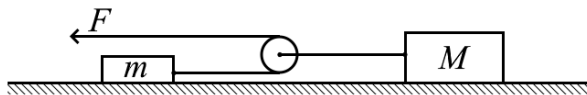
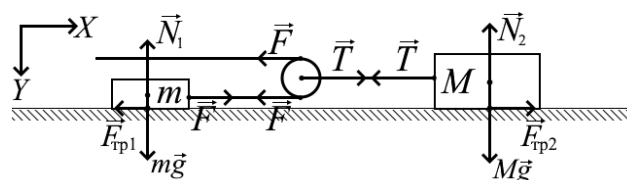


**Олимпиада школьников «Ломоносов»**  
**Заключительный этап 2025/26 учебного года по физике**  
**10 класс (решения)**

**1. Задача.** Два бруска покоятся на шероховатой горизонтальной поверхности. К первому бруску массой  $m = 500$  г привязана нить, перекинутая через подвижный блок, к оси которого привязана другая нить, соединённая со вторым бруском массой  $M = 2m$ , как показано на рисунке. С какой силой  $F$  необходимо тянуть за первую нить в горизонтальном направлении, чтобы за время  $\tau = 1$  с расстояние между брусками уменьшилось на  $\Delta x = 1$  м? Коэффициент трения между брусками и поверхностью  $\mu = 0,3$ , нити невесомые и нерастяжимые, блок – также невесомый. Считать, что бруски приходят в движение одновременно, а нити всегда находятся в горизонтальном положении. Ускорение свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Ответ выразите в Ньютонах, округлив до целого числа.



**Решение.** Направим координатные оси  $X$  и  $Y$ , как показано на рисунке. Обозначим силы, действующие на бруски и на блок. Запишем уравнения движения брусков в проекциях на ось  $Y$ :  $0 = mg - N_1$ ,  $0 = Mg - N_2$ ; и на ось  $X$ :  $ma_{1x} = F - F_{\text{тр}1}$ ,  $Ma_{2x} = F_{\text{тр}2} - T$ . Так как блок и нить невесомы, сила натяжения нити, закреплённой за ось подвижного блока равна по модулю удвоенной силе натяжения нити, перекинутой через него:  $T = 2F$ .



Отметим, что каждый брусок придёт в движение, когда действующая на него со стороны нити сила ( $F$  или  $T$ ) будет превышать максимальное значение соответствующей силы трения покоя, равное силе трения скольжения:  $F_{\text{тр}1,2} = \mu N_{1,2}$ . При этом, поскольку  $M = 2m$ , нетрудно установить, что  $F_{\text{тр}2} = 2F_{\text{тр}1}$ , и с учётом соотношения между  $T$  и  $F$  бруски придут в движение одновременно, как и предложено считать в условии задачи.

Из уравнений движения брусков получим:  $ma_{1x} = F - \mu mg$ ,  $Ma_{2x} = \mu Mg - T$ . Разделим каждое уравнение на соответствующую массу и вычтем из первого уравнения второе:  $a_{1x} - a_{2x} = \frac{F}{m} + \frac{T}{M} - 2\mu g$ . Далее запишем законы равноускоренного движения для каждого из брусков:  $x_{1,2}(t) = x_{01,02} + \frac{a_{1,2x}t^2}{2}$ , где  $x_{01}$  и  $x_{02}$  координаты брусков  $m$  и  $M$  в начальный момент времени.

Тогда изменение координаты каждого бруска за время  $\tau$  составит  $\Delta x_{1,2} = \frac{a_{1,2x}\tau^2}{2}$ . Суммарное сближение, с учётом того, что координата бруска  $M$  уменьшается, составит:  $\Delta x = \Delta x_1 - \Delta x_2 = \frac{(a_{1x} - a_{2x})\tau^2}{2}$ . Подставив сюда, полученный ранее результат для ускорений  $a_{1x} - a_{2x} = \frac{(M+2m)F}{Mm} - 2\mu g$ , получим искомое значение для силы:  $F = \frac{2mM}{M+2m} \cdot \frac{\Delta x + \mu g\tau^2}{\tau^2} = m \cdot \frac{\Delta x + \mu g\tau^2}{\tau^2}$ .

