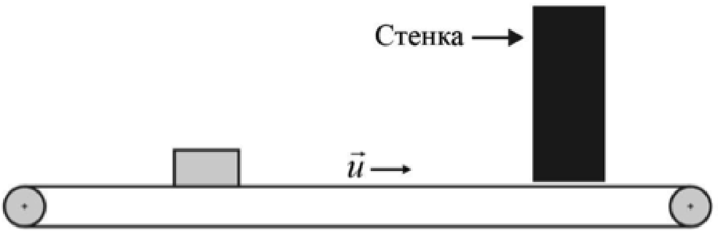
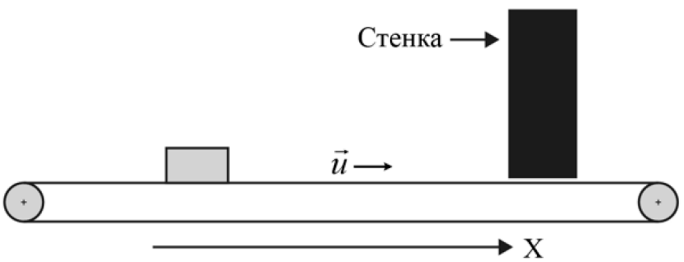
З А Д А Н И Я
II муниципального (районного) этапа
Всероссийской олимпиады школьников по физике 2023-2024
10 Класс

1. Чемодан в аэропорту движется на горизонтальном транспортере с постоянной скоростью u и неподвижен относительно ленты. Коэффициент трения между чемоданом и лентой равен μ. На пути чемодана находится неподвижная относительно земли вертикальная стенка (сломалась подвижная заслонка). Достигнув заслонки, чемодан соударяется с ней абсолютно упруго. После этого, чемодан отскакивает назад, но через некоторое время вновь достигает заслонки и процесс повторяется с интервалом времени T. Найдите этот интервал. Ускорение свободного падения g.



Решение

Рассмотрим движение бруска относительно земли. Из второго закона Ньютона находим, что ускорение бруска в те моменты, когда он проскальзывает относительно ленты, равно $a = \mu g$ и направлено вправо, вдоль оси X.



После каждого удара о стенку существует интервал времени, в течение которого брусок движется равноускоренно. Зависимость проекции скорости бруска на ось X от времени t при этом имеет вид:

$$V_x = -u + \mu g t.$$

Брусок перестаёт проскальзывать относительно ленты в тот момент, когда его скорость относительно земли сравнивается со скоростью ленты:

$$u = -u + \mu g t_1.$$

Отсюда время равноускоренного движения равно:

$$t_1 = \frac{2u}{\mu g}.$$

Найдём изменение координаты x бруска за время t_1:

$$\Delta x = -ut_1 + \frac{\mu g t_1^2}{2} = 0.$$

Изменение координаты равно нулю. Это означает, что скорость бруска сравняется со скоростью ленты ровно в тот момент, когда брусок вновь подъедет к стенке. В тот же момент произойдёт следующий удар, поэтому время t_1 и есть искомый интервал T между ударами.

Критерии оценивания

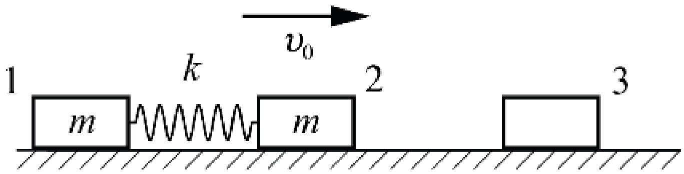
1. $a = \mu g$ .... **1 балл**
2. $V_x = -u + \mu g t$ .... **2 балла**
3. $u = -u + \mu g t_1$ .... **2 балла**
4. $t_1 = \dfrac{2u}{\mu g}$ .... **1 балл**
5. Доказано, что $T = t_1 = \dfrac{2u}{\mu g}$ – искомый интервал времени .... **4 балла**

2. **Столкновение. Два одинаковых вагона** массы m каждый, соединены сцепкой в виде недеформированной пружины жёсткости k, движется без трения по горизонтальному прямолинейному рельсовому пути со скоростью υ_0 и налетают на покоящийся вагон массы m/2. Удар абсолютно упругий.

