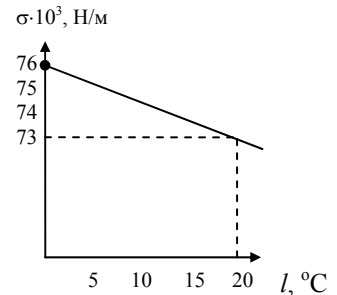
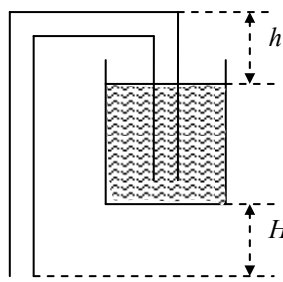


## Экспериментальные задачи.

### 10 класс. Условия задач.

**1.** Могилев. В сосуд с водой опускают стеклянный капилляр радиусом  $R$ . Температурный ход коэффициента поверхностного натяжения показан на рисунке. В каком диапазоне температур вся вода вытечет из сосуда? Для вычислений принять  $R = 0,1$  мм,  $h = 14,1$  см,  $H = 15$  см,  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.



**2.** Могилев. Определить отношение масс сосудов.

Оборудование: два прозрачных сосуда из одинакового материала (стекла), ведро с водой, липкая лента для отметки уровней воды, груша для переливания воды.

**3.** Могилев. На рисунке показана экспериментально полученная зависимость силы упругости пружины от ее длины. Найти период малых колебаний груза массой  $m = 60$  г, подвешенного вертикально на этой пружине в поле силы тяжести.

**4.** Могилев. Имеется амперметр для измерения силы тока до  $I_{1M} = 14$  А и вольтметр для измерения напряжения до  $U_{1M} = 10$  В. Как из первого прибора сделать вольтметр для измерения напряжения до  $U_{2M} = 50$  В, а из второго — амперметр для измерения тока до  $I_{2M} = 2$  А?

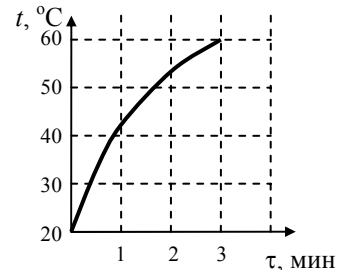
Оборудование: источник тока, реостат, ключ, соединительные провода, катушка нихромовой проволоки с известным удельным сопротивлением  $\rho$ , линейка с миллиметровыми делениями, карандаш.

**5.** Могилев. Однородная нерастяжимая веревка подвешена за концы в точках  $A$  и  $B$ , находящихся на разных высотах. Натяжение веревки в точке  $A$  равно  $T_A$ . Найти натяжение веревки в точке  $B$ , если она находится на  $h$  выше точки  $A$ . Масса веревки  $m$ , длина  $l$ . Предложите способы экспериментального измерения  $T_B$ .

**6.** Могилев. Три тонких проволоки одинакового диаметра — железная, медная и алюминиевая соединены последовательно. Их подключают к источнику высокого напряжения, и одна из проволок перегорает. Какая? Начальная температура  $t_0 = 27$  °C.

**7.** Могилев. На рисунке приведен график изменения давления пороховых газов в стволе ружья по мере продвижения пули в стволе. Определите скорость сгорания пороха (в кг/с) при давлении  $p_{\max}$ , если скорость пули в этот момент равна  $v$ . Площадь поперечного сечения ствола равна  $S$ . Температуру пороховых газов считать постоянной. Известно, что пороховые газы, образующиеся при сгорании массы пороха  $M$ , в объеме  $V_0$  создают давление  $p_0$ .

**8.** Могилев. В стакан с водой опустили кипятильник, и вода начала понемногу нагреваться. График зависимости температуры воды от времени приведен на рисунке. По истечении трех минут кипятильник отключают от сети. Через какое время вода остынет до 50 градусов? До 30?



**9.** Могилев. На призму из стекла, изображенную на рисунке, от щели падает параллельный пучок света. При вращении щели и призмы относительно оси пучка лучей происходит вращение изображения щели, отличающееся по направлению и частоте. Объясните наблюдаемые явления.

### Решение задач.

**Решение 1.** Будем считать, что капилляр полностью смачивается водой, так что поверхность воды в капилляре является сферой радиуса  $R$ .

Для того, чтобы вода начала вытекать из сосуда, необходимо, чтобы избыточное давление над мениском было способно поднять воду в правом колене до горизонтального уровня, т. е.

