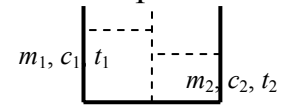


Условия задач. Теоретический тур.

1. Два тела движутся по прямой навстречу друг другу с начальными скоростями $v_{01} = 20$ м/с и $v_{02} = 15$ м/с и постоянными ускорениями $a_1 = 2$ м/с² и $a_2 = 1$ м/с², направленным противоположно соответствующим скоростям в начальный момент времени. При каком максимальном расстоянии S' между телами они встретятся в процессе движения.

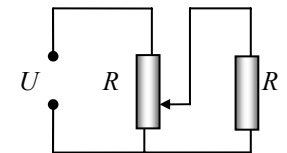
2. Шарик падает под углом β на наклонную плоскость, образующую угол α с горизонтом. После нескольких упругих отскоков от наклонной плоскости шарик возвращается в исходную точку. Сколько отскоков совершил при этом шарик.

3. В теплоизолированном сосуде имеются две жидкости с начальными температурами t_1 и t_2 и удельными теплоемкостями c_1 и c_2 , разделенные не теплопроводящей перегородкой. Перегородку убирают, и после установления теплового равновесия разность между начальной температурой одной жидкости и установившейся в сосуде температурой t оказывается в 2 раза меньше разности начальных температур. Найти отношение масс жидкостей.



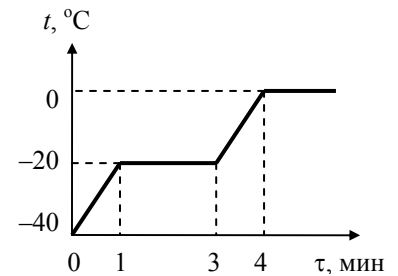
4. В сосуде, из которого быстро откачивают воздух, находится небольшое количество воды массой m при температуре 0 °С. В результате интенсивного испарения происходит замораживание воды. Какая часть первоначального количества воды обратилась в лед?

5. Для регулирования напряжения на нагрузке собрана схема, изображенная на рисунке. Сопротивление нагрузки и регулировочного реостата равно R . Нагрузка подключена к $2/3$ части реостата. Выходное напряжение неизменно и равно U . Определить во сколько раз изменится напряжение на нагрузке, если ее сопротивление увеличить в 2 раза?



Экспериментальный тур.

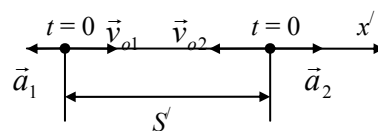
1. 1 кг льда и 1 кг легкоплавкого вещества, не смешивающегося с водой при $t = -40$ °С помещены в теплоизолированный сосуд с нагревателем внутри. На нагреватель подали постоянную мощность. Зависимость температуры в сосуде от времени показана на рисунке. Удельная теплоемкость льда равна $c_l = 2000$ Дж/(кг·К), твердого вещества $c_T = 1000$ Дж/(кг·К). Определить удельную теплоту плавления вещества λ и его удельную теплоемкость c в расплавленном состоянии.



2. Стекланный флакон от духов заполнен ртутью и плотно закрыт притертой стеклянной пробкой. Не вынимая. На вынимая пробки, определить массу находящейся во флаконе ртути. Оборудование подберите сами

Решение задач.

Решение 1. Свяжем систему координат с первым телом. Уравнения движения тел в этой СК будет



$$x'_1 = 0; \quad x'_2 = S' + v_{o21,x}t + \frac{a_{21,x}t^2}{2},$$

где $\vec{v}_{21} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ и $\vec{a}_{21} = \vec{a}_2 - \vec{a}_1$ – скорость и ускорение второго тела относительно первого. Учитывая расположение векторов $\vec{v}_{o1}, \vec{v}_{o2}, \vec{a}_1, \vec{a}_2$ и направление оси Ox' , будем иметь:

