

ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ ВАРИАНТ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ  
ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ФИЗИКА»  
ДЛЯ 10 КЛАССА

Время выполнения заданий – 120 минут.  
Максимальное количество баллов – 100.

**Задача 1**

Тело падает с некоторой высоты без начальной скорости. В некоторый момент времени оно оказалось на высоте  $h$  над землей, а спустя интервал времени  $\Delta t$  – на высоте  $h/2$ . С какой высоты  $H$  падало тело?

**Решение.**

Зная, что тело движется равноускоренно, найдем его скорость на высоте  $h$ :

$$h - \frac{h}{2} = v_0 \Delta t + \frac{g \Delta t^2}{2}$$
$$v_0 = \frac{h}{2 \Delta t} - \frac{g \Delta t}{2} = \frac{h - g \Delta t^2}{2 \Delta t}$$

По закону сохранения механической энергии:

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh'$$

Здесь  $h'$  - высота над точкой  $h$ .

$$h' = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{(h - g \Delta t^2)^2}{8g \Delta t^2}$$

Соответственно, для получения искомой высоты, к полученному значению нужно прибавить известную высоту  $h$ .

**Ответ:**  $H = h + \frac{(h - g \Delta t^2)^2}{8g \Delta t^2}$  (15 баллов).

**Задача 2**

Период колебаний математического маятника длины  $l$ , находящегося на поверхности Земли, составляет  $T$ . На какую длину  $\Delta l$  нужно изменить длину математического маятника (и как – увеличить или уменьшить), чтобы на высоте  $H$ , период его колебаний остался неизменным?

**Решение.** Период колебаний математического маятника:  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ . Ускорение свободного падения на поверхности Земли:  $g_3 = \frac{G}{M_3 R_3^2}$ , где  $G$  – гравитационная постоянная,  $M_3$  – масса Земли,  $R_3$  – радиус Земли. На высоте  $H$ , период колебаний маятника будет составлять, соответственно,  $T_H = 2\pi\sqrt{\frac{l_H M_3 (H+R_3)^2}{G}}$ , где  $l_H = l + \Delta l$  – длина маятника. Согласно условию:

$$2\pi\sqrt{\frac{l M_3 R_3^2}{G}} = 2\pi\sqrt{\frac{(l + \Delta l) M_3 (H + R_3)^2}{G}}$$

$$l R_3^2 = (l + \Delta l) (H + R_3)^2$$

$$\frac{l + \Delta l}{l} = \frac{R_3^2}{(H + R_3)^2} \rightarrow \Delta l = l \left( \frac{R_3^2}{(H + R_3)^2} - 1 \right)$$

Очевидно, что  $\frac{R_3^2}{(H+R_3)^2} < 1$ , таким образом,  $\Delta l$  имеет отрицательное значение, значит, для искомого условия, нужно уменьшить длину нити на  $\Delta l = l \left( 1 - \frac{R_3^2}{(H+R_3)^2} \right)$

**Ответ:** Уменьшить на  $\Delta l = l \left( 1 - \frac{R_3^2}{(H+R_3)^2} \right)$  (20 баллов).

### Задача 3

В герметичный калориметр, содержащий водяной пар, имеющий массу  $m_{\text{п}}$  и температуру  $t_{\text{п}}$ , равную 100°C, добавили некоторое количество льда температуры  $t_{\text{л}}$ . Какова масса льда  $m_{\text{л}}$ , если после установления теплового равновесия температура содержимого калориметра равнялась 0°C? Табличные значения физических величин считать известными.

**Решение.** После установления теплового равновесия, содержимое калориметра может находиться в состоянии и в виде льда, и в виде воды, и в виде смеси. Для ответа на вопрос необходимо рассмотреть два крайних состояния – когда все содержимое калориметра полностью перешло в лед или полностью перешло в воду, таким образом можно оценить возможный диапазон масс добавленного в калориметр льда.