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R} \geq \rho gh.$$

Капли воды будут отрываться в левом капилляре, если избыточное давление под мениском меньше гидростатического  $\frac{2\sigma}{R} < \rho gH$ . Последнее уравнение написано для наихудшего случая, когда почти вся вода уже вытекла. Таки образом,

$$\frac{1}{2} \rho ghR \leq \sigma < \frac{1}{2} \rho gHR \quad (1)$$

Из графика находим  $\sigma(t) = (76 - 0,15t) \cdot 10^{-3}$  Н/м (2). Из (1) и (2) находим  $t_1 < t \leq t_2$ .

$$t_1 = 6,67 \cdot 10^3 (0,076 - \frac{1}{2} \rho gRH) \approx 20 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad t_2 = 6,67 \cdot 10^3 (0,076 - \frac{1}{2} \rho gRh) \approx 46,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

**Решение 2.** В один из сосудов (назовем его первым) наливаем такое количество воды, чтобы при опускании этого сосуда в ведро с водой он погружался до краев, но не тонул. В соответствии с условием плавания тел имеем

$$m_1 g + \rho_o V_o g = \rho_o (V_o + V_1 + V_C) g,$$

где  $m_1$  — масса 1-го сосуда,  $\rho_o$  — плотность воды,  $V_o$  — объем воды в сосуде,  $V_1$  — объем сосуда, не заполненный водой,  $V_C$  — объем стекла, из которого изготовлен сосуд. Отсюда следует

$$m_1 = \rho_o (V_1 + V_C) = \rho_o (V_1 + \frac{m_1}{\rho_C}) = \frac{V_1}{\frac{1}{\rho_o} - \frac{1}{\rho_C}},$$

где  $\rho_C$  — плотность стекла.

Аналогично для массы второго сосуда получим  $m_2 = \frac{V_2}{\frac{1}{\rho_o} - \frac{1}{\rho_c}}$ . Следовательно,

отношение масса равно отношению объемов  $\frac{m_1}{m_2} = \frac{V_1}{V_2}$ . Отношение объемов можно определить разными способами, предварительно отметив липкой лентой, уровень жидкости в сосудах  $V_1 = n_1 V_{gp}$ ,  $V_2 = n_2 V_{gp}$ ,  $V_{gp}$  – объем груши. Следовательно,  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}$ , где  $n_i$  – максимальное целое число объемов груши.

**Решение 3.** Найдем положение равновесия груза. При равновесии  $F_{yup}(x_o) = mg$ , где  $x_o$  – координата положения равновесия (и длина пружины в этом положении). Значение  $x_o$  найдем графически, проводя прямую  $F = mg$ , до пересечения с графиком  $F_{yup}(x)$ ,  $x_o = 7,5$  см.

При смещении из положения равновесия на  $\Delta x$  на груз действует возвращающая сила

$$F(\Delta x) = F_{yup}(x_o + \Delta x) - mg = F_{yup}(x_o + \Delta x) - F_{yup}(x_o).$$

При малых  $\Delta x$ :

$$F_{yup}(x_o + \Delta x) - F_{yup}(x_o) = k(x_o) \cdot \Delta x,$$

где  $k(x_o)$  – жесткость пружины, когда ее длина равна  $x_o$ . Геометрически этому приближенно соответствует замена участка кривой  $F_{yup}(x_o)$  прямой линией, т. е. касательной, проведенной в т.  $F_{yup}(x_o)$ . Тангенс угла наклона этой касательной к оси  $x$  равен  $k(x_o)$ . Поэтому период малых колебаний груза равен

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k(x_o)}} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{\tan \alpha}}.$$

Из графика находим  $\tan \alpha = \frac{0,2}{0,01} = 20$ . Таким образом,  $T = 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{60 \cdot 10^{-3}}{20}} \approx 0,34$  с.

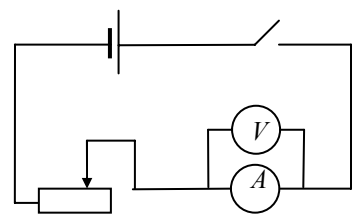
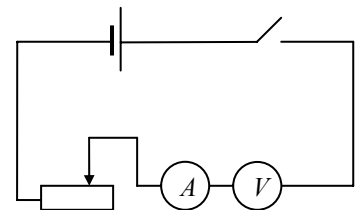
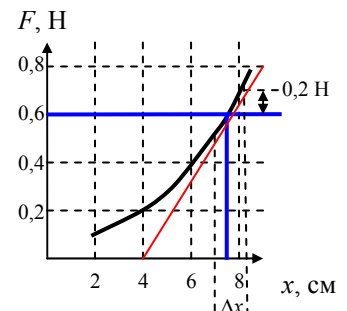
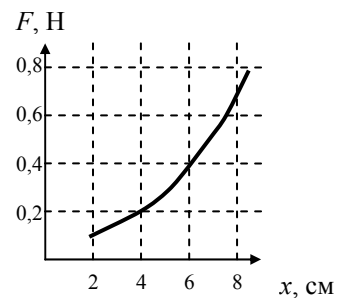
**Решение 4.** Определим внутреннее сопротивление каждого прибора. Для этого составим цепи

По показаниям амперметра и вольтметра найдем внутреннее сопротивление вольтметра.

$$R_V = \frac{U}{I}.$$

Пусть, например  $R_V = 500$  Ом.

