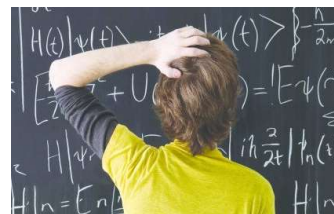


Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по физике

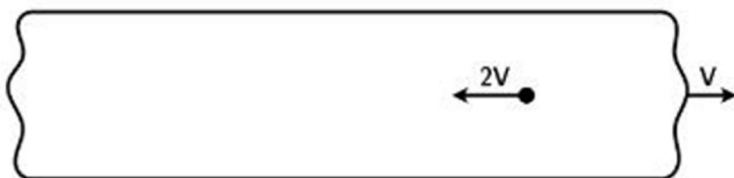
11 класс, 2022/2023 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут. Максимум 50 баллов.



Задача 1. Монета на ленте.

По горизонтальной поверхности стола протягивают с постоянной скоростью $v = 40$ см/с тонкую ленту. Юный экспериментатор Сережа кладет на нее небольшую монету массой 1 грамм и удерживает ее рукой в неподвижной относительно стола точке. Через некоторое время монета сильно нагревается и, чтобы не обжечься, Сережа толкает ее со скоростью $2v$ в направлении, противоположном движению ленты.



При этом Сережа оставляет руку в той точке, в которой монету сначала удерживал, а потом толкнул.

- 1) Через какое время после толчка монета вернется обратно в руку Сереже?
- 2) Какое количество теплоты выделится

вследствие трения после толчка за это время?

Все скорости даны относительно стола. Коэффициент трения скольжения между монетой и лентой составляет 0,1. Считать, что все действия Сережи никак не влияют на скорость движения ленты.

Возможное решение:

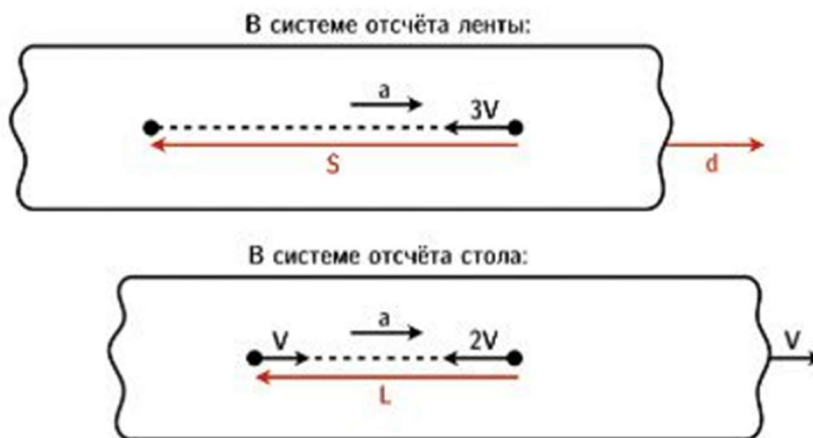
1) После толчка некоторое время t_1 монета скользит влево относительно ленты с постоянным ускорением a . После остановки относительно ленты монета движется уже вместе с ней вправо с постоянной скоростью v относительно стола и возвращается в руку Сереже спустя время t_2 .

То есть, монета проскальзывает относительно стола только при своем движении влево, а вернуться обратно в руку ей помогла движущаяся лента.

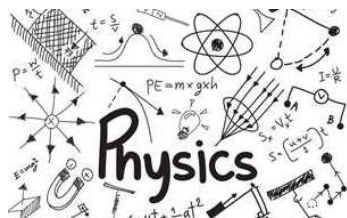
Искомое время движения монеты t складывается из t_1 и t_2 , то есть:

$$t = t_1 + t_2.$$

Рассмотрим движение монеты от толчка до момента, когда она перестала проскальзывать относительно ленты. Пусть S – перемещение монеты относительно ленты, L – перемещение монеты относительно стола, $d = v \cdot t_1$ – перемещение ленты. Проанализируем движение монеты в двух системах отсчета: в системе отсчета ленты и в системе отсчета стола.