Найдите:

1) скорость υ_3 покоившегося бруска сразу после столкновения;

2) максимальную деформацию ΔL пружины



Возможное решение. 1. Обозначим начальные скорости и массы тел следующим образом:

$$\upsilon_{01} = \upsilon_{02} = \upsilon_0,\ \ \upsilon_{03} = 0,\ \ m_1 = m_2 = m,\ \ m_3 = m/2.$$

При абсолютно упругом соударении 2-го и 3-го брусков можно считать, что за время соударения пружина не успела сжаться на какую-либо величину, скорость 1-го бруска не успела поменяться и потерь энергии нет, поэтому ЗСИ в проекции на горизонтальную ось и ЗСЭ для брусков запишутся в виде:

$$m_2\upsilon_{02} = m_2\upsilon_2 + m_3\upsilon_3$$

$$\frac{m_2\upsilon_{02}^2}{2} = \frac{m_2\upsilon_2^2}{2} + \frac{m_3\upsilon_3^2}{2}$$

Решая данную систему, получаем: $\upsilon_2 = \dfrac{1}{3}\upsilon_0,\ \ \upsilon_3 = \dfrac{4}{3}\upsilon_0$.

2. Максимальной деформации пружина достигнет, когда скорости брусков 1 и 2 сравняются.

Запишем ЗСИ и ЗСЭ для этого случая:

$$m_1\upsilon_{01} + m_2\upsilon_2 = (m_1 + m_2)\upsilon$$

$$\frac{m_1\upsilon_{01}^2}{2} + \frac{m_2\upsilon_2^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2)\upsilon^2}{2} + \frac{k\Delta L^2}{2}.$$

Выражая из 1-го уравнения скорость центра масс системы и подставляя её в ЗСЭ, получаем: $\Delta L = \upsilon_0\sqrt{2m/(9k)}$.

Критерии оценивания.

1) Указано, что при абсолютно упругом ударе пружина не успела сжаться, скорость 1-го бруска не успела измениться и потерь энергии нет $(\upsilon_1 = \upsilon_0)$ 1 балл
2) Правильно записан ЗСИ в проекции на горизонтальную ось для удара 1 балл
3) Правильно записан ЗСЭ для удара 1 балл
4) Найдены $\upsilon_2 = \upsilon_0 / 3$, $\upsilon_3 = 4\upsilon_0 / 3$. 2 балла
5) Указано правильное условие максимальной деформации 1 балл
6) Правильно записан ЗСИ для этого момента 1 балл
7) Правильно записан ЗСЭ для этого момента 1 балл
8) Правильно найдена ΔL 2 балла

3. В ноябре 2023 года в Иркутске наблюдался следующий температурный режим: днём на улице была температура -7 С, а ночью температура понизилась до -20 С. В котедже комнатная температура днём была равна +20 С. На сколько процентов нужно увеличить массовый расход топлива в газовом котле отопления дома, чтобы комнатная температура ночью оказалась не ниже +23 С? Мощность тепловых потерь можно считать пропорциональной разности температур в комнате и на улице, коэффициент пропорциональности от температуры не зависит.

Решение

Из закона сохранения энергии следует:

$$q\mu_1 = \alpha(t_{д1} - t_1),$$
$$q\mu_2 = \alpha(t_{д2} - t_2),$$

где $\mu = m/\tau$ – массовый расход топлива, q – удельная теплота сгорания топлива, $t_{д1}$ и $t_{д2}$ – температуры в доме днём и ночью, а t_1 и t_2 – температуры на улице до и после похолодания.

Разделив первое уравнение на второе, получим:

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{27}{43},$$

и искомая величина $\frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_1} = \frac{16}{27} \approx 0{,}59$, то есть массовый расход топлива нужно увеличить примерно на 59%.

Критерии оценивания

1. $\mu = m/\tau$ .... **2 балла**
2. $q\mu_1 = \alpha(t_{д1} - t_1)$ .... **3 балла**
3. $q\mu_2 = \alpha(t_{д2} - t_2)$ .... **3 балла**
4. $\frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_1} \approx 0{,}59 = 59\%$ .... **2 балла**

4. Экспериментатор Глюк решил вскипятить воду в кострюле. Сначала, он включил в сеть с напряжением U = 220 В один кипятильник и нагрел воду в кастрюле от комнатной температуры до кипения за время $\tau 1$ = 1 мин. За какое время $\tau 2$ четыре кипятильника, включенные Глюком, с втрое большим сопротивлением каждый и соединённые последовательно, нагреют вдвое большую массу воды от той же комнатной температуры до кипения, если напряжение в сети повысить до напряжения 2U = 440 В. Потерями теплоты пренебречь.

