

**Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников  
по физике  
2020-2021 учебный год  
10 класс**

**Задача 1.** Человек бежит по эскалатору. В первый раз он насчитал  $n_1 = 50$  ступенек, второй раз, двигаясь в ту же сторону со скоростью втрое большей, он насчитал  $n_2 = 75$  ступенек. Сколько ступенек он насчитал бы на неподвижном эскалаторе?

**Возможное решение.** Если бы скорость человека была направлена противоположно направлению движения эскалатора, то он насчитал бы тем меньше ступенек, чем быстрее шел. В нашем случае направления скоростей человека и эскалатора совпадают.

Пусть  $v$  – скорость эскалатора,  $l$  – его длина и  $n$  – число ступеней на неподвижном эскалаторе. Число ступенек, приходящихся на единицу длины эскалатора, равно  $n/l$ . Поэтому, если человек идет со скоростью  $u$  относительно эскалатора, то время его пребывания на эскалаторе  $l/(u+v)$ , а путь, пройденный по эскалатору,  $ul/(u+v)$ . При этом человек насчитает число ступенек  $n_1 = \frac{ul}{u+v} \cdot \frac{n}{l}$ . А во

втором случае он насчитает  $n_2 = \frac{3ul}{3u+v} \cdot \frac{n}{l}$ . Получаем систему уравнений, решение которой дает  $n = 100$

**Критерии оценивания:**

*Сделан вывод о движении человека и эскалатора в одну сторону – 2 балла*

*Получено выражение для первого случая движения – 2 балл*

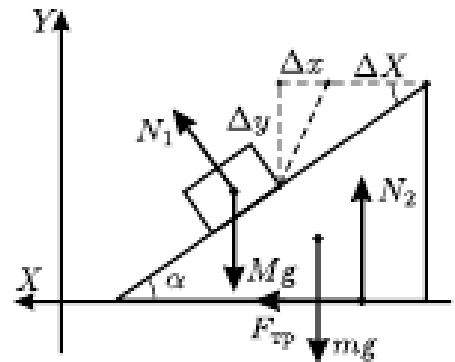
*Получено выражение для второго случая – 2 балл*

*Найдено искомое значение – 4 балла*

**Задача 2.** На лежащий на горизонтальном столе клин массой  $m$  с углом при основании  $\alpha = 45^\circ$  аккуратно положили гладкий брусок массой  $1000m$ . С какой силой скользящий вдоль клина брусок давит на клин, если коэффициент трения между клином и столом равен  $\mu = 0,2$ ?

**Возможное решение.** Направим координатную ось  $X$  вдоль плоскости стола в сторону, противоположную направлению движения клина, а ось  $Y$  — вертикально вверх. Обозначим через  $N_1$  силу, с которой клин давит на брусок,  $N_2$  — силу, с

которой стол давит на клин,  $A$  — ускорение клина,  $a$  — бруска,  $M = 1000t$  — массу бруска,  $F_{\text{тр}}$  — силу трения. Тогда с учётом того, что угол при основании клина  $\alpha = 45^\circ$ , уравнения движения клина и бруска в проекциях на координатные оси будут иметь вид:



$$mA_x = -\frac{N_1\sqrt{2}}{2} + F_{\text{тр}}$$

$$N_2 = \frac{N_1\sqrt{2}}{2} + mg$$

$$Ma_x = \frac{N_1\sqrt{2}}{2}$$

$$Ma_y = -Mg + \frac{N_1\sqrt{2}}{2}$$

Далее учтём, что в силу малой величины коэффициента трения между клином и столом  $\mu = 0,2$  и большой разницы в массах бруска  $M$  и клина  $t$ , последний не сможет оставаться на месте и будет выскальзывать из под бруска. При этом на клин со стороны стола будет действовать сила трения скольжения  $F_{\text{тр}} = \mu N_2$ .

Кроме того, имеется ещё уравнение кинематической связи, которое проще всего получить следующим образом. Пусть во время движения бруска и клина координаты бруска изменились на величины  $\Delta x > 0$  и  $\Delta y < 0$ , а координата клина — на  $\Delta X < 0$ , причём брусок остался на поверхности клина. Тогда из рисунка видно, что  $\Delta y = (\Delta X - \Delta x)\text{tg } \alpha$ , и с учётом того, что в нашем случае  $\text{tg } \alpha = 1$ , получаем  $a_y = A_x - a_x$ .

Решая полученную систему уравнений, найдём искомую силу давления  $N_1$ :

$N_1 = \frac{\sqrt{2}mMg(1+\mu)}{2m+M(1-\mu)}$ . Так как  $M = 1000t \gg t$ , то это выражение можно упростить:

$$N_1 = \frac{\sqrt{2}mMg(1+\mu)}{2m+M(1-\mu)} = \frac{\sqrt{2}mg(1+\mu)}{\frac{2m}{M}+1-\mu} \approx \sqrt{2}mg \frac{1+\mu}{1-\mu} \approx 2.1mg$$

**Критерии оценивания:**

*Сделан чертеж и расставлены правильно силы на нем – 1 балл*

*Получены уравнения движения в проекциях на оси – 4 балл (по 1 баллу за каждое правильное уравнение)*

*Найдена связь между ускорениями – 2 балл*

*Получено выражение для искомой величины – 2 балла*

*Сделана оценка величин и получено упрощенное выражение – 2 балла*

**Задача 3.** Молотком, масса которого  $m_1=1$  кг, забивают в стену гвоздь массой  $m_2=75$  г. Определить КПД  $\eta$  удара молотка при данных условиях.

