

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ 2021-2022
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. КАЛУЖСКАЯ ОБЛАСТЬ
11 КЛАСС

Возможные решения, рекомендуемые критерии оценки, методические рекомендации

Задания 1,2,4,5 составлены доцентом кафедры физики и математики КГУ им. К.Э. Циолковского М.С Красиным. В подготовке задания 5 принимали участие Е.А. Осипова и А.И. Осипов (КГУ им. К.Э. Циолковского)

1. «**Рычаг**». (10 баллов) Дим Димыч, отдыхая на дачном участке, поспорил с фиксиками, что они не смогут сдвинуть с дощатого стола гирьку, массой 100 г. Нолик и Файер решили доказать, что смогут это сделать. Чтобы выиграть спор они воткнули в расщелину между досками стола кусочек спички так, чтобы спичка не качалась. Притащили зубочистку, на которой были заметны полоски равной длины. Расположили её так как, что один из концов зубочистки касался гирьки, зубочистка также касалась и спички, а с противоположного края фиксика стали толкать зубочистку, воспользовавшись импровизированным рычагом. Вид сверху на данную ситуацию изображён на рис. 1. Смогут ли Нолик и Файер сдвинуть гирю, если коэффициент трения гири о доски стола равен 0,18. Максимальная сила толкания Нолика равна 0,02 Н, а Файера – 0,03 Н.

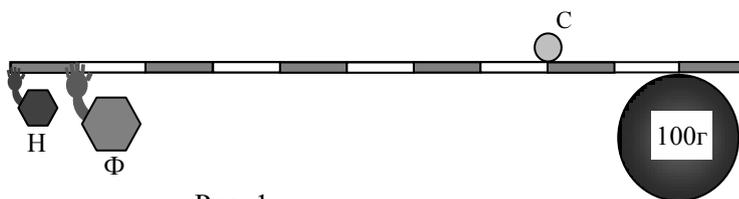


Рис. 1

1. «**Рычаг**». **Возможное решение.** Максимальная сила трения, действующая на гирю равна $F = \mu mg$. Чтобы сдвинуть гирьку, сумма моментов сил Нолика и Файера должна быть хоть немного больше момента силы трения: $M_H + M_\Phi \geq M$.

Момент силы трения равен $M = F \cdot 2l = 2\mu mgl$,

момент силы Файера равен $M_\Phi = F_\Phi \cdot 7l$, момент силы Нолика равен $M_H = F_H \cdot 8l$

Проверим, выполняется ли условие $F_H \cdot 8l + F_\Phi \cdot 7l \geq 2\mu mgl$

$$F_H \cdot 8 + F_\Phi \cdot 7 \geq 2\mu mg$$

$$8 \cdot 0,02 \text{ Н} + 7 \cdot 0,03 \text{ Н} \geq 2 \cdot 0,18 \cdot 0,10 \cdot 10 \text{ Н}$$

$$0,16 \text{ Н} + 0,21 \text{ Н} \geq 0,36 \text{ Н}$$

0,37 Н > 0,36 Н Значит, фиксика смогли сдвинуть гирьку!

Рекомендуемые критерии оценки.

Нахождение силы трения (числового значения или только формулы) 2 балла.

Понимание, что надо учитывать моменты сил 1 балл

Получение формулы момента силы трения 2 балла

Получение формулы момента силы толкания Нолика 1 балл

Получение формулы момента силы толкания Файера 1 балл

Запись правила моментов сил 1 балл

Получение расчётной формулы для сравнения 1 балл

Правильные вычисления итогового результата 1 балл

При ошибке в определении моментов сил, оценка не должна превышать 5 баллов

Если вместо абстрактной величины l используется некоторое числовое значение, то оценку не надо снижать.