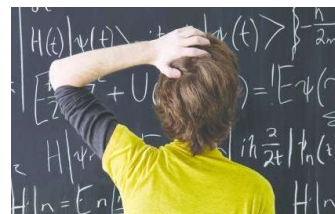
Каждая из этих двух систем отсчета является инерциальной, поэтому ускорение монеты будет одинаковым и равным a для каждой из них. Так как это ускорение сообщает сила трения скольжения $F = \mu mg$, направленная вправо (против движения монеты относительно ленты), то из второго закона Ньютона $F = ma$, значит $a = \mu g$.



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2022/2023 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут. Максимум 50 баллов.



Найти время t_1 можно, воспользовавшись уравнениями кинематики, причем сделать это можно в любой из двух систем отсчета, так как время одинаково.

В системе отсчета ленты справедливо, что

$$0 = 3v - at_1, \text{ откуда } t_1 = 3v/a.$$

В системе отсчета стола верно, что $-v = 2v - at_1$, откуда тоже $t_1 = 3v/a$.

Чтобы найти время t_2 потребуется уже найти L , так как $t_2 = L/v$.

Найдем перемещение L . В системе отсчета стола справедливо, что

$$L = \frac{(2v + (-v))t_1}{2} = \frac{vt_1}{2}$$

Откуда

$$L = \frac{3v^2}{2a}, \text{ значит } t_2 = \frac{3v}{2a}$$

Теперь можно дать ответ на первый вопрос:

$$t = t_1 + t_2 = \frac{3v}{a} + \frac{3v}{2a} = \frac{9v}{2a} = \frac{9v}{2\mu g} = 1,8 \text{ с.}$$

2) Количество теплоты, которое выделится вследствие трения, найдем так: $Q = FS$.

Найдем перемещение S . В системе отсчета ленты справедливо, что

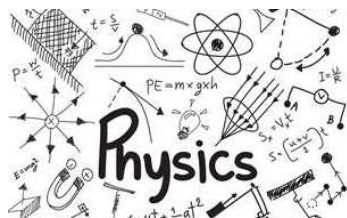
$$S = \frac{(3v + 0)t_1}{2} = \frac{3vt_1}{2} = \frac{9v^2}{2a}$$

Так как $F = ma$, то ответ на второй вопрос:

$$Q = \frac{9mv^2}{2} = 720 \text{ мкДж.}$$

Разбалловка:

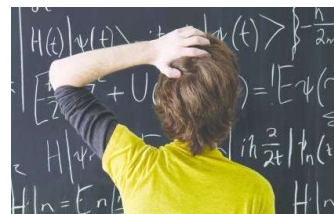
	Этапы решения	Соотношения	Балл
1.	Понимание того, что движение монеты состоит из двух этапов	$t = t_1 + t_2$	1
2.	Нахождение ускорения монеты	$a = \mu g$	1
3.	Время t_1	$t_1 = 3v/a$	1
4.	Время t_2	$t_2 = \frac{3v}{2a}$	2
5.	Численное значение времени	1,8 с	1
6.	Перемещение S	$S = \frac{9v^2}{2a}$	1
7.	Количество теплоты	$Q = \frac{9mv^2}{2} = 720 \text{ мкДж.}$	2
	Сумма за задачу:		10



Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по физике

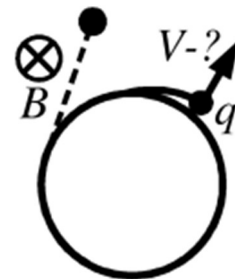
11 класс, 2022/2023 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут. Максимум 50 баллов.



Задача 2. Тело в магнитном поле.

Старшеклассник Петя делал проект для школьной научной конференции. Для проекта он взял непроводящий цилиндр радиусом 5 см и намотал на него нить, к которой прикрепил маленький шарик массой 2 грамма. Затем Петя зарядил шарик положительным зарядом 40 мКл, поместил всю конструкцию в магнитное поле с индукцией 0,5 Тл и сообщил шарiku некоторую скорость в направлении, указанном на рисунке (по радиусу от цилиндра). В процессе дальнейшего движения шарик в некоторый момент времени по касательной задел цилиндр. Считая, что магнитное поле направлено вдоль оси цилиндра, а шарик в начальный момент касался поверхности цилиндра, определите величину начальной скорости шарика. Нить принять непроводящей, длинной, тонкой и нерастяжимой.