**Ответ:**  $F = m \cdot \frac{\Delta x + \mu g\tau^2}{\tau^2} = 2$  Н.

**2. Задача.** Тяжёлый шарик отпускают без начальной скорости с некоторой высоты над поверхностью земли. Во время падения в него попадает пуля, летящая под углом  $\alpha = 45^\circ$  к вертикали. Сразу после абсолютно неупругого соударения шарик вместе с пулей движется горизонтально и падает на землю за время  $\tau = 2$  с от момента попадания пули. Определите, с какой высоты  $H$  отпустили шарик, если в результате попадания пули он сместился по горизонтали на расстояние  $L = 20$  м. Считать, что масса пули пренебрежимо мала по сравнению с массой шарика. Ускорение свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Ответ выразите в метрах, округлив до целого числа.

**Решение.** Траектория движения шарика изображена на рисунке. На первом участке шарик свободно падает, его координата  $y$  и скорость  $v_y$  меняются по законам:

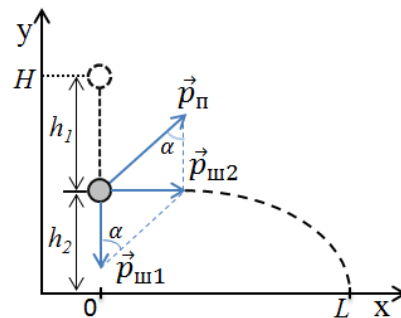
$y(t) = H - \frac{gt^2}{2}$  и  $v_y(t) = -gt$  соответственно. Отсюда легко найти, что в момент столкновения с пулей шарик, пройдя расстояние  $h_1$ , имел скорость, равную по модулю  $v_1 = \sqrt{2gh_1}$  (1).

В начале второго участка траектории, сразу после попадания пули, шарик движется горизонтально. Его импульс по закону сохранения равен  $\vec{p}_{ш2} = \vec{p}_{ш1} + \vec{p}_п$ , где  $\vec{p}_{ш1}$  и  $\vec{p}_п$  – импульсы шарика и пули до столкновения. Из рисунка видно, что при заданных условиях  $p_{ш2} = p_{ш1} \cdot \operatorname{tg} \alpha$ . Поскольку импульс по модулю равен произведению массы на скорость, а масса шарика не изменилась (в условии сказано что массой пули можно пренебречь), то можно считать, что сразу после попадания пули скорость шарика равна  $v_2 = v_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha$ . Тогда зависимости координат  $x$  и  $y$  шарика на втором участке траектории имеют вид:  $x(t) = v_2 \cdot t = v_1 \cdot (\operatorname{tg} \alpha) \cdot t$  и  $y(t) = h_2 - \frac{gt^2}{2}$ .

Учитывая, что после столкновения шарик упал на землю за время  $\tau$ , сместившись по горизонтали на расстояние  $L$ , найдём:  $h_2 = \frac{g\tau^2}{2}$  (2);  $L = v_1 \cdot (\operatorname{tg} \alpha) \cdot \tau$  (3).

Решая систему полученных уравнений (1)–(3), найдём искомую высоту  $H$ , с которой отпустили шарик:  $H = h_1 + h_2 = \frac{L^2}{2g\tau^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} + \frac{g\tau^2}{2}$ .

**Ответ:**  $H = \frac{L^2}{2g\tau^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} + \frac{g\tau^2}{2} = 25$  м.



**3. Задача.** В комнате объёмом  $V = 50 \text{ м}^3$  относительная влажность воздуха при температуре  $T_0 = 300 \text{ К}$  равна  $\varphi_0 = 41,5\%$ . Сосуд с водой, имеющей температуру  $t = 100^\circ\text{C}$ , нагревают на электроплитке с сопротивлением нагревательной спирали  $r = 80 \text{ Ом}$ . Электроплитка подключена к источнику постоянного напряжения  $U = 100 \text{ В}$ . При этом вода получает  $\eta = 80\%$  тепла, выделяемого спиралью электроплитки при протекании по ней тока. Какая абсолютная влажность будет в комнате через время  $\tau = 2300 \text{ с}$ ? Считайте, что комната герметична и изменением температуры в ней можно пренебречь. Давление насыщенного пара при температуре  $T_0$  равно  $P_{\text{нас}} = 2 \text{ кПа}$ . Удельная теплота парообразования и молярная масса воды равны соответственно  $\lambda = 2,3 \text{ МДж}\cdot\text{кг}^{-1}$  и  $\mu = 0,018 \text{ кг}\cdot\text{моль}^{-1}$ . Универсальную газовую постоянную примите равной  $R = 8,3 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ . Ответ выразите в  $\text{г}\cdot\text{м}^{-3}$  и округлите до целых единиц.

