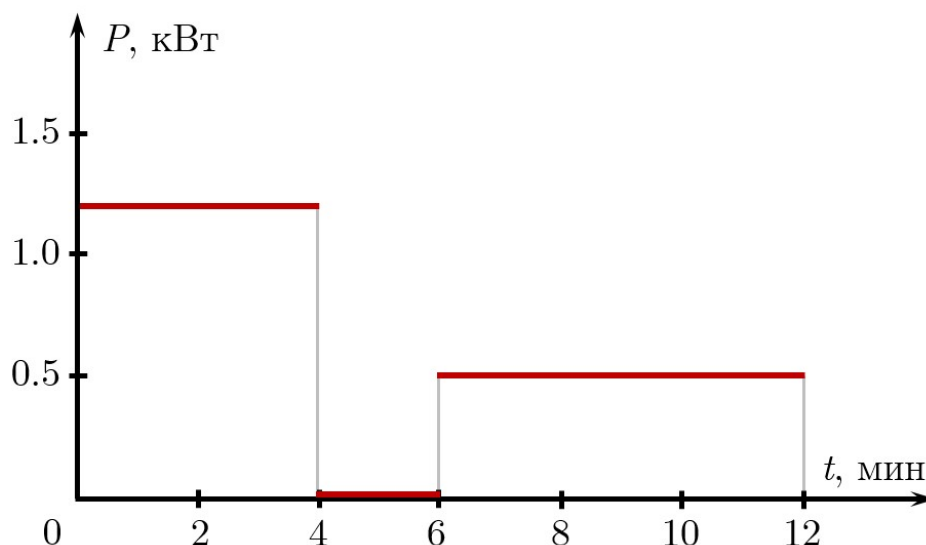


Максимальное количество баллов за олимпиаду — 30

Задание 1. Вариант 1. Нагреватель электрического чайника может работать в двух режимах. В стандартном режиме мощность нагревателя равна 500 Вт, а в интенсивном — 1200 Вт. В чайник положили 1 кг снега, взятого при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, и включили чайник. График зависимости мощности нагревателя чайника от времени представлен на рисунке.



Тепловыми потерями в окружающую среду пренебречь. Удельная теплоёмкость льда $c_1 = 2100$ Дж/(кг \cdot $^{\circ}\text{C}$), удельная теплоёмкость воды $c_2 = 4200$ Дж/(кг \cdot $^{\circ}\text{C}$), удельная теплота плавления льда $\lambda = 340$ кДж/кг, удельная теплота кипения воды $L = 2.3$ МДж/кг.

а) Сколько всего времени работал нагреватель в стандартном режиме? Ответ выразите в минутах, округлите до целых.

Ответ: 6

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

б) Сколько всего времени работал нагреватель в интенсивном режиме? Ответ выразите в минутах, округлите до целых.

Ответ: 4

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

в) Сколько времени нагреватель не работал? Ответ выразите в минутах, округлите до целых.

Ответ: 2

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

г) Чему равна средняя мощность нагревателя за 12 минут работы? Ответ выразите в ваттах, округлите до целых.

Ответ: 650

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

д) Чему была равна температура содержимого чайника к концу 4-й минуты? Ответ выразите в градусах Цельсия, округлите до целых.

Ответ: 0

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

е) Чему была равна температура содержимого чайника к концу 12-й минуты? Ответ выразите в градусах Цельсия, округлите до целых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [19; 21]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

ж) Сколько времени нагреватель должен непрерывно работать в интенсивном режиме, чтобы превратить снег, взятый при начальной температуре, в стоградусный пар при нормальном атмосферном давлении? Ответ выразите в минутах, округлите до целых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [42; 44]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) $T_1 = 12 \text{ мин} - 6 \text{ мин} = 6 \text{ мин}.$

б) $T_2 = 4 \text{ мин} - 0 \text{ мин} = 4 \text{ мин}.$

в) $T_3 = 6 \text{ мин} - 4 \text{ мин} = 2 \text{ мин}.$

г) $Q = 1200 \text{ Вт} \cdot 240 \text{ с} + 500 \text{ Вт} \cdot 360 \text{ с} = 288000 \text{ Дж} + 180000 \text{ Дж} = 468000 \text{ Дж},$

$T = 12 \cdot 60 \text{ с} = 720 \text{ с},$

$P_{\text{ср}} = \frac{Q}{T} = \frac{468000 \text{ Дж}}{720 \text{ с}} = 650 \text{ Вт}.$

д) На нагревание снега до температуры плавления требуется:

$$Q_1 = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1 \text{ кг} \cdot 20 ^\circ\text{C} = 42000 \text{ Дж} = 42 \text{ кДж}.$$

На плавление снега при $0 ^\circ\text{C}$ потребуется:

$$Q_2 = 340000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 1 \text{ кг} = 340000 \text{ Дж}.$$

На нагревание снега до температуры плавления и полного плавления снега потребуется:

$$Q_3 = 42000 \text{ Дж} + 340000 \text{ Дж} = 382000 \text{ Дж} = 382 \text{ кДж}.$$

К концу четвёртой минуты выделилось 288 кДж тепла. Сравним:

$$42 \text{ кДж} < 288 \text{ кДж} < 382 \text{ кДж},$$

значит, снег нагрелся до температуры плавления и частично расплавился. Температура смеси воды и льда при нормальном атмосферном давлении равна $0 ^\circ\text{C}$.