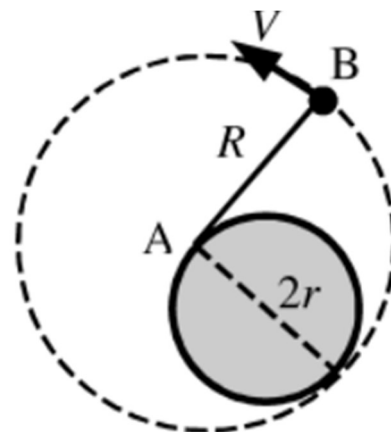
Возможное решение:

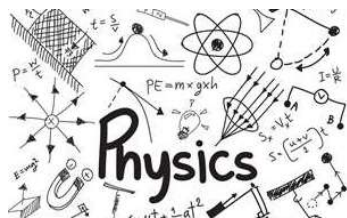
Модуль скорости шарика в процессе движения не меняется, так как на него действуют сила натяжения нити и сила Лоренца, которые перпендикулярны скорости тела и поэтому не совершают работы. (1 балл)

Пока нить натянута, тело в каждый момент времени движется по окружности с центром в т. А, где нить отходит от цилиндра. (1 балл)
Радиус этой окружности растет по мере того, как разматывается нить. Как только этот радиус сравняется с радиусом свободного движения частицы в магнитном поле, нить провиснет и перестанет влиять на заряд. Натяжение нити обращается в ноль, когда: $mv^2/R = qvB$, (2 балла)
длина размотанной в этот момент нити равна $R = mv/qB$. (2 балла)

Далее тело летит под действием только силы Лоренца по окружности неизменного радиуса R . Ну и поскольку шарик по касательной коснулся цилиндра, значит $R = 2r$. (2 балла) Отсюда определим начальную скорость шарика:

$$v = 2rqB/m = 2 \cdot 0,05 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 / 0,002 = 1 \text{ м/с. (2 балла).}$$

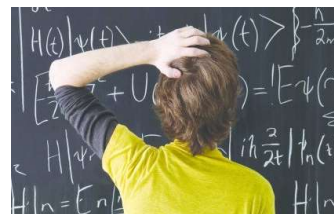




Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по физике

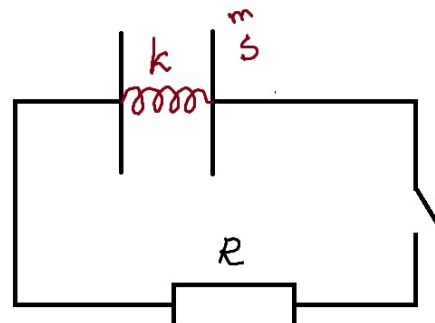
11 класс, 2022/2023 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут. Максимум 50 баллов.



Задача 3. Конденсатор с пружиной.

Для эксперимента обычный плоский конденсатор «доработали» - его пластины соединили между собой пружиной длиной L и жесткостью k . Затем измененный конденсатор зарядили до q и через ключ подключили к резистору с известным сопротивлением. Известно, что пружина изготовлена из непроводящего материала, ее длину измеряли в недеформированном состоянии, а пластины имеют массу m и площадь S каждая.



- 1) Найти количество теплоты, которое выделится на резисторе после замыкания ключа, если считать, что разряд происходит быстро.
- 2) Какое количество теплоты выделится, если разряд считать медленным?

