Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина
Специализированный учебно-научный центр

ВСТУПИТЕЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН ПО ФИЗИКЕ
10 класс
Физико-математический профиль
19 марта 2024 года

ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ И КРИТЕРИИ ПРОВЕРКИ

1.Если во время полёта между двумя городами дует попутный ветер, то самолёт затрачивает на перелёт между ними t_1 = 6 ч. Если дует такой же боковой ветер перпендикулярно линии полёта, то самолёт затрачивает на перелёт t_2 = 7,5 ч. Найдите скорость ветра u, если скорость самолёта относительно воздуха постоянна и равна υ = 328 км/ч. (4 балла) Сколько времени t_3 будет длиться перелёт, если скорость самолёта относительно воздуха останется прежней, но весь перелет будет дуть встречный ветер с такой же скоростью u? (2 балла)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

При движении с попутным ветром время движения самолета и путь, пройденный им S, связаны следующим образом

$$S = (\upsilon + u) \cdot t_1. \quad (1)$$

При движении с боковым ветром время движения самолета и путь, пройденный им S, связаны следующим образом

$$S = \sqrt{\upsilon^2 - u^2} \cdot t_2. \quad (2)$$

Из записанных уравнений определяем скорость ветра

$$u = \upsilon \cdot \frac{t_2^2 - t_1^2}{t_2^2 + t_1^2};\ u = 72\ \text{км/ч}.$$

Рассмотрим движение со встречным ветром, в этом случае

$$S = (\upsilon - u) \cdot t_3. \quad (3)$$

Из выражений (1) и (3) определяем t_3

$$t_3 = \frac{\upsilon - u}{\upsilon + u} \cdot t_1;\ t_3 = 9{,}375\ (\text{ч}) = 9\ \text{часов}\ 22\ \text{минуты} = 562\ \text{минуты}.$$

Критерии проверки:

	Содержание	Балл
1.1	Записано $S = (\upsilon + u) \cdot t_1$	1
	Найдена скорость относительно земли при боковом ветре	1
	Записано $S = \sqrt{\upsilon^2 - u^2} \cdot t_2$	1
	Найдена скорость 3,38 км/ч	1
1.2	Записано $S = (\upsilon - u) \cdot t_3$	1
	Найдено время движения при встречном ветре	1

2.Мимо остановки по прямой улице с постоянной скоростью проезжает грузовик. Через τ = 5 с от остановки вдогонку грузовику отъезжает мотоциклист, движущийся с ускорением a = 3 м/с^2, и догоняет грузовик на расстоянии S = 150 м от остановки. Чему равна скорость грузовика υ? (3 балла)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Запишем уравнение движения грузовика и мотоцикла

$$x_{\text{г}} = \upsilon \cdot t;$$

$$x_{\text{М}} = \frac{a \cdot (t-\tau)^2}{2}.$$

Определим время встречи

$$S = \frac{a \cdot (t_{\text{В}} - \tau)^2}{2};$$

$$t_B = \tau + \sqrt{\frac{2S}{a}};\ \ t_B = 15\ c.$$

Определим скорость грузовика

$$\upsilon = \frac{S}{t_B};\ \ \upsilon = 10\ \text{м/с}.$$

Критерии проверки:

	Содержание	Балл
2	Записано $S = \frac{a\cdot(t_{\text{В}}-\tau)^2}{2}$ либо аналог Найдено время движения мотоцикла до встречи Определена скорость грузовика	1 1 1

3.Груз массой m = 4 кг подвешен к укреплённому в лифте динамометру. Лифт начинает спускаться с верхнего этажа с постоянным ускорением. Сначала показания динамометра были равны F = 38 Н. Далее показания динамометра стали равны 40 Н. Перед торможением на первом этаже показания динамометра стали равны 44 Н. Чему равно и куда было направлено ускорение лифта a на всех этапах движения? (3 балла) Скорость лифта при равномерном движении равна υ = 2 м/с. Весь спуск занял время T = 23 с. С какого этажа производился спуск? (3 балла) Высота этажа равна h = 3 м.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Определим силу тяжести груза mg = 40 Н.