**Решение:** Плотность пара (абсолютная влажность) после нагрева воды равна сумме первоначальной плотности паров воды в воздухе  $\rho_0$  и плотности пара  $\rho$ , образовавшегося в результате испарения при нагреве воды в сосуде. То есть  $\rho_1 = \rho_0 + \rho$ .

Исходную плотность паров  $\rho_0$  найдём, используя уравнение состояния идеального газа

$$P_{\text{нас}} = \frac{\rho_{\text{нас}}}{\mu} RT_0 \text{ и определение относительной влажности воздуха } \varphi_0 = \frac{\rho_0}{\rho_{\text{нас}}} \cdot 100\% . \text{ Отсюда}$$

$$\rho_0 = \frac{\varphi_0}{100\%} \cdot \frac{P_{\text{нас}} \mu}{RT_0} .$$

По закону Джоуля – Ленца при протекании тока на участке цепи с омическим сопротивлением  $r$  (на спирали электроплитки) за время  $\tau$  выделяется количество теплоты  $Q = \frac{U^2}{r} \cdot \tau$ . На испарение

воды при её температуре кипения  $100^\circ\text{C}$  будет израсходована часть этого тепла равная  $Q_\eta = \frac{\eta}{100\%} \cdot Q$ . В результате в воздухе окажутся дополнительно пары воды массой  $m$ , которую

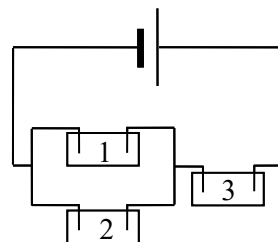
можно найти из равенства  $Q_\eta = \lambda m$ . Общая плотность паров возрастёт на  $\rho = m/V$  или с учётом вышеприведённых соотношений на  $\rho = \frac{\eta}{100\%} \cdot \frac{U^2 \tau}{\lambda r V}$ .

Складывая две полученные составляющие плотности паров воды, получаем искомую абсолютную влажность воздуха:

$$\rho_1 = \frac{\varphi_0}{100\%} \cdot \frac{P_{\text{нас}} \mu}{RT_0} + \frac{\eta}{100\%} \cdot \frac{U^2 \tau}{\lambda r V} .$$

$$\textbf{Ответ: } \rho_1 = \frac{\varphi_0}{100\%} \cdot \frac{P_{\text{нас}} \mu}{RT_0} + \frac{\eta}{100\%} \cdot \frac{U^2 \tau}{\lambda r V} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3} = 8 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3} .$$

**4. Задача.** В цепь постоянного тока, представленную на рисунке, включены 3 электролитические ванны. За некоторое время на катоде 1 ванны из раствора медного купороса выделилось  $m_1 = 660$  мг меди, а в третьей ванне с водным раствором хлорида алюминия выделилось  $m_3 = 744$  мг алюминия. Какая толщина слоя серебра, осаждённого из раствора азотнокислого серебра, покрывает металлическую деталь, играющую роль катода 2-й ванны, если площадь её поверхности равна  $S = 110 \text{ см}^2$ . Электрохимические эквиваленты металлов принять равными: меди  $k_1 = 3,3 \cdot 10^{-7}$  кг/Кл, серебра  $k_2 = 1,1 \cdot 10^{-6}$  кг/Кл и алюминия  $k_3 = 9,3 \cdot 10^{-8}$  кг/Кл. Плотность серебра равна  $\rho = 1,05 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3$ . Считать все электроды ванн инертными материалами, поляризацией электролитов можно пренебречь. Ответ выразите в микрометрах, округлив до десятков.



**Решение.** По закону электролиза Фарадея масса металла, выделяющегося из раствора его соли на катоде электролитической ванны пропорциональна протекшему заряду:  $m_i = k_i q_i$ . Здесь  $i$  – номер ванны,  $k_i$  – электрохимические эквиваленты меди, серебра и алюминия соответственно. При постоянной силе тока заряд пропорционален силе тока, протекающего через ванну:  $q_i = I_i \cdot \Delta t$ , а  $\Delta t$  – время процесса одинаковое для всех ванн.