Возможное решение:

Пусть $\sigma = q/S$ – поверхностная плотность заряда пластин, d – расстояние между пластинами, x – сжатие пружины. Определим, насколько первоначально сжата пружина. Воспользуемся для этого условием, что первоначально пластина конденсатора находится в равновесии под действием кулоновской силы притяжения к другой пластине и силы отталкивания пружины:

$$kx = Eq. \text{ (1 балл)}$$

Напряженность поля одной пластины $E = \sigma/(2\epsilon_0)$. Поэтому в положении равновесия

$$x = q^2/(2\epsilon_0 Sk). \text{ (1 балл)}$$

Энергия, запасенная первоначально в конденсаторе, равна: $W_k = q^2/(2C)$. (1 балл)

Емкость конденсатора $C = \epsilon_0 S/d$, где $d = L - x$. (1 балл)

Тогда энергия конденсатора (1 балл)

$$W_k = \frac{q^2 L}{2\epsilon_0 S} - \frac{q^4}{4\epsilon_0^2 S^2 k}.$$

В пружине запасена энергия (1 балл)

$$W_{\text{пр}} = \frac{kx^2}{2} = \frac{q^4}{8\epsilon_0^2 S^2 k}.$$

При медленном разряде механические колебания пластин не возбуждаются, поэтому на сопротивлении выделится как энергия, запасенная в конденсаторе, так и энергия пружины. (1 балл)

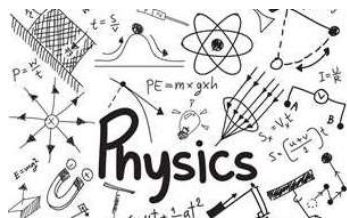
При быстром разряде в виде тепла выделится только электрическая энергия, а энергия пружины перейдет в колебания обкладок. (1 балл)

Поэтому $W_1 = W_k + W_{\text{пр}}$, а $W_2 = W_k$.

$$1) W_1 = \frac{q^2 L}{2\epsilon_0 S} - \frac{q^4}{8\epsilon_0^2 S^2 k}.$$

$$2) W_2 = \frac{q^2 L}{2\epsilon_0 S} - \frac{q^4}{4\epsilon_0^2 S^2 k}.$$

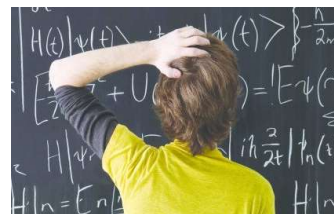
По одному баллу за верные конечные выражения в п. 1) и в п. 2)



Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по физике

11 класс, 2022/2023 учебный год

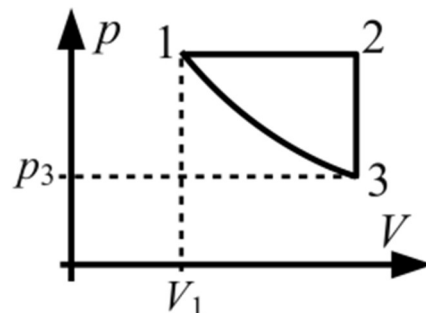
Длительность 3 часа 50 минут. Максимум 50 баллов.



Задача 4. Циклический процесс.

Идеальный одноатомный газ участвует в процессе 1-2-3-1 (см. рисунок). Известно давление газа в третьей точке, объем в первой точке и количество поглощенной газом теплоты Q в процессе 1-2.

Считая, что 3-1 – изотерма, определите объем газа и его давление в точках 1, 2 и 3.



Возможное решение:

Обозначим искомое давление на изобаре 1-2 через p , а искомый объем на изохоре через V .

По условию теплота, полученная газом на изобаре 1-2, равна Q .

С другой стороны она равна $Q = C_p(T_2 - T_1) = 5\nu R(T_2 - T_1)/2$, (2 балла)