е) На нагревание получившейся воды до температуры кипения требуется:

$$Q_4 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1 \text{ кг} \cdot 100 ^\circ\text{C} = 420000 \text{ Дж} = 420 \text{ кДж}.$$

На нагревание до температуры плавления, плавление льда при $0 ^\circ\text{C}$ и нагревание получившейся воды до температуры кипения $100 ^\circ\text{C}$ потребуется:

$$Q_5 = 42 \text{ кДж} + 340 \text{ кДж} + 420 \text{ кДж} = 802 \text{ кДж}.$$

К концу 12-й минуты выделилось 468 кДж тепла. Сравним:

$$382 \text{ кДж} < 468 \text{ кДж} < 802 \text{ кДж},$$

значит, получившаяся вода будет нагреваться.

На нагревание будет израсходовано $Q_6 = 468 \text{ кДж} - 382 \text{ кДж} = 86 \text{ кДж}$. Вода нагреется от $0 ^\circ\text{C}$ до

$$t = \frac{86000 \text{ Дж}}{1 \text{ кг} \cdot 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})} \approx 20.48 ^\circ\text{C} \approx 20 ^\circ\text{C}.$$

ж) На нагревание снега до температуры плавления, плавление снега при $0 ^\circ\text{C}$, нагревание получившейся воды до температуры кипения $100 ^\circ\text{C}$ и обращение воды в пар при температуре кипения потребуется:

$$Q = 42 \text{ кДж} + 340 \text{ кДж} + 420 \text{ кДж} + 2300 \text{ кДж} = 3102 \text{ кДж}.$$

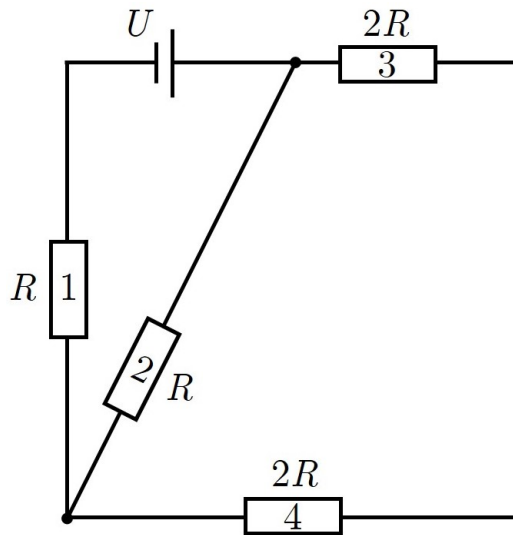
Такое количество энергии выделится за время

$$T = \frac{3102000 \text{ Дж}}{1200 \text{ Вт}} = 2585 \text{ с} \approx 43 \text{ мин}.$$

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 1.

№ варианта	Масса снега, кг	Температура снега, °С	Ответ в диапазоне (пункт е)	Ответ в диапазоне (пункт ж)
1	1	-20	[19; 21]	[42; 44]
2	0.7	-50	[52; 54]	[30; 32]
3	0.7	-45	[55; 57]	[30; 32]
4	0.7	-40	[57; 59]	[30; 32]

Задание 2. Вариант 1. Электрическая цепь состоит из четырёх резисторов ($R = 2 \text{ Ом}$). Напряжение на идеальном источнике тока постоянно и равно $U = 24 \text{ В}$.



Заполните пропуски. Если условию отвечают несколько резисторов, укажите их все.

а) Наименьший ток, равный ... (ответ округлите до десятых)

Ответ: засчитывается в диапазоне [1.2; 1.4] А

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

б) идёт через ...