По показаниям приборов находим внутреннее сопротивление амперметра



$$R_A = \frac{U}{I}.$$

Пусть, например  $R_A = 0,5$  Ом.

Итак, если по амперметру может проходить максимальный ток  $I_{1M} = 1$  А, то на него можно подать максимальное напряжение, равное

$$U_1 = I_{1M} R_A = 0,5 \text{ В.}$$

Следовательно, надо расширить предел измерения этого прибора в  $n_1$  раз.

$$n_1 = \frac{U_{2M}}{U_1} = \frac{50}{0,5} = 100 \text{ раз.}$$

Точно также и для вольтметра. Через него может проходить максимально допустимый ток

$$I_1 = \frac{U_{1M}}{R_V} = \frac{10}{500} = 0,2 \text{ А.}$$

Следовательно, надо расширить предел измерения этого прибора в

$$n_2 = \frac{I_{2M}}{I_1} = \frac{2}{0,2} = 10 \text{ раз.}$$

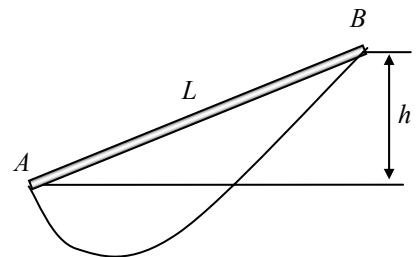
Для амперметра нужно добавочное сопротивление, включенное последовательно с амперметром  $R_{o.c} = (n_1 - 1)R_A$ .

Для вольтметра нужен шунт сопротивлением  $R_{ш} = \frac{R_V}{n_2 - 1}$ .

Теперь нужно изготовить добавочное сопротивление и шунт. Используем формулу  $R = \rho \frac{l}{S}$ . Удельное сопротивление известно по условию задачи. Найдем  $S$ . Для этого намотаем плотно на карандаш некоторое количество витков проволоки, найдем ее диаметр, а потом и  $S$ . После этого определим необходимую длину проволоки. Зная сопротивление реостата и используя приборы до и после переделки, можно, хотя бы примерно убедиться в правильности проделанной работы.

Решение 5. Соединим точки  $A$  и  $B$  гладкой наклонной плоскостью длиной  $L$  и замкнем веревку по этой плоскости. Понятно, что вся веревка должна находиться в равновесии. Участок веревки, лежащий на плоскости, поддерживается в равновесии разностью натяжений веревки в точках  $B$  и  $A$ :

$$T_B - T_A = \frac{mL}{l} g \frac{h}{L}, \quad T_B = T_A + \frac{mgh}{l}.$$



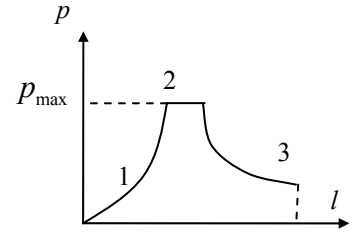
Решение 6. Вопрос сводится к тому, какая из проволок, при быстром нагревании (без потерь тепла), раньше нагреется до «своей» температуры плавления. Необходимое для этого время

$$\tau = \left( \frac{\pi D^2}{4I} \right)^2 \cdot \frac{dc(t_{пл} - t_o)}{\rho}.$$

Перегорит алюминиевая проволока, у которой величина  $\frac{dc(t_{nl} - t_o)}{\rho}$  наименьшая.

Заметим, что при перегорании плавится очень короткий отрезок проволоки, поэтому учитывать расход тепла на плавление не следует.

**Решение 7.** Изменение давления пороховых газов в стволе происходит за счет изменения массы сгорающего пороха и за счет изменения объема, занимающего газы, по мере продвижения пули. По первой причине должно происходить увеличение давления, по второй – уменьшение. Как видно из рисунка, на участке 1 – 2 преобладает первая тенденция, а на участке 2 – 3 – вторая. В момент времени  $\tau$ , когда давление  $p_{\max}$ , увеличение давления за счет сгорания пороха компенсирует уменьшение давления за счет продвижения пули.