так как газ нагрелся на $T_2 - T_1$, и в изобарическом процессе одноатомный газ имеет теплоёмкость $C_p = 5\nu R/2$. Так как температуры в задаче не спрашиваются, удобно выразить T_1 и T_2 через давления и объёмы с помощью уравнений Клапейрона-Менделеева, записанных для газа в точках 1 и 2:

$$pV_1 = \nu RT_1, pV = \nu RT_2. \text{ (2 балла)}$$

$$\text{Отсюда } Q = 5(\nu RT_2 - \nu RT_1)/2 = 5p(V - V_1)/2$$

$$\Rightarrow p(V - V_1) = 2Q/5. \text{ (1) (1 балл)}$$

Запишем теперь условие, что линия 3-1 является изотермой

$$pV_1 = p_3V. \text{ (2) (1 балл)}$$

Решим совместно систему уравнений (1, 2) относительно p и V . Например, разделим уравнение (1) на уравнение (2), исключив тем самым p ,

$$(V - V_1)/V_1 = 2Q/(5p_3V) \Rightarrow V(V - V_1) = 2Q/(5p_3V_1) \Rightarrow V^2 - V_1V - 2Q/(5p_3V_1) = 0.$$

Решая квадратное уравнение относительно V находим

$$V = \frac{V_1}{2} \left(1 \pm \sqrt{1 + \frac{8Q}{5p_3V_1}} \right)$$

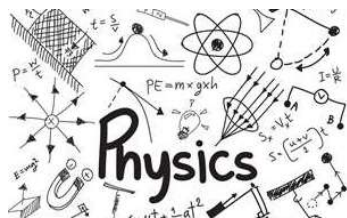
Объем не может быть отрицательным, поэтому из двух корней выбираем тот, который с плюсом.

Теперь из (2) найдем давление:

$$p = \frac{p_3V}{V_1} = \frac{p_3}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{8Q}{5p_3V_1}} \right)$$

За нахождение V ставится 3 балла (2 балла за получение и решение квадратного уравнения, 1 балл за верный выбор знака перед корнем), за нахождение p ставится еще 1 балл.

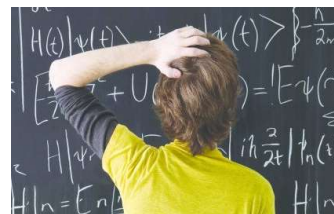
Участник может идти другим путем, в этом случае оцениваются логически верные шаги и при получении верных ответов ставится максимальный балл.



Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по физике

11 класс, 2022/2023 учебный год

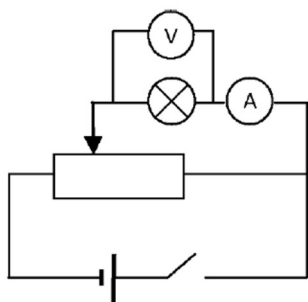
Длительность 3 часа 50 минут. Максимум 50 баллов.



Задача 5. Ламповый ВАХ.

Оборудование: два листа миллиметровки (попросите у организаторов!)

Зависимость силы тока от напряжения, приложенного к элементу, называется его вольт-амперной характеристикой, сокращённо ВАХ. Чтобы снять ВАХ миниатюрной лампы накаливания предлагается следующая схема (см. рисунок). К сожалению, реостат в схеме оказался неисправен – он может принимать только четыре значения сопротивления: 0, 10 Ом, 100 Ом, 1 кОм.



Старшеклассник Игорь нашел выход: он использовал две идентичные лампы вместо одной. Соединяя их последовательно и параллельно, а также включая в схему только одну лампу Игорь в итоге снял 12 экспериментальных точек (см. таблицу).