2. «**Влажность**». (10 баллов). В парной комнате объёмом $V = 40 \text{ м}^3$ относительная влажность воздуха была $\varphi_1 = 53\%$ при $t_1 = 100^\circ\text{C}$. После того, как температура воздуха уменьшилась до

$t_2 = 97^\circ\text{C}$ и пар «осел», влажность составила $\varphi_2 = 48\%$. Определите массу воды, выделившейся из влажного воздуха в парной. Учтите, что при температуре t_2 давление насыщенного пара на $\Delta p = 78$ мм рт ст меньше, чем при t_1 . Универсальную газовую постоянную считать равной $R = 8,31$ Дж/(моль · К)

2. «Влажность». Возможное решение.

Давление насыщенного пара при $t_1 = 100^\circ\text{C}$ равно $p_{н1} = 760$ мм рт ст = 10^5 Па, (1)

значит, после охлаждения давление стало $p_{н2} = 682$ мм рт ст = $0,9 \cdot 10^5$ Па. (2)

Давление пара в воздухе связано с влажностью по формуле $p = \varphi \cdot p_{н}$. (3)

С учётом уравнения Менделеева-Клапейрона массы водяного пара в комнате в начальный момент и после охлаждения равны соответственно

$$m_1 = \frac{\varphi_1 p_{н1} MV}{RT_1} \quad \text{и} \quad m_2 = \frac{\varphi_2 p_{н2} MV}{RT_2} \quad (4)$$

$$\text{Следовательно, } \Delta m = \frac{MV}{R} \left(\frac{\varphi_1 p_{н1}}{T_1} - \frac{\varphi_2 p_{н2}}{T_2} \right) \quad (5)$$

Учитывая, что молярная масса водяного пара равна $M = 18$ г/моль, получаем (6)

$$\Delta m = 2,2 \text{ кг} \quad (7)$$

Рекомендуемые критерии оценки.

За пункты (1), (3), (4), (6) ставить 1 балл

За пункты (2), (5) и (7) ставить 2 балла

За вычислительную ошибку снизить оценку на 2 балла

Если итоговый ответ записан с точностью до четырёх и более значащих цифр, то ответ снизить на 1 балл, за недостатки вычислительной культуры.

3. «Цилиндр». (10 баллов) В цилиндрический сосуд, площадь основания которого $S=11$ см², положили кубик льда массой $m_0 = 11$ г, при температуре $t = -10^\circ\text{C}$. Какое минимальное количество теплоты необходимо сообщить льду, чтобы уровень образовавшейся воды перестал изменяться по мере таяния льда? Удельная теплоёмкость льда $c_{л} = 2,1$ Дж/г · К. Плотность льда $\rho_{л} = 0,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Удельная теплота плавления льда $\lambda_{л} = 330$ Дж/г. Следует считать, что в процессе плавления кубик остаётся кубиком.

3. «Цилиндр». Возможное решение.

Уровень воды в цилиндре перестанет изменяться после того как лёд всплывет (1)

Поскольку этот уровень будет оставаться неизменным до того как лёд

$$\text{весь растает, то его высоту } h \text{ можно найти по формуле } h = \frac{m_0}{S\rho_{в}} \quad (2)$$

Такой же будет глубина погружения кубика в воду в момент его всплытия (3).

Кубик всплывает, когда архимедова сила становится равной силе тяжести (4)

Пусть a - длина ребра кубика, в момент его всплытия, тогда условие плавания

$$\text{для момента всплытия } \rho_{л} a^3 g = \rho_{в} a^2 h g \quad (5)$$

$$\text{Отсюда находим } a = \frac{\rho_{в}}{\rho_{л}} h = \frac{m_0}{S\rho_{л}} \quad (6)$$

$$\text{Масса растаявшего льда будет равна } \Delta m = m_0 - \rho_{л} a^3 = m_0 \left(1 - \frac{m_0^2}{S^3 \rho_{л}^2} \right) \quad (7)$$

Чтобы кубик всплыл надо весь лёд нагреть до 0°C и часть льда расплавить, поэтому

$$Q = c_{л} m_0 (0 - t) + \lambda_{л} m_0 \left(1 - \frac{m_0^2}{S^3 \rho_{л}^2} \right) \quad (8)$$

Подставив числовые данные, получаем $Q = 3,5$ кДж (9)

Рекомендуемые критерии оценки.

За каждый пункт 1-7 и 9 ставить 1 балл.

