

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
(МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП)
возрастная группа (10 класс)

ЗАДАНИЕ 1.

В термостат, содержащий $m = 0,5$ кг воды при температуре $t_1 = 10$ °С, поступает водяной пар при температуре $t_2 = 100$ °С со скоростью $\delta = 10^{-5}$ кг/с. Через какое время температура воды станет равной $t_3 = 20$ °С. Удельная теплоемкость воды $c = 4200$ Дж/кг·К, удельная теплота парообразования воды $\lambda = 2,3$ МДж/кг.

Решение.

Пусть это произойдет через время T . За это время масса пара $\delta \cdot T$ с температурой $t_2 = 100$ °С сконденсируется и превратится в воду с температурой $t_3 = 20$ °С.

При этом выделится количество теплоты $Q_1 = \lambda \cdot \delta \cdot T + c \cdot \delta \cdot T \cdot (t_2 - t_3)$.

Это количество теплоты пойдет на нагревание содержавшейся изначально в термостате воды массой m с температуры t_1 до температуры t_3 .

Т.е. $Q_1 = \lambda \cdot \delta \cdot T + c \cdot \delta \cdot T \cdot (t_2 - t_3) = c \cdot m \cdot (t_3 - t_1)$.

Откуда $T = c \cdot m \cdot (t_3 - t_1) / [\lambda \cdot \delta + c \cdot \delta \cdot (t_2 - t_3)] = 800$ с.

Ответ: 800 с.

Критерии оценивания

Правильно определена масса пара за время T	4 балла
Правильно записана формула выделившегося количества теплоты для пара.	2 балла
Правильно записано уравнение теплового баланса.	2 балла
Получен верный результат	2 балла
Всего	10 баллов

ЗАДАНИЕ 2.

На экваторе некоторой планеты тела весят вдвое меньше, чем на полюсе. Плотность вещества планеты равна ρ . Определить, каков период обращения этой планеты вокруг собственной оси. (Объем шара рассчитывается по формуле $V = \frac{4}{3}\pi R^3$)

Решение.

Тело на экваторе вращается вместе с планетой по окружности радиуса R , поэтому второй закон Ньютона будет записан в следующем виде:

$$mg - N_{\text{э}} = ma_{\text{ц}}$$

Тело на полюсе вращается вокруг себя, так как ось вращения планеты проходит через его центр масс. Первый закон Ньютона для этого тела выглядит так:

$$Mg = N_{\text{п}}$$

Сила реакции опоры равна весу тела по третьему закону Ньютона. Значит $N_{\text{э}} = P_{\text{э}}$ и $N_{\text{п}} = P_{\text{п}}$. Записав в другом виде полученные ранее равенства, получим такую систему:

$$P_{\text{э}} = mg - ma_{\text{ц}}$$

$$P_{\text{п}} = mg$$

Поделим первое равенство на второе. Учитывая, что по условию

$$P_{\text{э}} = \frac{1}{2} P_{\text{п}}, \text{ имеем:}$$

$$g = 2a_{\text{ц}} \quad (1)$$

Ускорение свободного падения g на поверхности планеты можно найти по формуле:

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

Масса планеты равна произведению её средней плотности на объем:

$$M = \rho \cdot V$$

Объем сферической планеты определим по известной из математики формуле:

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3$$

Тогда:

$$g = \frac{4}{3} \pi G \rho R \quad (2)$$

Центростремительное ускорение $a_{ц}$ зависит от угловой скорости ω и радиуса R .

$$a_{ц} = \omega^2 R$$

Угловая скорость ω связана с периодом T по такой формуле:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Значит:

$$a_{ц} = \frac{4\pi^2}{T^2} R \quad (3)$$

Подставим выражения (2) и (3) в полученное ранее равенство (1):

$$T = \sqrt{\frac{6\pi}{G\rho}}$$

Посчитаем ответ:

$$T = \sqrt{\frac{6 \cdot 3,14}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 3000}} = 9703 \text{ с} = 161,7 \text{ мин}$$

Ответ: 161,7 мин

Критерии оценивания

Правильно записан 2-ой закон Ньютона для тела на экваторе	2 балла
Правильно записан 2-ой закон Ньютона для тела на полюсе	2 балла
Правильно записана формула для ускорения свободного падения.	1 балл
Правильно записана формула для массы планеты	1 балл
Правильно получена формула для периода	2 балла
Получен верный результат	2 балла
Всего	10 баллов

ЗАДАНИЕ 3.