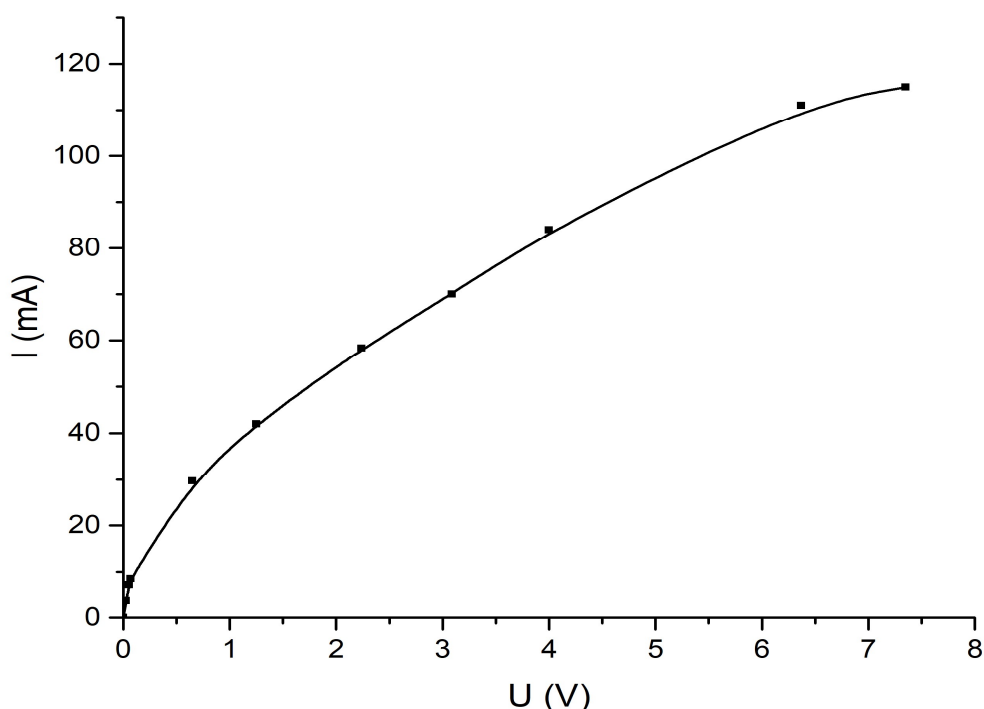
В таблице приведены значения тока и напряжения непосредственно на одной лампе.

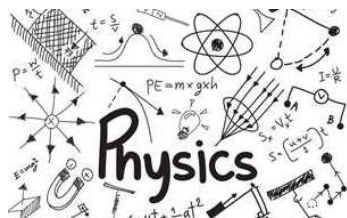
U, В	I, мА
0,000	0,00
0,027	3,61
0,056	7,22
0,069	8,54
0,650	29,65
1,250	42,00
2,240	58,30
3,090	70,00
4,000	84,00
6,370	111,00
7,350	115,00

- 1) Построить ВАХ одной лампы по данным из таблицы.
- 2) Используя ВАХ одной лампы построить ВАХ двух параллельно соединенных ламп.
- 3) Используя ВАХ одной лампы построить ВАХ двух последовательно соединенных ламп.

Возможное решение:

1) **2 балла** – если выбран адекватный масштаб, подписаны координатные оси, на оси нанесены деления, точки соединены плавной кривой. При наличии одного из недостатков (например, точки соединены ломаной) – *штраф 0.5 балла*.

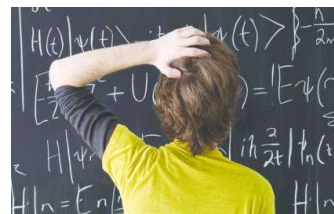




Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по физике

11 класс, 2022/2023 учебный год

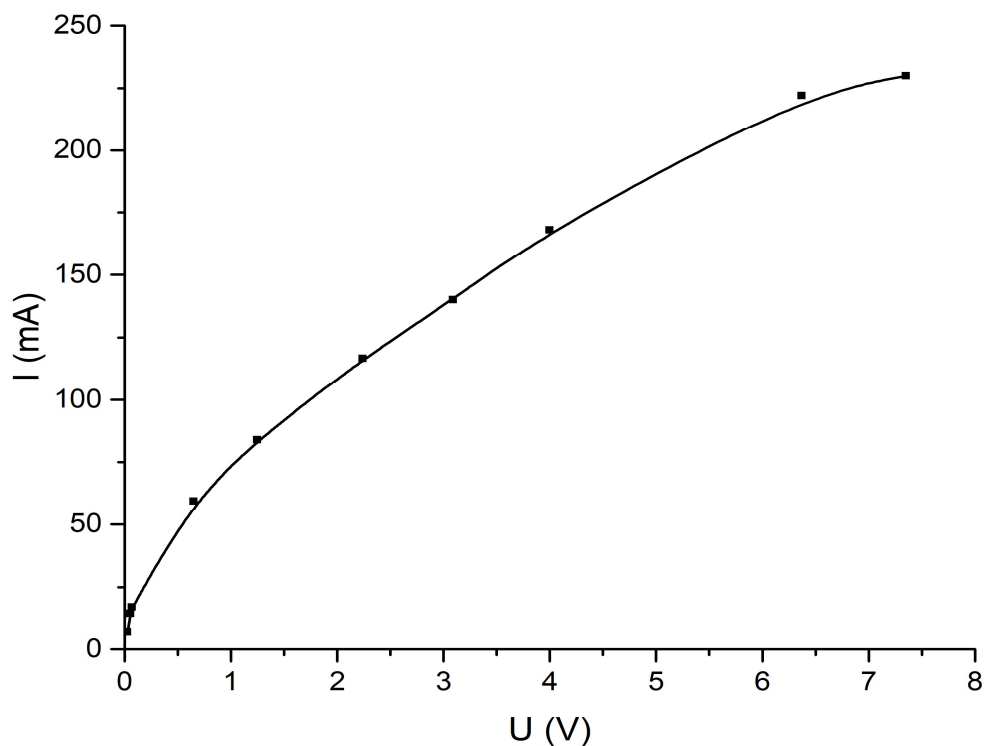
Длительность 3 часа 50 минут. Максимум 50 баллов.