Ответ:

- резистор 1
- резистор 2
- ✓ резистор 3
- ✓ резистор 4

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

в) Наибольшее напряжение, равное ... (ответ округлите до целых)

Ответ: засчитывается в диапазоне [12; 14] В

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

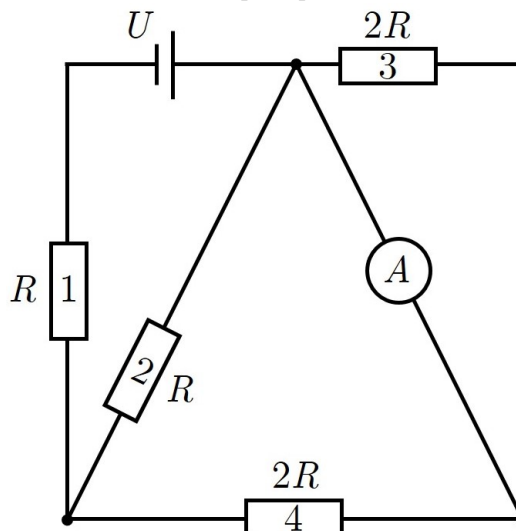
г) наблюдается на ...

Ответ:

- ✓ резисторе 1
- резисторе 2
- резисторе 3
- резисторе 4

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

Параллельно резистору 3 включили идеальный амперметр.



д) Через ... ток не идёт.

Ответ:

- резистор 1
- резистор 2
- ✓ резистор 3
- резистор 4

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

е) Теперь наибольшее напряжение, равное ... (ответ округлите до целых)

Ответ: засчитывается в диапазоне [13; 15] В

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

ж) наблюдается на ...

Ответ:

- ✓ резисторе 1
- резисторе 2
- резисторе 3
- резисторе 4

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а-б) Найдём токи через все резисторы. Общее сопротивление цепи: $R_0 = R_1 + \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 + R_4} = 1.8R = 3.6 \text{ Ом}$.

$$I_1 = I_0 = \frac{U}{R_0} = \frac{24 \text{ В}}{3.6 \text{ Ом}} \approx 6.7 \text{ А}.$$

$$I_2 = \frac{4 \cdot I_0}{5} \approx 5.4 \text{ А}.$$

$$I_3 = I_4 = \frac{I_0}{5} \approx 1.3 \text{ А}.$$

в-г) Найдём напряжения на всех резисторах.

$$U_1 = I_1 \cdot R_1 = 6.7 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} \approx 13 \text{ В}.$$

$$U_2 = I_2 \cdot R_2 = 5.4 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} \approx 11 \text{ В}.$$

$$U_3 = I_3 \cdot R_3 = 1.3 \text{ А} \cdot 4 \text{ Ом} \approx 5 \text{ В}.$$

$$U_4 = I_4 \cdot R_4 = 1.3 \text{ А} \cdot 4 \text{ Ом} \approx 5 \text{ В}.$$

д) Сопротивление идеального амперметра равно нулю. Сопротивление участка из параллельно соединённых резистора R_3 и амперметра равно нулю, напряжение на этом участке равно нулю, тока через резистор R_3 нет. Это наименьший ток в цепи.

е-ж) Найдём токи через все резисторы. Общее сопротивление цепи после присоединения амперметра:

$$R_0 = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4} = 1.67R = 3.34 \text{ Ом}.$$

$$I_1 = I_0 = \frac{U}{R_0} = \frac{24 \text{ В}}{3.34 \text{ Ом}} \approx 7.2 \text{ А}.$$

$$I_2 = \frac{2 \cdot I_0}{3} = \frac{2 \cdot 7.2 \text{ А}}{3} = 4.8 \text{ А}.$$

$$I_3 = 0 \text{ А}.$$

$$I_4 = \frac{I_0}{3} = \frac{7.2 \text{ А}}{3} = 2.4 \text{ А}.$$

Найдём напряжения на всех резисторах.

$$U_1 = I_1 \cdot R_1 = 7.2 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} \approx 14 \text{ В}.$$

$$U_2 = I_2 \cdot R_2 = 4.8 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} \approx 10 \text{ В}.$$

$$U_3 = I_3 \cdot R_3 = 0 \text{ А} \cdot 4 \text{ Ом} = 0 \text{ В}.$$

$$U_4 = I_4 \cdot R_4 = 2.4 \text{ А} \cdot 4 \text{ Ом} \approx 10 \text{ В}.$$

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 2.

№ варианта	R, Ом	U, В	Ответ в диапазоне (пункт а)	Ответ в диапазоне (пункт в)	Ответ в диапазоне (пункт е)
1	2	24	[1.2; 1.4]	[12; 14]	[13; 15]
2	4	26	[0.6; 0.8]	[13; 15]	[15; 17]
3	6	28	[0.4; 0.6]	[15; 17]	[16; 18]
4	8	30	[0.3; 0.5]	[16; 18]	[17; 19]

Задание 3. Вариант 1. Внутри шара имеется полость объёмом 30 см^3 . Вес шара в воде 2.8 Н , вес шара в воздухе 3.6 Н . Плотность воды 1.0 г/см^3 . Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ Н/кг}$.