В начале движения показания динамометра равны 38 Н, поэтому ускорение a_1 лифта направлено вниз. Определим ускорение в этом случае

$$F = m(g - a_1);$$

$$a_1 = g - \frac{F}{m};$$

$$a_1 = 0{,}5\ \text{м/с}^2.$$

Время движения лифта при разгоне равно

$$t_1 = \frac{v}{a_1};\ \ t_1 = \frac{2}{0{,}5} = 4\text{ с.}$$

При разгоне лифт пройдет путь

$$S_1 = \frac{a_1 t_1^2}{2};\ \ \ S_1 = 4\text{ м.}$$

Далее лифт движется равномерно, так как показания динамометра равны силе тяжести. Ускорение лифта равно нулю.

При торможении перед остановкой на первом этаже ускорение лифта направлено вверх и равно

$$F_2 = m(g + a_2);$$

$$a_2 = \frac{F}{m} - g;$$

$$a_2 = 1\ \text{м/с}^2.$$

Время движения лифта при торможении равно

$$t_2 = \frac{v}{a_2};\ \ t_2 = \frac{2}{1} = 2\text{ с.}$$

При торможении лифт пройдет путь

$$S_2 = \frac{v^2}{2a_2};\ \ \ S_2 = 2\text{ м.}$$

Так как все время движения лифта T = 23 с, то время равномерного движения равно

$$t_3 = T - t_1 - t_2;\ t_3 = 23 - 4 - 2 = 17\ (c).$$

За это время лифт пройдёт путь

$$S_3 = v \cdot t_3;\ \ S_3 = 34\text{ м.}$$

Таким образом при спуске лифт прошёл путь

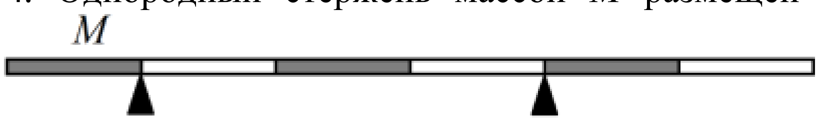
$$S = 4 + 34 + 2 = 40\ (\text{м}).$$

Так как высоте этажа 3 метра, то лифт спускался с 14 этажа (в ответе получается число больше 13, значит в этом случае нужно округлять до ближайшего большего целого).

Критерии проверки:

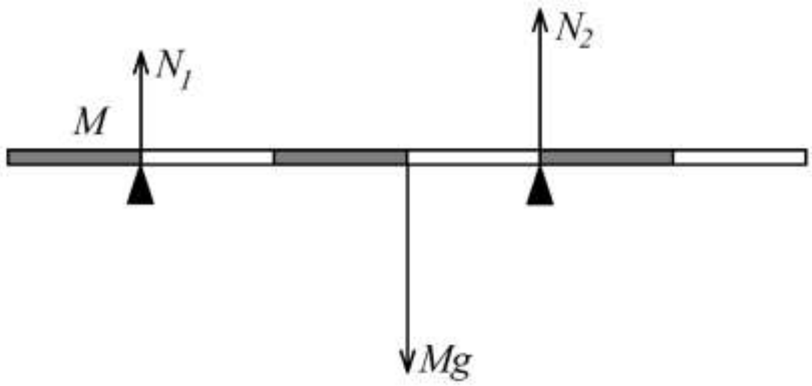
	Содержание	Балл
3.1	Записаны выражения, связывающие показания динамометра и ускорения для трех участков (по 0,5 за каждый) Определены направления и величины ускорения для трех участков (по 0,5 за каждый)	1,5 1,5
3.2	Найдены времена движения и пути, пройденные лифтом на трех участках (по 0,5 за каждый) Определен путь лифта Найден этаж	1,5 1 0,5

4. Однородный стержень массой M размещен на двух небольших опорах (см.рис.). Определить силы реакции опор. (4 балла)