2) **1 балл** – идея о том, что при параллельном соединении токи через лампы складываются, и значит при тех же напряжениях на участке ток окажется в два раза больше, чем в случае одной лампы.

1 балл – правильно вычислены новые значения силы тока

2 балла – если выбран адекватный масштаб, подписаны координатные оси, на оси нанесены деления, точки соединены плавной кривой. При наличии одного из недостатков (например точки соединены ломаной) – **штраф 0.5 балла**.

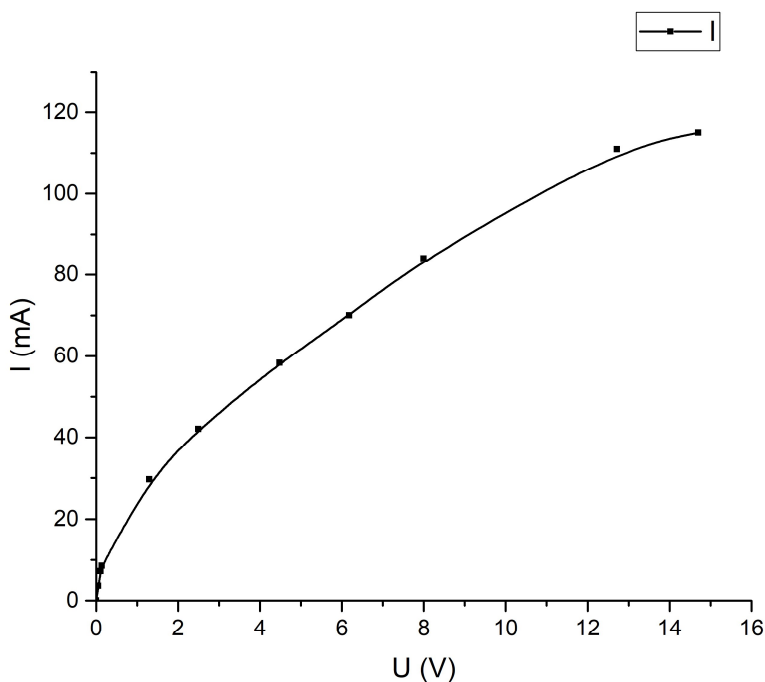


Итого за этот пункт 4 балла максимум.

3) **1 балл** – идея о том, что при последовательном соединении напряжения на лампах складываются, и значит при тех же значениях тока через участок, напряжение окажется в два раза больше, чем в случае одной лампы.

1 балл – правильно вычислены новые значения напряжения на участке

2 балла – если выбран адекватный масштаб, подписаны координатные оси, на оси нанесены деления, точки соединены плавной кривой. При наличии одного из недостатков (например точки соединены ломаной) – **штраф 0.5 балла**.



Итого за этот пункт 4 балла максимум.