За пункт (8) ставить 2 балла. При решении по частям оценку не снижать.

Если некоторые пункты не описаны, но учтены, то оценку не снижать.

4. «Схема». (10 баллов). Электрическая цепь состоит из источника тока с эдс \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r , конденсатора, ёмкостью C , катушки индуктивности L , двух резисторов сопротивлениями R и $2R$, ключа, и соединительных проводов (см. рис. 2). В начальный момент ключ замкнут. Затем ключ размыкают. Какая энергия в итоге выделится на резисторе сопротивлением $2R$?

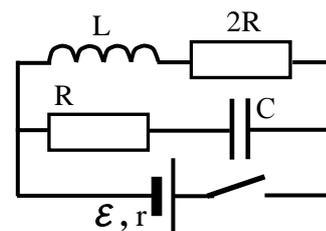


Рис. 2

4. «Схема». **Возможное решение.**

Когда ключ замкнут, то ток идёт только через участок, содержащий катушку. (1)

$$\text{Сила тока равна} \quad I = \frac{\mathcal{E}}{2R + r} \quad (2)$$

Такой же ток идёт через катушку индуктивности, поэтому

$$\text{энергия магнитного поля, запасённая в катушке равна} \quad W_M = \frac{L \cdot I^2}{2} = \frac{L \cdot \mathcal{E}^2}{2(2R + r)^2} \quad (3)$$

Конденсатор оказывается подключен параллельно резистору $2R$ (3)

$$\text{Напряжение на нём} \quad U = I \cdot 2R = \frac{\mathcal{E} \cdot 2R}{2R + r} \quad (4)$$

$$\text{Энергия, запасная в конденсаторе равна} \quad W_3 = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{C}{2} \left(\frac{\mathcal{E} \cdot 2R}{2R + r} \right)^2 \quad (5)$$

После размыкания ключа, энергии, запасённые в катушке и конденсаторе, выделяются на резисторах $Q = W_3 + W_M$ (6)

Оба резистора оказываются подключенными последовательно, поэтому через них в любой момент идёт одинаковый ток (7)

Поэтому на резисторе $2R$ выделяется $2/3$ всей выделившейся энергии (8)

$$Q_{2R} = \frac{2}{3}(W_3 + W_M) = \frac{1}{3} \left(C \left(\frac{\mathcal{E} \cdot 2R}{2R + r} \right)^2 + L \left(\frac{\mathcal{E}}{2R + r} \right)^2 \right) \quad (9)$$

Рекомендуемые критерии оценки.

За пункты (1)-(8) ставить по 1 баллу, даже, если эти пункты учтены в неявном виде

