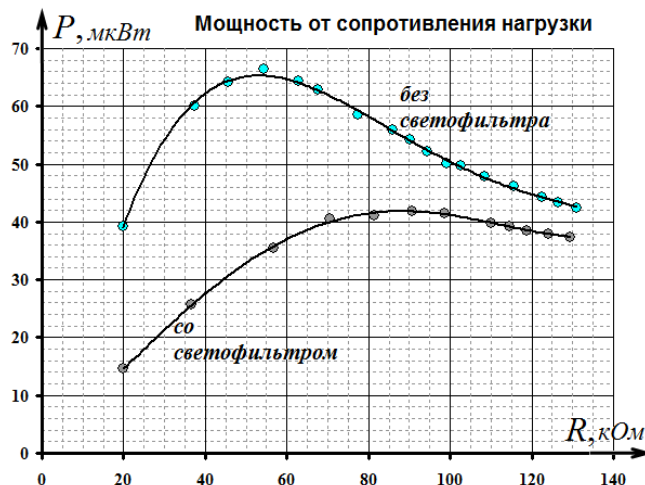
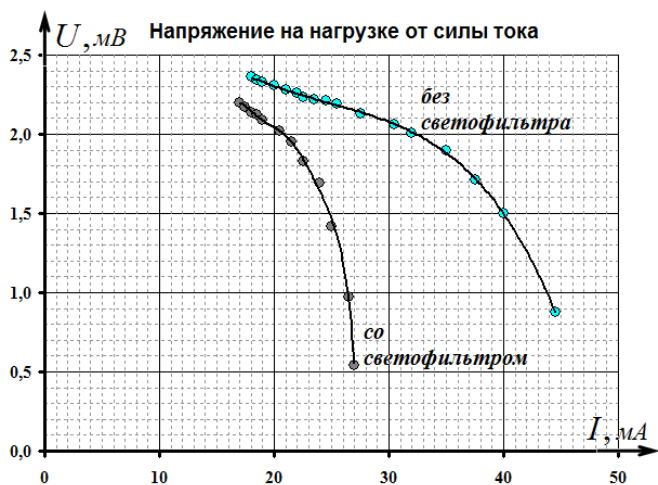


Таблица 1. Фотоэлемент – источник энергии.

Без светофильтра					Со светофильтром				
U_0 , В	U_1 , В	I мкА	R , кОм	P , мкВт	U_0 , В	U_1 , В	I мкА	R , кОм	P , мкВт
2,36	0,36	18,0	131,1	42,5	2,2	0,34	17,0	129,4	37,4
2,34	0,37	18,5	126,5	43,3	2,17	0,35	17,5	124,0	38,0
2,33	0,38	19,0	122,6	44,3	2,14	0,36	18,0	118,9	38,5
2,31	0,40	20,0	115,5	46,2	2,12	0,37	18,5	114,6	39,2
2,28	0,42	21,0	108,6	47,9	2,09	0,38	19,0	110,0	39,7
2,26	0,44	22,0	102,7	49,7	2,02	0,41	20,5	98,5	41,4
2,23	0,45	22,5	99,1	50,2	1,95	0,43	21,5	90,7	41,9
2,22	0,47	23,5	94,5	52,2	1,83	0,45	22,5	81,3	41,2
2,21	0,49	24,5	90,2	54,1	1,69	0,48	24,0	70,4	40,6
2,19	0,51	25,5	85,9	55,8	1,42	0,5	25,0	56,8	35,5
2,13	0,55	27,5	77,5	58,6	0,97	0,53	26,5	36,6	25,7
2,06	0,61	30,5	67,5	62,8	0,54	0,54	27,0	20,0	14,6
2,01	0,64	32,0	62,8	64,3					
1,90	0,70	35,0	54,3	66,5					
1,71	0,75	37,5	45,6	64,1					
1,50	0,80	40,0	37,5	60,0					
0,88	0,89	44,5	19,8	39,2					