Сила тока протекающего через 3-ю ванну равна сумме сил токов, протекающих через ванны 1 и 2:  $I_3 = I_1 + I_2$ . Используя приведённые соотношения, нетрудно определить массу серебра, осаждённого на поверхности катода второй ванны:  $m_2 = k_2 \cdot \left( \frac{m_3}{k_3} - \frac{m_1}{k_1} \right)$ , а затем и искомую толщину

серебряного покрытия детали  $h = \frac{k_2}{\rho S} \cdot \left( \frac{m_3}{k_3} - \frac{m_1}{k_1} \right)$ .

**Ответ:**  $h = \frac{k_2}{\rho S} \cdot \left( \frac{m_3}{k_3} - \frac{m_1}{k_1} \right) \approx 5,7 \cdot 10^{-5} \text{ м} \approx 60 \text{ мкм}$ .

**5. Задача.** Перед передним фокусом линзы находится светящаяся точка, смещенная на небольшое расстояние от её оптической оси. На экране за линзой наблюдается чёткое изображение точки. Между линзой и экраном параллельно плоскости линзы помещают стеклянную плоскопараллельную пластинку толщиной  $d = 3$  см с показателем преломления  $n = 1,5$ . На какое расстояние  $x$  надо переместить экран, чтобы вновь получить чёткое изображение точки? Считать углы падения малыми. Ответ выразите в сантиметрах, округлив до целого числа.

**Решение.** Построим ход лучей в линзе до и после установления пластинки:

Луч 1, проходящий через фокус линзы, после преломления в линзе пойдёт параллельно главной оптической оси и, следовательно, перпендикулярно поверхности пластинки, поэтому преломляться ею не будет. Луч 2, пройдя через центр линзы, упадёт на поверхность пластинки под углом  $\alpha$  и преломится на обеих поверхностях пластинки. После выхода из пластинки луч 2 останется параллельным самому себе, но сместится вверх на расстояние  $AB$  (см. рисунок). На рисунке видно, что до установки пластинки лучи 1 и 2 пересекались в т.  $S_1$ , после – в т.  $S_2$ , и искомое расстояние  $x = S_1S_2$ .

Согласно закону преломления Снеллиуса:

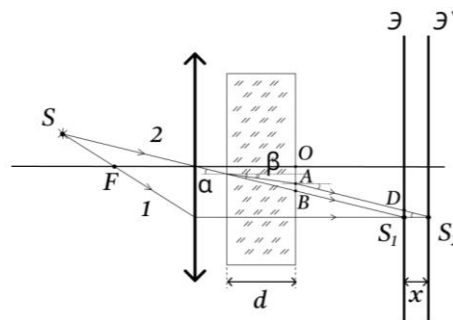
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n}{1} = n \approx \frac{\alpha}{\beta} \quad (\text{ввиду малости углов } \operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha).$$

Найдём отрезок  $AB$ :

$$AB = OB - OA = d \cdot \operatorname{tg} \alpha - d \cdot \operatorname{tg} \beta \approx d \cdot (\alpha - \beta). \text{ Т.к. } DS_1 = AB \text{ и } \frac{DS_1}{x} = \operatorname{tg} \alpha, \text{ получаем результат для}$$

$$x: x = \frac{d \cdot (\alpha - \beta)}{\alpha} = d \cdot \left(1 - \frac{\beta}{\alpha}\right) = d \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right).$$

$$\text{Ответ: } x = d \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right) = 1 \text{ см.}$$



### Критерии оценки

**Каждая задача оценивается максимально в 20 баллов**

1. Задача вовсе не решалась – **0 баллов**.

2. Задача не решена, но сделан поясняющий рисунок (если требуется), частично сформулированы необходимые физические законы;

или задача решается в числах с самого начала и имеется правильный ответ в числах – **1 – 5 баллов**.

3. Задача не решена, но правильно сформулированы физические законы и правильно записаны основные уравнения, необходимые для решения задачи – **6 – 12 баллов**.

4. Задача решена, но допущены незначительные погрешности – **13-18 баллов**.

5. Нет численного ответа **19 баллов**.

6. Задача решена полностью и получен правильный ответ – **20 баллов**.