За пункт (9) ставить 2 балла

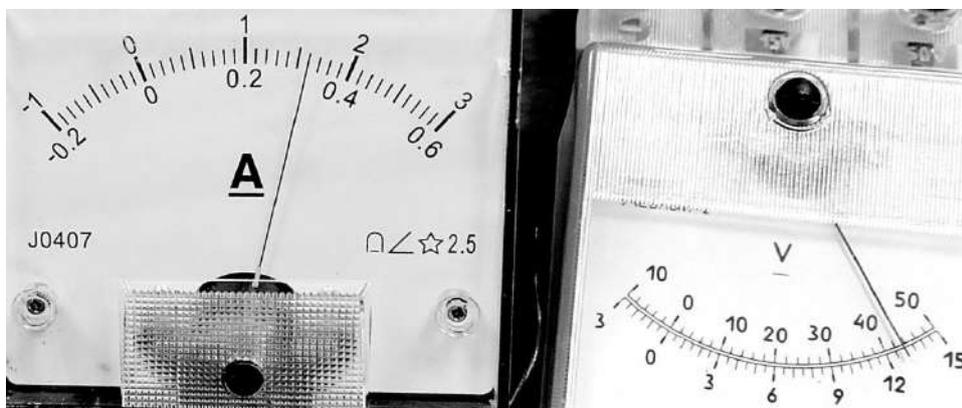
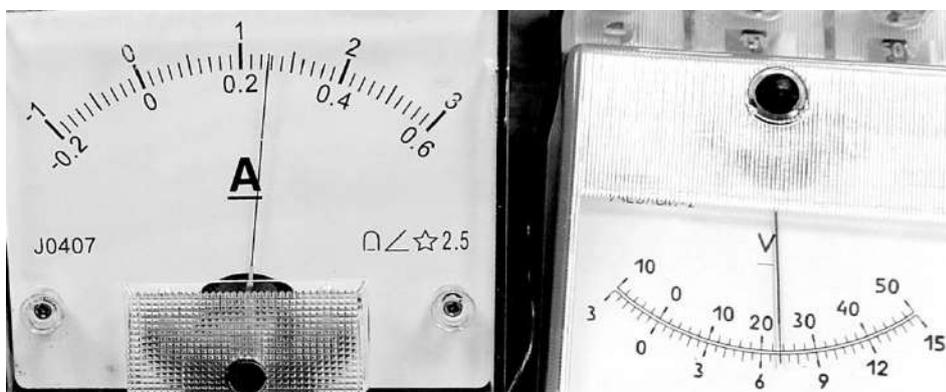
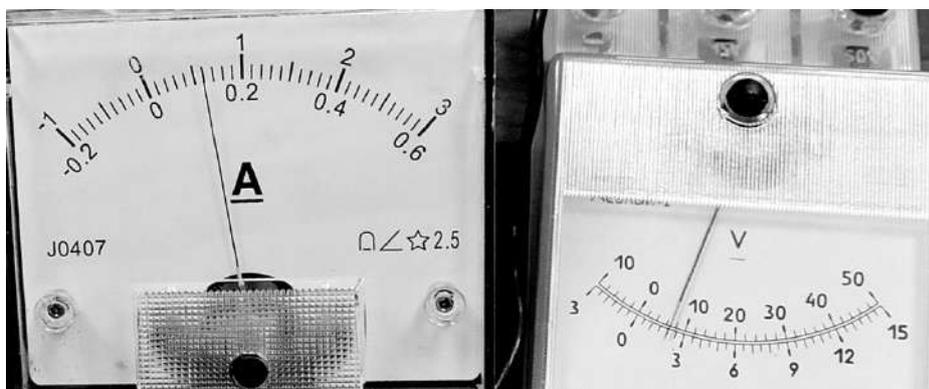
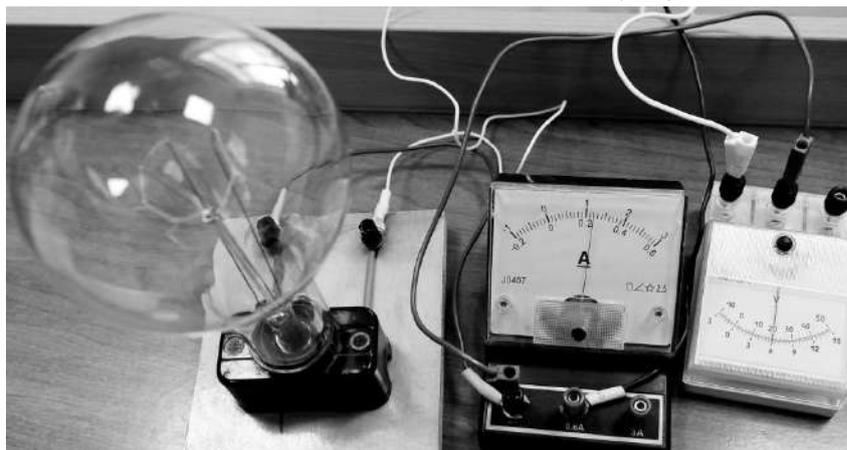
5. «Лампа». (10 баллов) Одиннадцатиклассник Светов нашёл в кладовке большую электрическую лампу и решил исследовать зависимость силы тока в лампе от приложенного к ней напряжения. Для этого он раздобыл амперметр, вольтметр, регулируемый источник напряжения и соединительные провода. Фотография его установки представлена на верхнем рисунке листа 2. Затем он составил таблицу и, постепенно увеличивая напряжение на источнике, стал записывать показания приборов в таблицу. Иногда он ещё делал фотографии приборов (они также приведены на листе 2). Когда измерения уже были окончены, бабушкина позвала внука обедать. Но она не позвала кошку Мурку. Поэтому, когда Светов ушёл, Мурка немного поскребла когтями по тетрадке с записями. В результате таблица приняла следующий вид:

U, В	0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	11,0
I, А	0		0,16			0,24				0,32

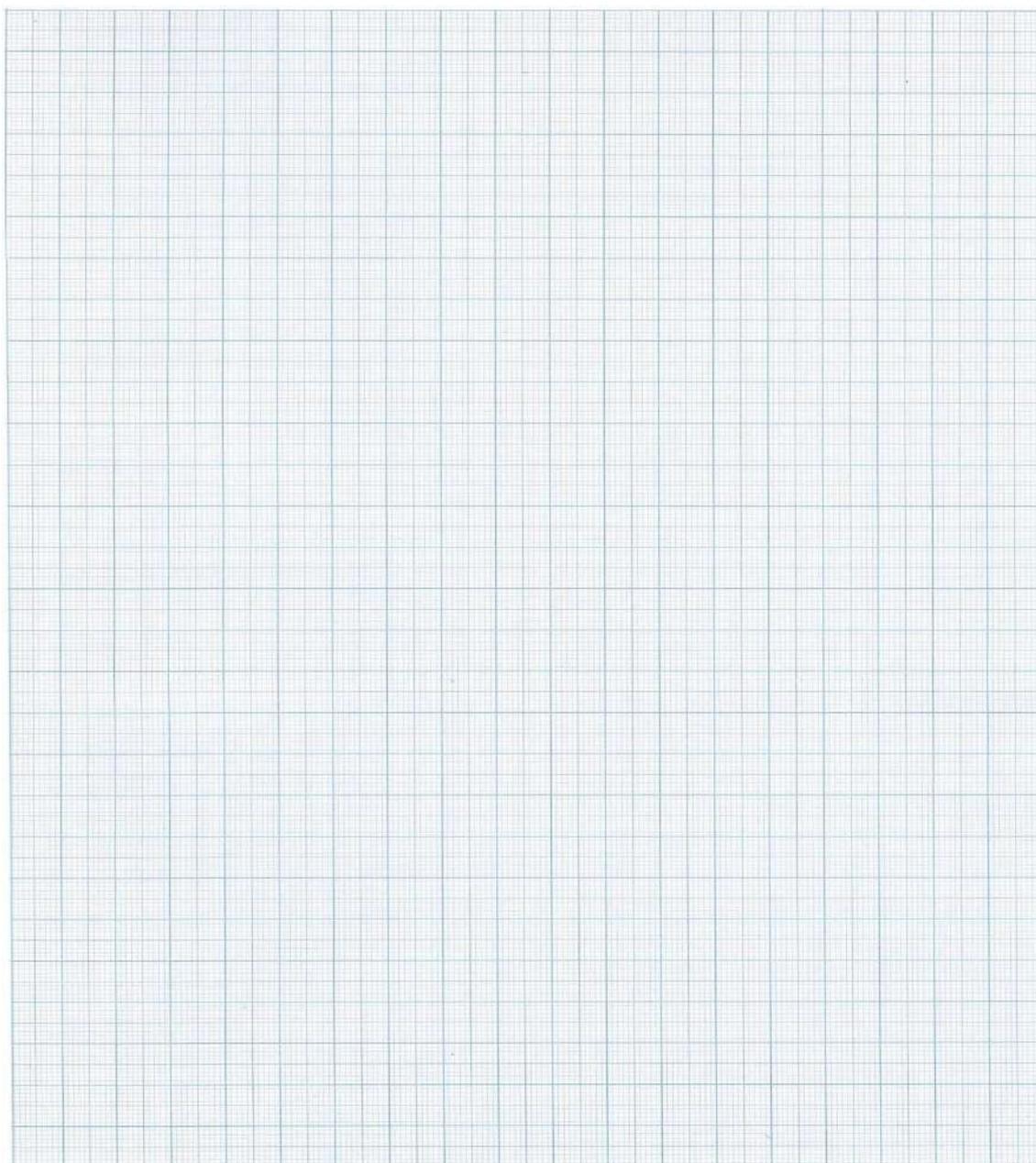
С помощью сохранившихся фотографий и вольт-амперной характеристики (график зависимости силы тока от напряжения) восстановите записи Светова. При снятии показаний приборов учтите, что они были подключены так, что рабочими у них были нижние шкалы (до