Графики зависимости напряжения на нагрузке от силы тока, на первый взгляд, необычны (или неправильны?) – нет привычной линейной зависимости! Но ведь источником является полупроводниковый фотоэлемент, а его внутреннее сопротивление зависит от силы тока, поэтому и зависимость получается нелинейной. При большей интенсивности света и напряжение и сила тока, «выдаваемые» фотоэлементом больше, соответственно больше и мощность! Отсюда следует «неожиданный» вывод – хочешь получить большую мощность, ярче свети! Зависимости мощности от сопротивления нагрузки имеют максимумы, но их положение не может быть рассчитано аналитически, так как не известна аналитическая зависимость силы тока от напряжения (а кроме того,

внутреннее сопротивление, ЭДС и т.д.). По представленным графикам можно сделать вывод, что увеличение интенсивности приводит к уменьшению внутреннего сопротивления (это видно по смещению максимума мощности).



Численное значение мощности (даже максимальной) однозначно подтверждает истину – китайские калькуляторы не помогут нашей Республике решить энергетические проблемы!

Часть 2. Фотоэлемент как измеритель интенсивности света.

Очевидно, что измеряемой величиной должна быть сила тока, либо напряжение на нагрузке. При непосредственному подключению вольтметра к фотоэлементу оказывается, что регистрируемое напряжение (практически равное ЭДС фотоэлемента из-за значительного сопротивления вольтметра) очень слабо зависит от освещенности фотоэлемента. Однако заранее не очевидно, при каком сопротивлении внешней цепи следует производить измерения – слишком много факторов влияет на этот выбор. Основным критерием выбора должна быть чувствительность фотоприемника, отношение его изменения его показаний к изменению интенсивности света³ $\beta = \frac{\Delta U}{\Delta i}$. Поэтому все измерения следует провести, как минимум, при двух значениях сопротивления нагрузки.

Основная проблема выполнения данной части задания заключается в том, что интенсивность падающего света меняется по заранее неизвестному закону.

Действительно, пусть коэффициент пропускания одного светофильтра равен γ , тогда интенсивность света, прошедшего через N светофильтров будет равна

$$i = i_0 \cdot \gamma^N. \quad (1)$$

Но беда в том, что коэффициент пропускания γ не известен, его еще надо найти! Для этого можно использовать следующую последовательность действий: 1) предположим, что фотоэлемент линейный, то есть измеряемое напряжение пропорционально интенсивности; 2) измерим зависимость показаний фотометра от числа светофильтров

$$U = A \cdot \gamma^N \quad (2)$$

3) построим ее в логарифмическом масштабе

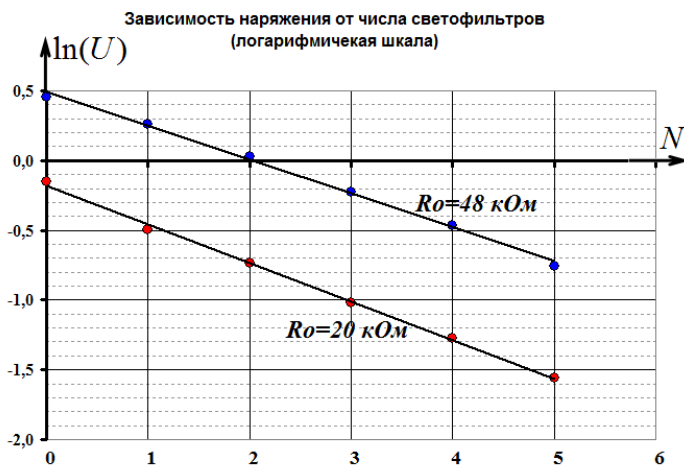
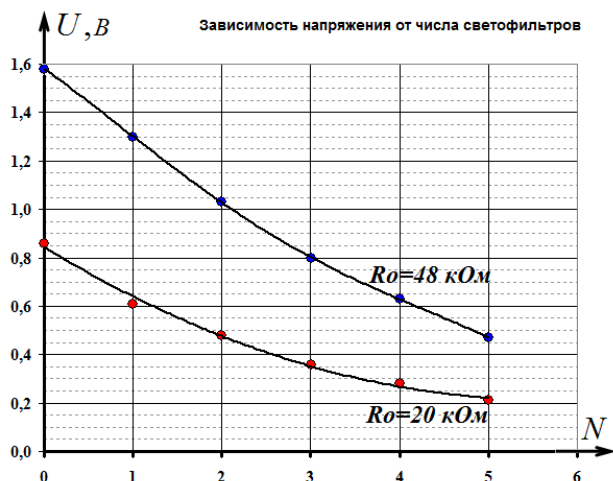
$$\ln U = \ln A + N \ln \gamma. \quad (3)$$