Груз какой максимальной массы m_x можно подвесить на правый край стержня, чтобы стержень оставался горизонтальным? (3 балла) Чему равна сила реакции правой опоры в этом случае? (1 балл)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:



Рассмотрим первую ситуацию. Расставим силы, действующие на стержень – это силы тяжести Mg и две силы реакции опоры N_1 и N_2. Так как стержень находится в покое, то

$$N_1 + N_2 = Mg.$$

Длину стержня обозначим $6a$ и запишем правило моментов относительно оси, проходящей через правую опору перпендикулярно плоскости чертежа

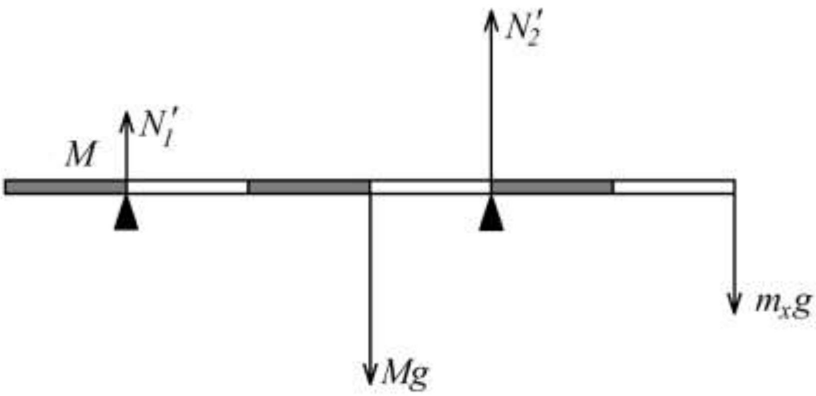
$$N_1 \cdot 3a = Mg \cdot a.$$

Из записанных соотношений определяем силы реакции опор

$$N_1 = \frac{1}{3}Mg;$$

$$N_2 = \frac{2}{3}Mg.$$

Теперь подвесим груз к правому краю и заново запишем условие покоя



стержня и правило моментов. Силы реакции опор обозначим N'_1 и N'_2.

$$N'_1 + N'_2 = (M + m)g;$$

$$N'_1 \cdot 3a - m_x g \cdot 2a = Mg \cdot a.$$

Из записанных выражений находим силу реакции левой опоры

$$N'_1 = \frac{M - 2m_x}{3}g.$$

Зная её, находим силу реакции правой опоры

$$N'_2 = \frac{2M + 5m_x}{3}g.$$

Проанализировав полученные выражения, видим, что сила реакции левой опоры N'_1 с увеличением массы груза уменьшается. Максимальное значение массы грузы, про которой стержень еще горизонтален, находится из условия

$$N'_1 = 0,$$

что дает значение максимальной массы

$$M - 2m_x^{max} = 0;$$

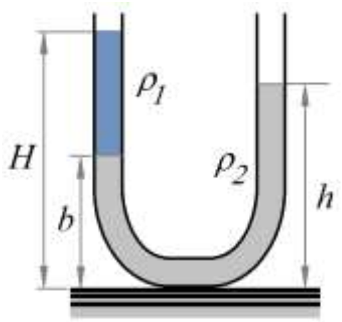
$$m_x^{max} = \frac{M}{2}.$$

При таком значении массы груза сила реакции правой опоры будет равна

$$N'_2 = \frac{3}{2} Mg.$$

Критерии проверки:

	Содержание	Балл
4.1	Сделан рисунок, расставлены силы Дважды записано правило моментов для рычага относительно разных точек либо правило моментов и условие покоя рычага Найдены силы реакции	1 2 1
4.2	Дважды записано правило моментов для рычага относительно разных точек либо правило моментов и условие покоя рычага с прикрепленным грузом Найдены силы реакции Указано, что с увеличением массы груза будет уменьшаться сила реакции левой опоры Определена максимальная масса груза Найдена сила реакции правой опоры в этом случае	 1 1 0,5 0,5 1