**Возможное решение.**

Будем считать удар молотка о гвоздь неупругим. Пусть начальная скорость молотка  $v$ , тогда по закону сохранения импульса скорость системы «молоток-гвоздь» после удара  $u = \frac{m_1 v}{m_1 + m_2}$ , где  $m_1$  – масса молотка, а  $m_2$  – масса гвоздя.

Кинетическая энергия системы после удара  $E_2 = \frac{(m_1 + m_2)u^2}{2} = \frac{m_1^2 v^2}{2(m_1 + m_2)}$ , а до удара

кинетическая энергия молотка  $E_1 = \frac{m_1 v^2}{2}$ . КПД системы найдем по формуле

$$\eta = \frac{E_2}{E_1} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} = 0,93.$$

**Критерии оценивания:**

*Сделан вывод о том, что удар неупругий – 2 балл*

*Найдена скорость системы после удара – 2 балла*

*Найдена кинетическая энергия молотка – 1 балл*

*Найдена кинетическая энергия системы после удара – 1 балл*

*Получено выражение для КПД – 2 балла*

*Получено правильное численное значение – 2 балла*

**Задача 4.** В тонкостенной пластиковой бутылке находится  $m_0 = 1$  кг переохлаждённой жидкой воды. В бутылку бросили сосульку массой  $m_1 = 100$  г, имеющую ту же температуру, что и вода в бутылке. После установления теплового равновесия в бутылке осталось  $m_2 = 900$  г жидкости. Какую температуру имела переохлаждённая вода? Удельные теплоёмкости воды и льда равны  $C_1 = 4200$  Дж/(кг·°С) и  $C_2 = 2100$  Дж/(кг·°С) соответственно, удельная теплота плавления льда  $\lambda = 3,4 \cdot 10^5$  Дж/кг. Теплоёмкостью бутылки и потерями тепла пренебречь.

**Возможное решение.** После того, как в переохлаждённую воду бросили сосульку, в воде начался процесс кристаллизации. Так как после его окончания в бутылке осталась вода, то конечная температура системы равна  $0$  °С. Из условия задачи следует, что в лёд превратилась масса воды, равная  $m_0 - m_2$ . При этом выделилось количество теплоты  $\lambda(m_0 - m_2)$ . Эта теплота пошла на нагрев сосульки и имевшейся

вначале воды от температуры  $T$  до  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то есть на величину  $\Delta T = 0\text{ }^{\circ}\text{C} - T$ . Запишем уравнение теплового баланса:  $\lambda(m_0 - m_2) = C_1 m_0 \Delta T + C_2 m_1 \Delta T$ , откуда для температуры  $T$  получаем  $T = 0\text{ }^{\circ}\text{C} + \frac{\lambda(m_2 - m_0)}{C_1 m_0 + C_2 m_1} \approx -7,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Критерии оценивания:**

*Найдена конечная температура системы – 4 балл*

*Составлено уравнение теплового баланса – 2 балла*

*Получено выражение для искомой величины – 4 балла*

**Задача 5.** Лампочка, присоединённая к батарее, горит три часа, после чего батарея полностью разряжается. Сделали точную копию этой батареи вдвое большего размера из тех же материалов. Сколько времени будет гореть та же лампочка, подключённая к такой копии? Внутреннее сопротивление батареи намного меньше сопротивления лампочки.

**Возможное решение.** Поскольку электродвижущая сила химического источника тока определяется только его химическим составом, ЭДС копии будет равна ЭДС батареи. Пусть эта ЭДС равна  $E$ , сопротивление лампочки равно  $R$ , а внутреннее сопротивление источника  $r$ . Тогда полная мощность, выделяющаяся в цепи батареи, равна  $N_1 = \frac{E^2}{R + r_1}$ , а в цепи копии  $N_2 = \frac{E^2}{R + r_2}$ . Так как  $r_1 \ll R$  и, следовательно,  $r_2 \ll R$ , то  $N_1 \approx N_2 \approx E^2/R$ .

Химический источник совершает работу, расходуя запасённую в нём энергию химических связей молекул. По сравнению с батареей в её копии вдвое большего размера заключено в  $2^3 = 8$  раз больше реагентов, поэтому при такой же мощности она сможет совершить во столько же раз большую работу. Это означает, что лампочка, подключённая к копии, будет гореть 24 часа.

**Критерии оценивания:**

*Найдено выражение для мощности батареи – 2 балл*

*Выполнена оценка сопротивлений лампочки и элемента ЭДС – 2 балла*

*Сделан вывод о равенстве мощностей элементов – 2 балла*

*Сделан вывод о соотношении времени и объема – 2 балла*

*Получен итоговый ответ – 2 балла*