— ³ Мы обозначили интенсивность света символом i , чтобы не путать с силой тока, хотя она в этой части фигурировать не будет. Как это часто бывает в оптических измерениях интенсивность света будем измерять в некоторых относительных единицах.

4) найдем коэффициент наклона (если получится линейная зависимость), который согласно формуле (3) равен $\ln \gamma$ и определим коэффициент пропускания γ ; 5) рассчитаем интенсивности света, прошедшего через N светофильтров по формуле (1); 6) наконец, построим зависимости измеряемого напряжения от интенсивности падающего света! Если получаться линейные зависимости, то наше первое предположение верно! А если не получится? Будем оптимистами!

Итак, в Таблице 2 приведены результаты измерений и расчетов по предложенной схеме. А ниже показаны графики зависимости напряжения на нагрузке от числа светофильтров. **Таблица 2. Фотоэлемент – измеритель интенсивности света.**

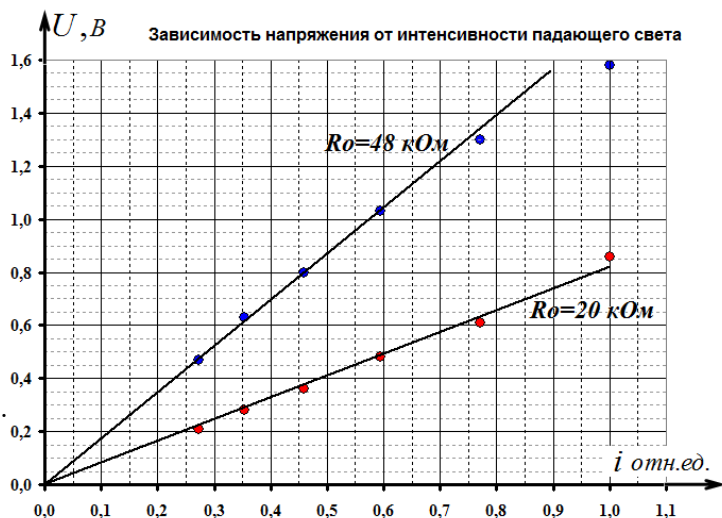
<i>N</i>	<i>R_o</i> = 20 кОм		<i>R_o</i> = 48 кОм		<i>i</i>
	<i>U_o, В</i>	<i>ln(U_o)</i>	<i>U₁, В</i>	<i>ln(U₁)</i>	
0	0,86	-0,151	1,58	0,457	1,00
1	0,61	-0,494	1,30	0,262	0,77
2	0,48	-0,734	1,03	0,030	0,59
3	0,36	-1,022	0,80	-0,223	0,46
4	0,28	-1,273	0,63	-0,462	0,35
5	0,21	-1,561	0,47	-0,755	0,27



Похоже, нам повезло – в логарифмическом масштабе получились практически линейные зависимости. Более того, они почти параллельны, следовательно коэффициенты их наклона практически одинаковы. Расчет этих коэффициентов по МНК дает значения -0,25 и -0,27. Поэтому далее используем среднее значение

$$\ln \gamma = -0,26 \Rightarrow \gamma = \exp(-0,26) \approx 0,77.$$

Наконец завершающий аккорд – зависимость измеряемого напряжения от интенсивности света. Получены практически линейные зависимости, особенно для меньшего сопротивления. При большем сопротивлении – чувствительность больше, но уже проявляется нелинейность. Так, что остается свобода выбора на свой вкус!



³ *i*, Мы обозначили интенсивность света символом *i* чтобы не путать с силой тока хотя на этой части фигурировать не будет. Как это часто бывает в оптических измерениях интенсивность света будем измерять в некоторых относительных единицах.