Рассмотрим случай, когда все содержимое калориметра перешло в лед.

$$m_{\text{п}}L + m_{\text{п}}c_{\text{в}}(t_{\text{п}} - t_0) + m_{\text{п}}\lambda = m_{\text{л}}c_{\text{л}}(t_0 - t_{\text{л}})$$

Здесь  $\lambda$  – удельная теплота плавления льда,  $L$  – удельная теплота парообразования воды,  $c_{\text{в}}$  и  $c_{\text{л}}$  – удельные теплоемкости воды и льда, соответственно.

Во втором случае, когда все содержимое калориметра перешло в воду, справедливо:

$$m_{\text{п}}L + m_{\text{п}}c_{\text{в}}(t_{\text{п}} - t_0) = m_{\text{л}}c_{\text{л}}(t_0 - t_{\text{л}}) + m_{\text{л}}\lambda$$

Таким образом, масса льда варьируется в диапазоне:

$$\frac{m_{\text{п}}(L + c_{\text{в}}(t_{\text{п}} - t_0))}{c_{\text{л}}(t_0 - t_{\text{л}}) + \lambda} \leq m_{\text{л}} \leq \frac{m_{\text{п}}(L + \lambda + c_{\text{в}}(t_{\text{п}} - t_0))}{c_{\text{л}}(t_0 - t_{\text{л}})}$$

**Ответ:**

$$\frac{m_n(L+c_b(t_n-t_0))}{c_l(t_0-t_l)+\lambda} \leq m_l \leq \frac{m_n(L+\lambda+c_b(t_n-t_0))}{c_l(t_0-t_l)} \quad (20 \text{ баллов}).$$

#### Задача 4

Студент-физик, живущий в общежитии, все хозяйственные дела откладывает на конец недели, в частности, одежду он гладит по субботам строго в одно и то же время при одних и тех же внешних условиях. Каждый раз он гладит одно и то же количество одинаковой одежды, регулярно затрачивая на это одинаковое количество времени.

Студент знает устройство утюга и понимает принцип работы встроенного терморегулятора. Студент давно выучил, что лампочка на утюге загорается ровно на одну минуту с интервалом в восемь минут.

В очередную субботу студент внезапно обнаружил, что лампочка утюга загоралась на три минуты с интервалом в девять минут. Этих данных оказалось достаточно, чтобы оценить, во сколько раз упало напряжение в сети, предположив, что мощность потери теплоты поверхностью утюга одинакова как во включенном, так и в выключенном состоянии.

#### Решение.

В условии задачи полностью описан цикл работы утюга: он нагревается до рабочей температуры за определенное время (лампочка горит)  $t_0$ , при ее достижении отключается (срабатывает терморегулятор, лампочка перестает гореть). Спустя интервал времени  $T_0$ , в процессе которого происходит отдача тепла поверхностью утюга до первоначальной температуры, вновь включается, и лампочка снова загорается.

За время нагревания утюг получает теплоту:  $Q = \frac{U^2}{R} \Delta t$ , где  $U$  – напряжение в сети,  $R$  – сопротивление нагревательного элемента утюга,  $\Delta t$  – интервал времени, в течение которого утюг включен. В нашем случае, соответственно:

$$Q = \frac{U_0^2}{R} t_0$$

Согласно условию, мощность тепловых потерь утюга одинакова как во включенном, так и в выключенном состоянии:

$$Q = P_n(t_0 + T_0)$$

Процесс является циклическим, на него не влияют никакие внешние условия, таким образом, справедливы следующие соотношения:

$$\frac{U_0^2}{R} t_0 = P_n(t_0 + T_0)$$

$$\frac{U_1^2}{R} t_1 = P_n(t_1 + T_1)$$

$$U_1^2 = U_0^2 \frac{t_0}{(t_0 + T_0)} \frac{(t_1 + T_1)}{t_1}$$

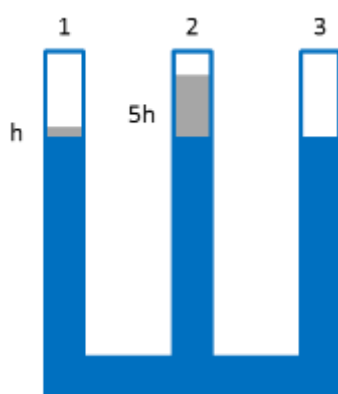
Подставляя указанные в условии значения времени, имеем:

$$\frac{U_1}{U_0} = \sqrt{\frac{t_0}{(t_0 + T_0)} \frac{(t_1 + T_1)}{t_1}} = \sqrt{\frac{1}{(1 + 8)} \frac{(3 + 9)}{3}}$$

$$\frac{U_1}{U_0} = \frac{2}{3}$$

**Ответ:** Мощность в сети упала в 1,5 раза. (20 баллов).

### Задача 5



В три одинаковых сообщающихся цилиндрических сосуда налито некоторое количество воды. Поверх воды в первый и второй сосуды (они перенумерованы, как это указано на рисунке) аккуратно наливают слой масла толщиной  $h$  и  $5h$  так, что ни из одного сосуда вода не вытесняется маслом полностью. Известно, что плотность масла  $\rho_M$  меньше плотности воды  $\rho_B$ .

Насколько изменился уровень жидкости в каждом сосуде по сравнению с первоначальным положением после установления равновесия?

#### Решение.

Исходя из закона сообщающихся сосудов, давление масла некоторой толщины  $h_M$  равняется давлению воды эквивалентной толщины  $h_B$ :  $p = \rho_M g h_M = \rho_B g h_B \rightarrow h_B = \frac{\rho_M h_M}{\rho_B}$

В нашем случае наливание в систему слоя масла толщиной  $6h$  (в первый и второй сосуды) эквивалентно толщине воды  $h_B = \frac{6\rho_M h}{\rho_B}$

Такое количество воды распределилось бы равномерно по всем трем сосудам – однако в третьем сосуде находится только вода (т.к. масло туда попасть не может согласно условию). Соответственно, уровень воды в нем поднимется на:

$$\Delta h_3 = \frac{6\rho_M h}{3\rho_B} = 2 \frac{\rho_M h}{\rho_B}$$

А давление в жидкости около дна сосуда возрастет на:

$$\Delta p_3 = \rho_B g \Delta h_3 = 2\rho_M g h$$

В первом сосуде слой масла толщиной  $h$  обеспечивает дополнительное давление  $\Delta p_1 = \rho_M g h$ . То есть, для увеличения давления около дна сосуда на  $2\rho_M g h$ , в первый сосуд должна войти вода, дающая увеличение давления на:  $2\rho_M g h - \rho_M g h$ . А именно, слой воды толщиной  $\frac{\rho_M}{\rho_B} h$ .

Таким образом, уровень жидкости в первом сосуде увеличился на:

$$\Delta h_1 = h + \frac{\rho_M}{\rho_B} h = h \left(1 + \frac{\rho_M}{\rho_B}\right)$$

Аналогично, во втором сосуде появился слой масла толщиной  $5h$ , дополнительное давление которого:  $\Delta p_2 = 5\rho_M g h$ . Чтобы давление около дна сосуда возросло на  $2\rho_M g h$ , из него должна уйти вода толщиной  $3 \frac{\rho_M}{\rho_B} h$ .

Уровень воды во втором сосуде поднимается на величину:

$$\Delta h_2 = 5h - 3 \frac{\rho_M}{\rho_B} h = h \left( 5 - 3 \frac{\rho_M}{\rho_B} \right)$$

Проверим с учетом того, что сумма подъемов во всех сосудах должна составить исходные  $6h$ :

$$\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 = h \left( 1 + \frac{\rho_M}{\rho_B} \right) + h \left( 5 - 3 \frac{\rho_M}{\rho_B} \right) + 2 \frac{\rho_M}{\rho_B} h = 6h$$

**Ответ:** в первом сосуде – на  $h \left( 1 + \frac{\rho_M}{\rho_B} \right)$ , во втором – на  $h \left( 5 - 3 \frac{\rho_M}{\rho_B} \right)$ , в третьем – на  $2 \frac{\rho_M}{\rho_B} h$ . **(25 баллов).**