5.В широкую *U*-образную трубку, расположенную вертикально, налиты жидкости плотностью ρ_1 и ρ_2 (см. рисунок). Жидкости не смешиваются. На рисунке b = 15 см, h = 30 см, H = 35 см. Найти отношение плотностей ρ_1/ρ_2. (3 балла)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Запишем равенство давлений на высоте b для левого правого колена

$$\rho_1 g(H - b) = \rho_2 g(h - b).$$

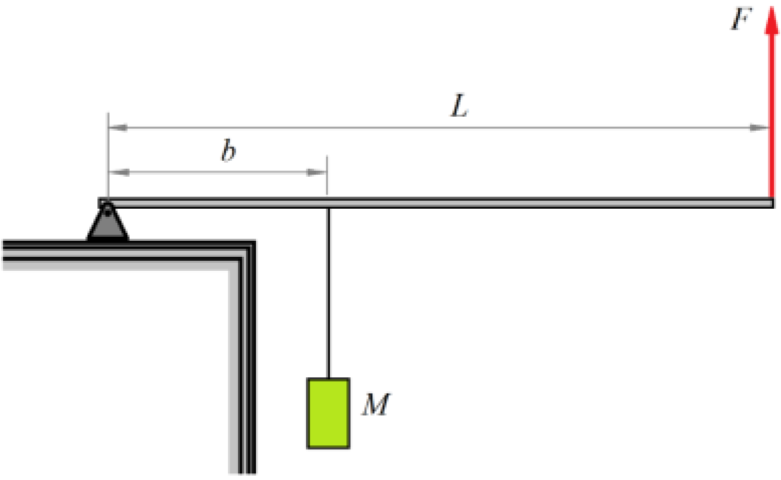
Из записанного уравнения определяем отношение плотностей

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h - b}{H - b};$$

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{30 - 15}{35 - 15} = \frac{3}{4}.$$

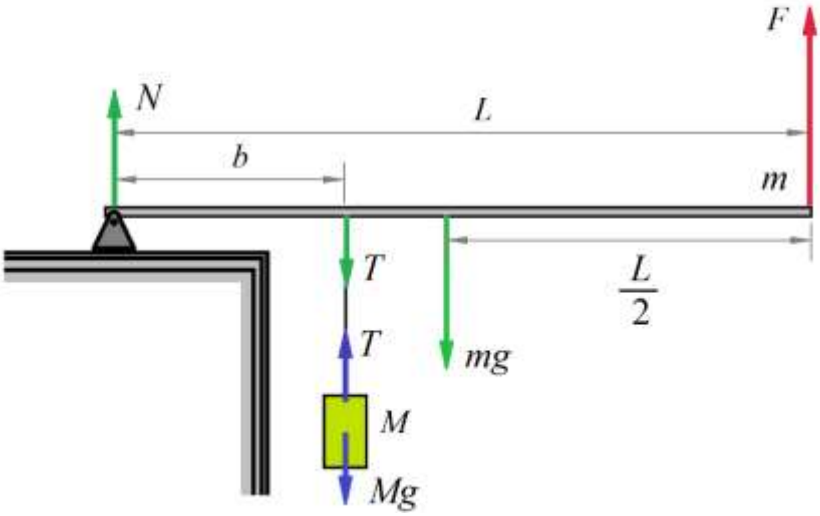
Критерии проверки:

	Содержание	Балл
5	Записано равенство давлений в левом и правом колене на одной высоте Найдено отношение плотностей	 2 1



6.Груз массой M = 100 кг удерживают на месте с помощью рычага, приложив вертикальную силу F = 350 Н (см. рисунок). Рычаг состоит из шарнира без трения и однородного массивного стержня длиной L = 5 м. Расстояние от оси шарнира до точки подвеса груза равно b = 1 м. Чему равна масса стержня m? (4 балла)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:



Расставим силы в системе и запишем условие покоя груза M и правило моментов для рычага относительно точки крепления к шарниру

$$T = Mg;$$

$$FL = Tb + mg\frac{L}{2}.$$

Из записанных соотношений определяем массу рычага m

$$m = \frac{2F}{g} - \frac{2Mb}{L};$$

$$m = 30 \text{ кг}.$$

Критерии проверки:

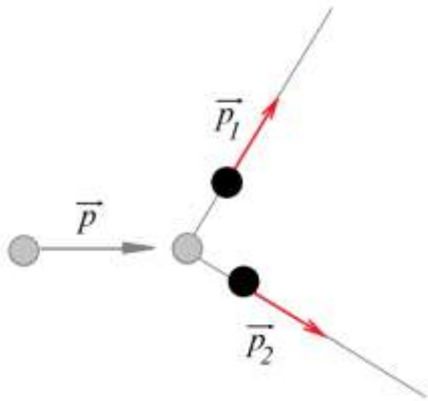
	Содержание	Балл
6	Сделан рисунок, расставлены силы	1
	Записано условие покоя груза	1
	Записано правило моментов для рычага	1
	Получен ответ для массы рычага 30 кг	1

7. На неподвижный бильярдный шар налетел другой такой же шар. Налетевший шар имел до удара импульс p = 0,5 кг·м/с. После удара шары разлетелись под углом 90° так, что импульс одного p_1 = 0,4 кг·м/с (см. рисунок). Каков импульс другого шара после соударения? (5 баллов)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Запишем закон сохранения импульса в векторной форме

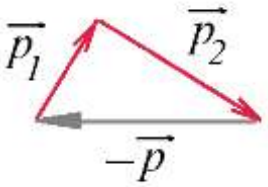
$$\vec{p} = \overrightarrow{p_1} + \overrightarrow{p_2}.$$



Перенесем вектор р в правую сторону уравнения, получим

$$\vec{0} = \overrightarrow{p_1} + \overrightarrow{p_2} - \vec{p}.$$

Это означаем, что эти три вектора образуют треугольник, причем угол между векторами p_1 и p_2 прямой. Запишем теорему Пифагора



$$p^2 = p_1^2 + p_2^2;$$
$$p_2^2 = p^2 - p_1^2;$$
$$p_2 = \sqrt{p^2 - p_1^2};$$
$$p_2 = 0{,}3\,\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

Критерии проверки:

	Содержание	Балл
7	Записан закон сохранения импульса либо в векторном виде, либо в проекциях на оси Для векторов импульсов – векторный треугольник Треугольник прямоугольный, теорема Пифагора Найден импульс p_2	2 1 1 1

8. Экспериментатор Глюк провел необычный эксперимент. Он взял теплоизолированный сосуд цилиндрической формы высотой H = 10 см и заполнил его полностью (до краёв) водой при температуре t = 33 °С, масса воды оказалась равна $M_1 = 100$ г. После этого он взял кусочек льда массой m = 50 г при температуре плавления $t_{пл}$ = 0 °С и поместил его в этот сосуд так, чтобы он плавал в нем, не касаясь стенок сосуда. После того, как наступило тепловое равновесие, Глюк вынул оставшийся кусочек льда. Пренебрегая тепловыми потерями, по данным эксперимента найдите:

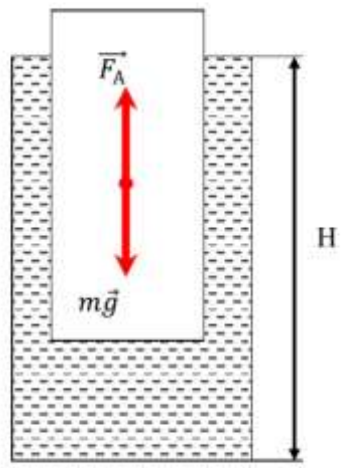
- объем вытесненной воды $V_{выт}$ из стакана, при погружении в него кусочка льда; (2 балла)
- массу расплавленного льда $m_{пл}$; (2 балла)
- массу оставшейся воды в стакане M_2; (1 балл)
- каким стал уровень воды h в стакане в результате эксперимента. (2 балла)