0,6 A и до 15 В). Для более точного построения графика можете воспользоваться координатной бумагой на «Листе для построения графика»

Лист 2



Лист для построения графика при решении задания 5. «Лампа»



5. «Лампа». Возможное решение.

После восстановления сведений по фотографиям приборов таблица принимает вид

U, В	0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	9,0	11,0	13,0
I, А	0	0,12	0,16	0,20			0,26			0,32

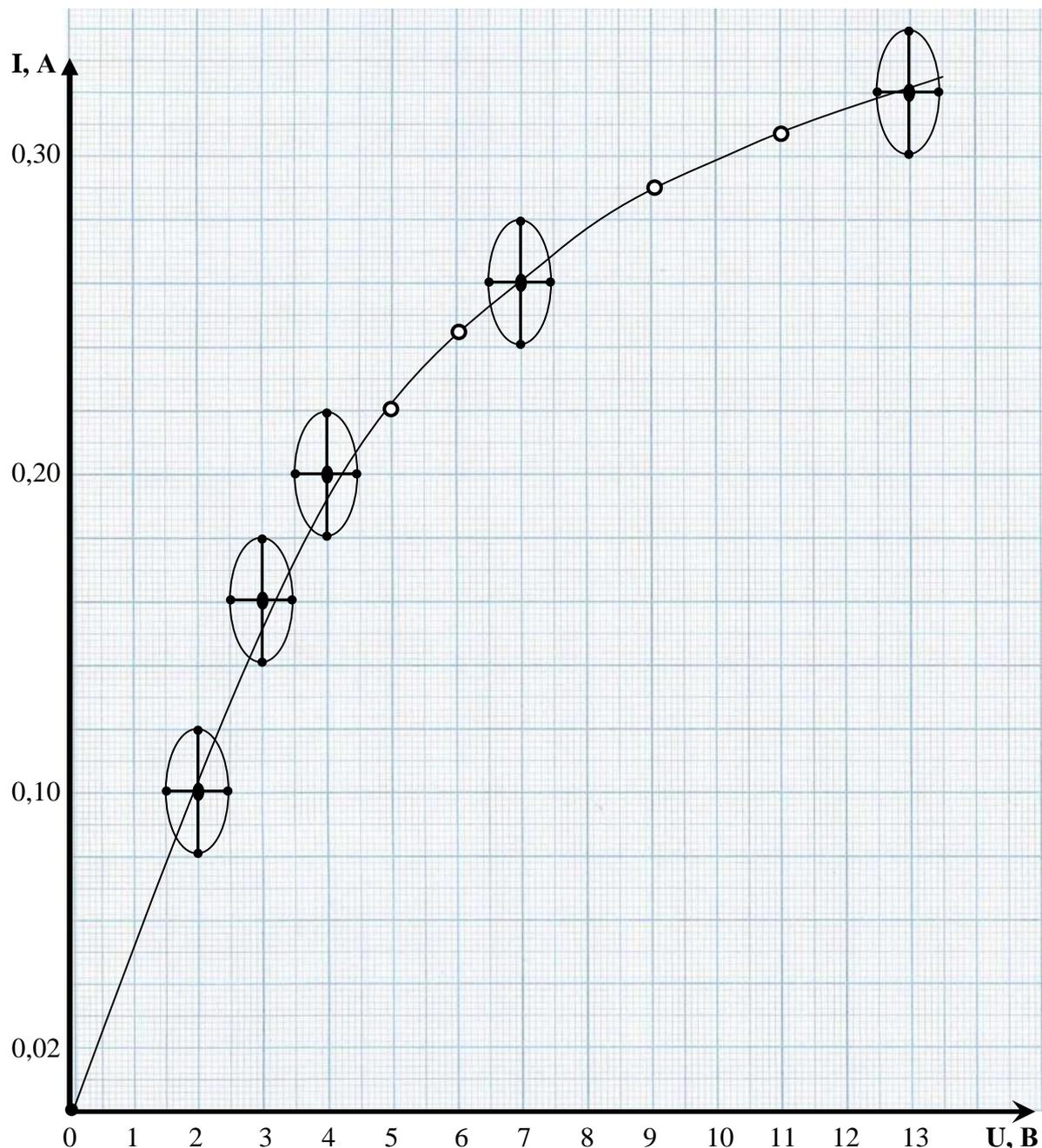
Остальные сведения можно найти по вольт-амперной характеристике