Экспедиция с Земли в составе капитана Зелёного, профессора Селезнёва и его дочери Алисы отправляется на корабле «Пегас» на поиски новых видов животных для Московского космического зоопарка. Пегас стартует с Земли с постоянным ускорением a , но путешественники забыли важный прибор и его обнаружил сотрудник космодрома. В течение какого времени после взлета сотруднику космодрома имеет смысл звать корабль назад, если скорость звука в воздухе равна c ?

Решение.

Позиция корабля определяется, формулой

$$S = \frac{a \cdot t^2}{2}$$

Расстояние, которое пройдет звук

$$L = c(t - x), \text{ где } x - \text{ время опоздания сигнала.}$$

Приравниваем S и L . Решая квадратное уравнение получаем

$$x \leq \frac{c}{2 \cdot a}$$

Ответ:

$$x \leq \frac{c}{2 \cdot a}$$

Критерии оценивания

Правильно записана формула позиции корабля	2 балла
Правильно записана формула расстояния, которое пройдет звук	6 балла
Правильно решено квадратное уравнение и получен результат	2 балл
Всего	10 баллов

ЗАДАНИЕ 4.

Для нагревания воды используют электрический нагреватель, который состоит из трёх одинаковых спиралей: две соединены параллельно и к ним последовательно подключена третья. Нагреватель опустили в воду, но через $\tau_0 = 6$ мин, когда вода нагрелась от $t_1 = 10$ °С до температуры $t_2 = 30$ °С, спираль в параллельном соединении перегорела. На сколько больше минут из-за этого придется ждать, пока вода закипит? Напряжение, подаваемое на нагреватель постоянно. Потерями теплоты можно пренебречь.

Решение.

Так как напряжение на нагревателе остаётся в первом и во втором случае остаётся постоянным, то расчёт мощности нагревателя удобно производить по формуле $P = \frac{U^2}{R}$.

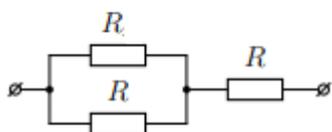


Рис. 1

Электрическая схема (рис.1) нагревателя до перегорания спирали, общее сопротивление $R_1 = \frac{3}{2}R$

$$\text{мощность } P_1 = \frac{2U^2}{3R} . \quad (1)$$

Электрическая схема (рис. 2) нагревателя после перегорания спирали, общее сопротивление

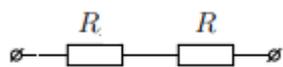


Рис. 2

$$R_1 = 2R , \text{ мощность } P_2 = \frac{U^2}{2R} . \quad (2)$$

Применим к данным этапам нагревания уравнение теплового баланса:
 $P\tau = C(t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}})$, где P – мощность нагревателя τ – время работы нагревателя, C – теплоёмкость воды, которая нагревается. Получим:

$$\text{до перегорания } P_1\tau_0 = C(t_2 - t_1), \quad (3)$$

если бы продолжился нагрев с той же мощностью P_1 , то до кипения воды (t_k – температура кипения) было бы затрачено времени τ_1 , в этом случае уравнение теплового баланса:

$$P_1\tau_1 = C(t_k - t_2). \quad (4)$$

На втором этапе, когда одна спираль перегорела, уравнение теплового баланса:

$$P_2\tau_2 = C(t_k - t_2), \quad (5)$$

где τ_2 – время нагрева до кипения при мощности нагревателя P_2 .

Ответом задачи будет разность:

$$\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1. \quad (6)$$

Для нахождения τ_2 и τ_1 , сделаем следующее: поделим уравнение (4) на (5), получим $P_1\tau_1 = P_2\tau_2$, (7)

поделим уравнение (4) на (3), получим $\frac{\tau_1}{\tau_0} = \frac{(t_k - t_2)}{(t_2 - t_1)}$ или $\frac{\tau_1}{\tau_0} \cdot \frac{7}{2} = \frac{7}{2}$ и

$$\tau_1 = \frac{7}{2}\tau_0. \quad (8)$$

Из уравнения (7) с учётом (8) найдем τ_2 :

$$\tau_2 = \frac{P_1\tau_1}{P_2} = \frac{2U^2 2R\tau_1}{3RU^2} = \frac{4}{3}\tau_1 = \text{или } \tau_2 = \frac{14}{3}\tau_0. \quad (9)$$

Таким образом, $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 = \left(\frac{14}{3} - \frac{7}{2}\right)\tau_0 = \frac{7}{6}\tau_0$ или $\Delta\tau = 7$ мин