Табличные данные: плотность воды - $\rho_в = 1\,\frac{г}{см^3}$, удельная теплоёмкость воды $c = 4200\,\frac{Дж}{кг\cdot{}^\circ C}$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 330000\,\frac{Дж}{кг}$.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Запишем условие равновесия для кусочка льда в воде:

$$F_А = mg \qquad (1)$$



Запишем закон Архимеда, объем погруженной части льда в воду равен объему вытесненной воды:

$$F_А = \rho_в g V_{выт} \qquad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) получим формулу для нахождения объема вытесненной воды и найдем числовое значение:

$$V_{выт} = \frac{m}{\rho_в} = 50\ см^3.$$

Отсюда следует, что из стакана вылилась объём воды равный объёму вытесненной кусочком льда воды. Значит, в стакане к моменту начала таяния льда находилась вода массой $(M_1 - m)$.

В процессе плавления льда масса содержимого в стакане сохраняется. Так как отсутствуют тепловые потери, можно записать уравнение теплового баланса:

$$Q_{охл} = Q_{пл}$$

$$c(M_1 - m)(t - t_{пл}) = \lambda m_{пл}$$

Из записанного уравнения определим массу расплавленного льда:

$$m_{пл} = \frac{c(M_1 - m)(t - t_{пл})}{\lambda} = \frac{4200 \cdot (0{,}1 - 0{,}05) \cdot (33 - 0)}{330000} = 0{,}021\ кг = 21\ г.$$

Очевидно, что оставшаяся масса воды в стакане M_2 будет складываться из массы воды, которая была к моменту начала таяния льда и массы расплавленного льда:

$$M_2 = (M_1 - m) + m_{пл} = (100\ г - 50\ г) + 21\ г = 71\ г.$$

Массу воды в стакане можно определить через её плотность и объем, а объем через площадь дна стакана S и высоту уровня воды:

$$M_1 = \rho_в V_1 = \rho_в SH \quad (3)$$

$$M_2 = \rho_в V_2 = \rho_в Sh \quad (3)$$

Из уравнений (3) и (4) найдем искомую высоту h:

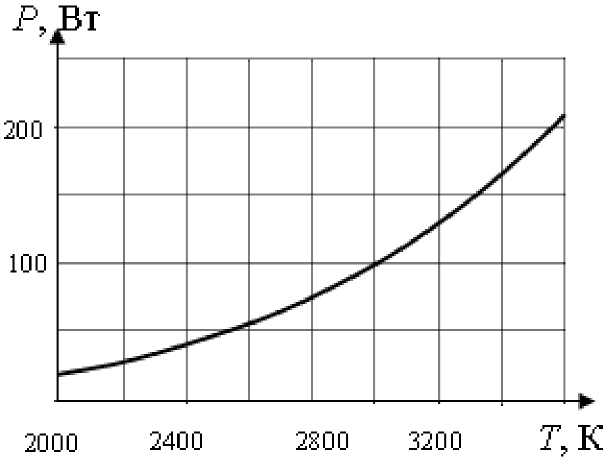
$$h = H\frac{M_2}{M_1} = 10\ см \cdot \frac{71\ г}{100\ г} = 7{,}1\ см.$$

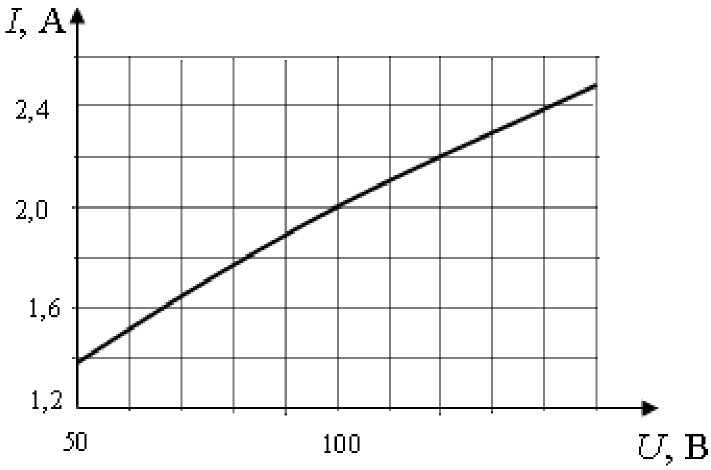
Критерии проверки:

	Содержание	Балл
8.1	Равенство силы тяжести и силы Архимеда Найден объем вытесненной воды 50 см^3	1 1
8.2	Определена масса оставшейся в стакане воды к моменту начала таяния льда $M_1 - m$ Записано уравнение теплового баланса Найдена масса расплавившегося льда 21 г	0,5 1 0,5
8.3	Найдена масса оставшейся воды в стакане M_2	1

8.4	Записана связь объёма (массы) и высоты уровня жидкости Найден уровень воды h	1 1

9.При нагревании спирали лампы накаливания протекающим по ней электрическим током основная часть подводимой энергии теряется в виде теплового излучения. На рисунке изображены графики зависимости мощности тепловых потерь лампы от температуры спирали $P = P(T)$ и силы тока от приложенного напряжения $I = I(U)$. При помощи этих графиков определите примерную температуру спирали лампы при силе тока $I = 2\ A$. (3 балла)





ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

По графику зависимости силы тока от напряжения (ВАХ лампы) определим, что при токе 2 А напряжение на лампе равно U = 100 В. Поэтому на лампе будет выделяться мощность P, равная

$$P = I \cdot U;$$

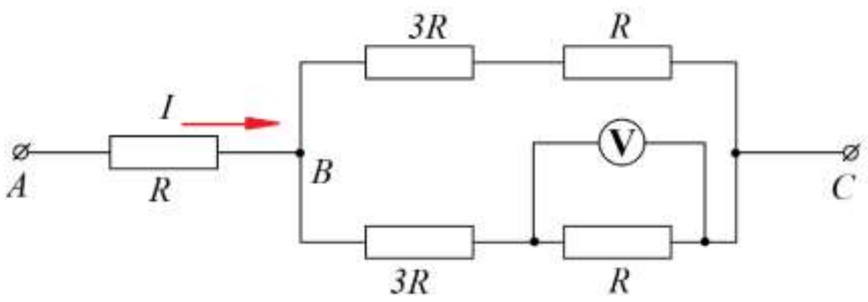
$$P = 2 \cdot 100 = 200\ (\text{Вт}).$$

По графику зависимости мощности от температуры определяем температуру, соответствующую этой мощности

$$T = 3570\ K.$$

Критерии проверки:

	Содержание	Балл
9	По графику ВАХ найдено напряжение 100 В Посчитана мощность 200 Вт По графику *P(T)* найдено значение температуры – примерно 3570 К	1 1 1



10.На рисунке показана схема участка электрической цепи. По участку AB течёт постоянный ток $I = 4$ А. Какое напряжение показывает идеальный вольтметр, если сопротивление $R = 1$ Ом? (2 балла) Чему равно напряжение между точками А и С U_{AC}? (3 балла)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Так как вольтметр идеальный, то его сопротивление намного больше сопротивлений всех резисторов, следовательно, ток через него не идёт. Тогда в точке В ток поделится пополам, так как сопротивления верхней и нижней ветвей одинаковы и равны $3R + R = 4R$. Поэтому ток через резистор, к которому параллельно присоединён вольтметр, равен 2 А. Следовательно, напряжение на нём равно (показания вольтметра) $2 \cdot 1 = 2$ (В).

Напряжение между точками А и С равно

$$U_{AC} = I \cdot R + \frac{I}{2} \cdot (3R + R) = 3I \cdot R;$$

$$U_{AC} = 12 \text{ В}.$$

Критерии проверки:

	Содержание	Балл
10.1	Сопротивления верхней и нижней веток одинаковы В точке В ток делится пополам Найдены показания вольтметра	0,5 0,5 1
10.2	Найдено напряжение между точками А и С	2