Масштаб по оси абсцисс (оси U) удобно принять, чтобы одно большое деление соответствовало 1 В, одно малое – 0,1 В.

Масштаб по оси ординат (оси I) позволяет принять одно большое деление равным 0,02 А

Отмечаем экспериментальные точки. От каждой точки влево вправо вверх и вниз откладываем отрезки, соответствующие погрешности измерения напряжения

(0,5 В – 0,5 клетки и 0,2 А – 1 клетка). Вокруг получившихся крестов проводим эллипсы, которые ограничивают на графике область допустимых положений истинных значений силы тока и напряжения.



Анализ графика показывает, что через эти области нельзя провести прямую, следовательно, зависимость имеет нелинейный характер. Проводим плавную линию, проходящую наиболее близко к каждой экспериментальной точке. Эта интерполирующая линия иллюстрирует взаимосвязь силы тока и напряжения в этом процессе. Получилась вольт-амперная характеристика. Один из вариантов интерполирующей линии представлен на рисунке.

На интерполирующей линии отмечаем точки с координатами напряжений из таблицы и по этим точкам находим соответствующие им значения силы тока. На основании полученных результатов восстанавливаем таблицу Светова. Значения силы тока и напряжения, полученные по графику интерполирующей линии, округляем в соответствии с допустимыми погрешностями измерения этих величин

U, В	0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	9,0	11,0	13,0
I, А	0	0,12	0,16	0,20	0,22	0,24	0,26	0,29	0,31	0,32

Рекомендуемые критерии оценки.

5.1. Заполнение таблицы по фотографиям 3 балла.

Если по сведениям из фотографий таблица заполнена с ошибками, то ставить 1 балл

5.2. Построение графика зависимости силы тока от напряжения с отметкой экспериментальных точек в виде точек при любом масштабе осей и вне зависимости от того на какой основе построен график ставить 1 балл

Если проведена интерполирующая линия с изгибом, то вне зависимости от её точности ставить 1 балл

Если график построен на масштабной бумаге, добавить 1 балл.

Если выбран удачный масштаб, позволяющий точно откладывать экспериментальные точки, то добавить 1 балл.

Если возле экспериментальных точек отмечены крестики с погрешностями, причём размеры крестиков соответствуют погрешностям величин, то добавить 1 балл

Если выделены эллиптические или прямоугольные области допустимых положений экспериментальных точек, то добавить 1 балл.

Если значения, найденные по графику вольт-амперной характеристики отличаются от приведённых ниже, не более, чем на 0,02 А или 0,5 В то добавить 1 балл.

U, В	0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	9,0	11,0	13,0
I, А	0	0,12	0,16	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32

Если вольт-амперная характеристика не строилась, а числовые значения определялись исходя из предположения о линейности каждого участка между соседними значениями сохранившимися в таблице или на фотографиях, то за пункт 5.2. ставить 3 балла в случае, если они отличаются от приведённых ниже, не более, чем на 0,02 А или 0,5 В. При условии наличия обоснований для этого.

Если обоснований нет, но найденные значения достаточно точные, то ставить 2 балла.

Если значения отличаются более, чем отмеченные, то ставить 1 балл