Решение. Пусть R – сопротивление исходного кипятильника, m – масса воды в кастрюле, c – удельная теплоёмкость воды, Δt – изменение температуры при нагревании воды до кипения. В первом случае кипятильник мощностью U^2/R за время τ передаёт воде энергию $(U^2/R)\tau 1$, которая идёт на её нагревание: $(U^2/R)\tau 1 = cm\Delta t$.
Во втором случае сопротивление цепочки кипятильников равно $12R$, поэтому при
включении её в сеть <u>с напряжением</u> $2U$ будет развиваться мощность $4U^2/(12R)$. За время $\tau 2$ воде массой $2m$ будет передана энергия $4U^2/(12R)\tau$, идущая на её нагревание: $4U^2/(12R)\tau 2 = 2cm\Delta t$. Разделив одно соотношение на другое, находим: $\tau 2 = 6\tau 1$ = 6 мин.

Критерии оценивания:

- указано, что мощность кипятильника сопротивлением R, подключенного к источнику напряжения U, равна U^2/R - 2 балл;
- использовано, что количество теплоты, требуемое для нагревания воды, равно произведению удельной теплоемкости на массу и на изменение температуры - 2 балл;
- использовано, что переданная воде энергия равна произведению мощности на время - 2 балл;
- указано, что сопротивление цепочки кипятильников во втором случае равно 12R - 2 балл.
- Получен правильный ответ 6 мин, так и в виде формулы, выраженной через время $\tau 1$ ($\tau 2 = 6\tau 1$) 2 балла

5 . Экспериментатор Глюк со свойственным ему парадоксальным мышлением решил доказать что воздушный шарик может тонуть в воде (на спор, и выиграл этот спор). Для этого он взял, воздушный шарик радиусом r = 12 см надул его до давления $p_0 = 1{,}2 \cdot 10^5$ Па, при этом масса резиновой оболочки составляла 20 г. И погрузил в воду на глубину h. И о чудо, шарик начал тонуть! Найти это значение глубины h. Будем считать, что температура воды t = 4°C и её плотность $\rho = 10^3$ кг/м^3 не зависит от глубины. Воздух - идеальный газ. Атмосферное давление $p_{атм} = 1 \cdot 10^5$ Па.

Решение

Когда шарик находится в атмосфере давление газа внутри уравновешивается атмосферным давлением и поверхностным натяжением шарика. Учитывая тот факт, что давление внутри шарика $p_0 = 1{,}2 \cdot 10^5$ Па а атмосферное давление $p_{атм} = 1 \cdot 10^5$ Па Оболочка перестанет быть натянута уже на глубине примерной

$$\frac{P_0 - P_{атм}}{\rho\, g} \cong 0.2\text{м}$$

1 балл

Что будет составлять ошибку расчетов. При дальнейшем погружении шарика можно считать, что оболочка не натянута и не создает дополнительного давления.

Из за того что газ идеален можно и температура постоянна с глубиной газ будет сжиматься по изотермическому закону

$$P_0 V = P_h V_h$$

2балла

Отсюда объем шарика на глубине будет равен

$$V_h = \frac{P_0 V}{P_h} = \frac{P_0\, \frac{4}{3}\pi r^3}{P_{атм} + \rho g h}$$

2балла

Здесь P_h, V_h давление и объём на глубине h.

Запишем закон Архимеда, в пренебрежении весом воздуха внутри шарика по сравнению с весом оболочки, получим

$$\rho V_h g = Mg$$

2балла

Где M масса оболочки. Подставляя V_h получим

$$\rho\frac{P_0\, \frac{4}{3}\pi r^3}{P_{атм} + \rho g h} = M$$

1балл

Отсюда легко выразить h

$$h = \frac{P_0\, \frac{4}{3}\pi r^3}{Mg} - \frac{P_{атм}}{\rho g} = 2800\text{м}$$

2балла