Запишем уравнение состояния газов в тот момент времени  $\tau$ , когда давление их равно  $p_{\max}$ :

$$p_{\max} V = \frac{m}{\mu} RT,$$

где  $m$  – масса сгоревшего к этому времени пороха,  $V$  – объем пространства в стволе за пулей.

Пусть за малый промежуток времени  $\Delta\tau$ , в течение которого давление можно считать постоянным и равным  $p_{\max}$ , сгорает масса пороха  $\Delta m$ . Объем запульного пространства за это время увеличился на  $\Delta V_1 = v_s \cdot \Delta\tau$  ( $\Delta\tau$  настолько мало, что скорость  $v$  пули можно считать постоянной). Давление газов за время  $\Delta\tau$  не изменилось; это означает, что газ, образовавшийся при сгорании массы  $\Delta m$  пороха, при давлении  $p_{\max}$  занимает как раз объем  $\Delta V_1$ , то есть

$$p_{\max} \Delta V_1 = \frac{\Delta m}{\mu} RT, \text{ или } p_{\max} v_s \cdot \Delta\tau = \frac{\Delta m}{\mu} RT.$$

Из последнего равенства находим скорость сгорания пороха в момент времени  $\tau$ :

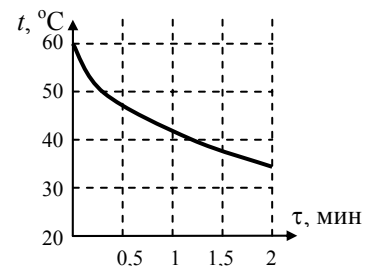
$$\frac{\Delta m}{\Delta\tau} = p_{\max} v_s \frac{\mu}{RT}.$$

Из условия задачи известно, что  $p_o V_o = \frac{M}{\mu} RT$ .

Отсюда находим, что

$$\frac{RT}{\mu} = \frac{p_o V_o}{M} \Rightarrow \frac{\Delta m}{\Delta\tau} = \frac{M p_{\max} v_s}{p_o V_o}.$$

**Решение 8.** Начальный участок графика – почти прямолинейный; значит, потери тепла тут малы. Будем считать, что их вовсе нет. Это даст нам возможность оценить теряемую тепловую мощность при разных температурах воды в долях по отношению к мощности нагревателя. Для этого нам нужно сравнить наклоны касательных в разных точках графика.



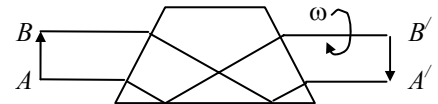
В области температуры  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  тангенс угла наклона касательной в 8 раз меньше тангенса угла наклона начального прямолинейного участка. Это означает, что здесь  $7/8$  потребляемой энергии уходит наружу. Аналогично получаем, что при температурах, близких к  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , теряется  $3/4$  энергии. При меньших температурах точность получается совсем плохой, поэтому на второй вопрос (остывание до  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ответ можно дать лишь приблизительный.

Примерный «график остывания», т. е. график зависимости температуры воды при остывании, от времени, приведен на рисунке. Из этого графика видно, что время остывания от  $60$  до  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  составляет примерно  $0,3$  мин, а до  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $2,5 - 3$  мин.

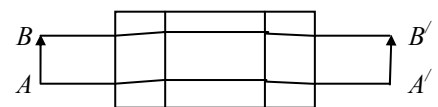
Примечание. Полученные ответы, конечно же, очень сильно зависят от вида исходного графика. Поэтому не стоит серьезно полагаться на приведенные цифры, лучше постарайтесь аккуратно получить их из своих данных.

Решение 9. Задача решается путем последовательного построения изображения при различных положениях призмы:

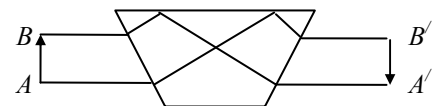
1) Призма горизонтальна – изображение стрелки перевернутое (смотри рисунок).



2) Призма перевернута на  $90^{\circ}$ . Изображение прямое, т. е. повернулось на  $180^{\circ}$ .



3) Призма повернута еще на  $90^{\circ}$ . Изображение разворачивается снова на  $180^{\circ}$ .



Таким образом, изображение стрелки вращается с угловой скоростью в два раза большей, чем призма.

Направление вращения:

Пусть стрелка поворачивается относительно оси по часовой стрелке, тогда ее изображение вращается в противоположную сторону, против часовой стрелки.

При вращении призмы относительно предмета, его изображение вращается в ту же сторону, что и призма.