а) Чему равна масса шара? Ответ выразите в граммах, округлите до целых.

Ответ: 360

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

б) Чему равен объём шара? Ответ выразите в кубических сантиметрах, округлите до целых.

Ответ: 80

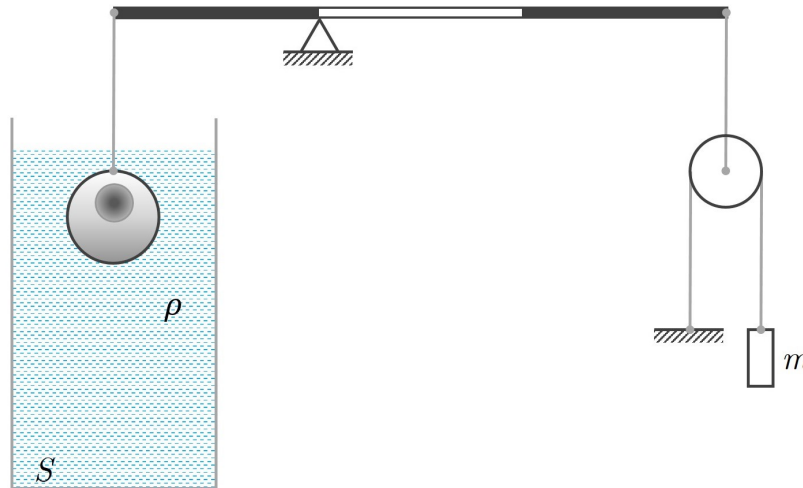
Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

в) Чему равна плотность вещества, из которого изготовлен шар? Ответ выразите в г/см^3 , округлите до десятых.

Ответ: 7.2

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

г) Шар полностью погрузили в сосуд с водой и уравновесили с помощью груза и невесомых рычага и блока. Опора делит рычаг в отношении $1 : 2$. Площадь дна сосуда $S = 100 \text{ см}^2$.



На сколько миллиметров поднялся уровень воды в сосуде? Ответ округлите до целых.

Ответ: 8

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

д) Чему равна масса груза, уравновешивающего рычаг? Ответ выразите в граммах, округлите до целых.

Ответ: 70

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) Масса шара:

$$m_{\text{ш}} = \frac{F_{\text{Т}}}{g} = \frac{3.6 \text{ Н}}{10 \text{ Н/кг}} = 0.36 \text{ кг} = 360 \text{ г}.$$

б) Вес шара в воде меньше, чем в воздухе, на величину силы Архимеда:

$$F_{\text{а}} = 3.6 \text{ Н} - 2.8 \text{ Н} = 0.8 \text{ Н}.$$

Объём шара:

$$V = \frac{F_{\text{а}}}{\rho \cdot g} = \frac{0.8 \text{ Н}}{1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 10 \text{ Н/кг}} = 0.00008 \text{ м}^3 = 80 \text{ см}^3.$$

в) Объём вещества, из которого изготовлен шар:

$$V_{\text{ш}} = V - V_{\text{п}} = 80 \text{ см}^3 - 30 \text{ см}^3 = 50 \text{ см}^3.$$

Плотность вещества:

$$\rho = \frac{m_{\text{ш}}}{V_{\text{ш}}} = \frac{360 \text{ г}}{50 \text{ см}^3} = 7.2 \text{ г/см}^3.$$

г) Объём воды, вытесненной шаром, равен объёму шара. Высота слоя воды в цилиндрическом сосуде:

$$h = \frac{V}{S} = \frac{80 \text{ см}^3}{100 \text{ см}^2} = 0.8 \text{ см} = 8 \text{ мм}.$$

д) Сила, приложенная к правому плечу рычага, в 2 раза меньше веса шара в воде:

$$F = \frac{2.8 \text{ Н}}{2} = 1.4 \text{ Н.}$$

Подвижный блок даёт выигрыш в силе в 2 раза; вес груза:

$$P = \frac{F}{2} = \frac{1.4 \text{ Н}}{2} = 0.7 \text{ Н.}$$

Масса груза:

$$m = \frac{P}{g} = \frac{0.7 \text{ Н}}{10 \text{ Н/кг}} = 0.07 \text{ кг} = 70 \text{ г.}$$

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 3.

№ варианта	Объём полости, см ³	Вес шара в воде, Н	Вес шара в воздухе, Н	Площадь дна сосуда, см ²	Ответ (пункт а)	Ответ (пункт б)	Ответ (пункт в)	Ответ (пункт г)	Ответ (пункт д)
1	30	2.8	3.6	100	360	80	7.2	8	70
2	30	3.0	3.8	200	380	80	7.6	4	75
3	30	3.4	4.2	200	420	80	8.4	4	85
4	30	3.6	4.4	50	440	80	8.8	16	90