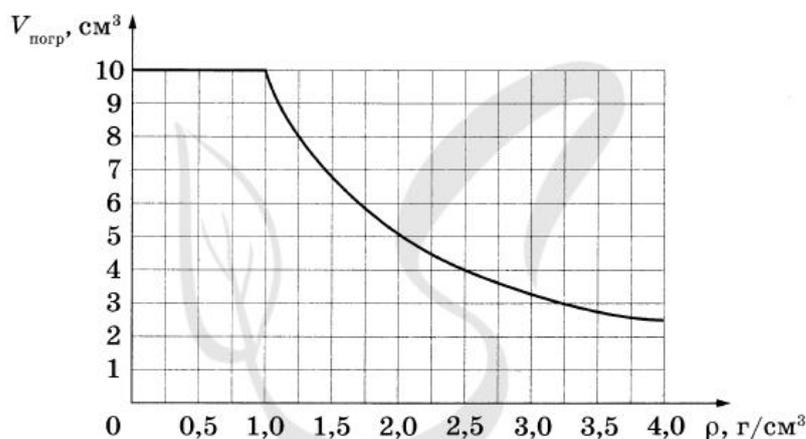
Ответ: $\Delta\tau = 7$ мин

Критерии оценивания

1) Для расчёта мощности выбрана формула $P = \frac{U^2}{R}$	1 балла
2) Обоснованно получены уравнения (1) и (2)	2 балла
3) Обоснованно получены уравнения (3) и (4)	2 балла
4) Обоснованно получено уравнение (5)	1 балл
5) Обоснованно получены уравнения (8) и (9)	2 балла
6) Получен правильный ответ: 7 минут	2 балла
Всего	10 баллов

ЗАДАНИЕ 5.

Ученик помещал цилиндр объемом $V = 10 \text{ см}^3$, не удерживая его, в различные жидкости, плотности которых представлены в таблице, и измерял объем погружённой в жидкость части цилиндра $V_{\text{погр}}$. По результатам измерений была получена зависимость объема погружённой части цилиндра $V_{\text{погр}}$ от плотности жидкости (см. рис.).



Жидкость	Бензин	Спирт	Вода	Глицерин	Хлороформ	Бромформ	Дийодметан
$\rho, \text{ г/см}^3$	0,71	0,79	1,0	1,26	1,49	2,89	3,25

Анализируя полученный график, ответьте на вопросы:

1. Правда ли, что в бензине и спирте цилиндр плавает? Объясните ответ.
2. Найдите силу Архимеда, действующую на цилиндр в хлороформе?
3. Правда ли что при плавании цилиндра в бромформе и дийодметане сила Архимеда, действующая на цилиндр, одинакова. Объясните ответ.

4. Правда ли, что в бензине и спирте сила Архимеда, действующая на цилиндр, одинакова.

Решение.

Проанализируем график. Объем погруженной части цилиндра равен объему цилиндра тогда, когда цилиндр тонет или плавает внутри жидкости. Такое происходит для жидкостей, плотность которых меньше или равна плотности воды (бензин, спирт). Следовательно, в этих жидкостях цилиндр тонет. Объем погруженной части меньше объема цилиндра при погружении в жидкости, имеющие плотность больше, чем плотность воды. Следовательно, в этих жидкостях цилиндр плавает. Причем, по условию плавания тел сила Архимеда в этих жидкостях равна силе тяжести. Найти силу тяжести можно, используя факт, что цилиндр плавает внутри воды и тогда

$$m \cdot g = F_a = \rho_v \cdot g \cdot V = 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 = 0,1 \text{ Н}$$

1. Неверно. В бензине и спирте цилиндр тонет.
2. В хлороформе цилиндр плавает, следовательно, выталкивающая сила равна силе тяжести и равна 0,1 Н.
3. Верно. В бромформе и дийодметане цилиндр плавает, следовательно, сила Архимеда в этих жидкостях равна силе тяжести, а значит, одинакова.
4. Неверно. В бензине и спирте цилиндр тонет, значит, сила Архимеда зависит от плотности жидкости (в бензине она меньше, чем в спирте).

Критерии оценивания

Проведен анализ графика	2 балла
Верный ответ на первый вопрос	2 балла
Верный ответ на второй вопрос	2 балла
Верный ответ на третий вопрос	2 балла
Верный ответ на четвертый вопрос	2 балла
Всего	10 баллов