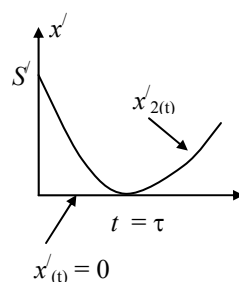
$$v_{o21,x} = (\vec{v}_{o2})_x - (\vec{v}_{o1})_x = -v_{o2} - v_{o1} = -(v_{o1} + v_{o2}), \quad a_{21,x} = (\vec{a}_2)_x - (\vec{a}_1)_x = a_2 - (-a_1) = (a_1 + a_2).$$

Таким образом, уравнение движения второго тела будет

$$x'_2 = S' - (v_{o1} + v_{o2})t + \frac{(a_1 + a_2)t^2}{2}.$$

Графики движения тел в подвижной СК. При $t = \tau$ второе тело придет в начало координат, т. е. поравняется с первым телом.

Следовательно, $S' = (v_{o1} + v_{o2})\tau - \frac{(a_1 + a_2)\tau^2}{2}$ (1).



Найдем время встречи. Как видно из графика, скорость v_{21} в момент времени $t = \tau$ должна быть равна 0.

$$v_{21,x} = v_{o21} + a_{21,x}t = -(v_{o1} + v_{o2}) + (a_1 + a_2)t.$$

При $t = \tau$ $v_{21,x} = 0$. Следовательно, $\tau = \frac{v_{o1} + v_{o2}}{a_1 + a_2}$ (2). Подставляя это значение в (1),

получим: $S' = \frac{(v_{o1} + v_{o2})^2}{2(a_1 + a_2)}$.

Графики движения тел в неподвижной СК:

$t_1 = 10$ с и $t_2 = 15$ с – моменты времени, когда тела поравняются. Как видно из рисунка в точке встречи у них одинаковая скорость, следовательно, относительная скорость равна 0.

Второй способ решения:

Используя для относительного движения формулу

$$v_{кон}^2 - v_{нач}^2 = 2a_x S'_x.$$

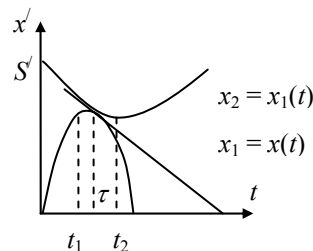
Здесь $v_{кон} = v_{21,x} = 0$,

$$v_{нач} = v_{o21,x} = -(v_{o1} + v_{o2}); \quad a_x = a_{21,x} = (a_1 + a_2); \quad S'_x = -S' -$$

проекция вектора перемещения. Следовательно,

$$0 - (v_{o1} + v_{o2})^2 = 2(a_1 + a_2)(-S').$$

$$S' = \frac{(v_{o1} + v_{o2})^2}{2(a_1 + a_2)}.$$



Примечание: при решении таким способом надо обосновать, что конечная относительная скорость равна 0. (с помощью графика 1)

Решение 2. Пусть шарик падает и отскакивает со скоростью v_0 . Введем систему координат так, как показано на рисунке.

Тогда

$$x_o = 0, y_o = 0, v_{ox} = v_o \cos \beta, v_{oy} = v_o \sin \beta, a_x = -g \sin \alpha, a_y = -g \cos \alpha.$$

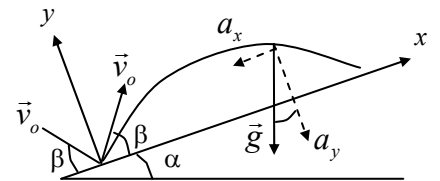
Уравнения движения шарика после отскока будут иметь вид:

$$x = x_o + v_{ox}t + \frac{a_x t^2}{2} = v_o \cos \beta t - \frac{g \sin \alpha}{2} t^2, y = y_o + v_{oy}t + \frac{a_y t^2}{2} = v_o \sin \beta t - \frac{g \cos \alpha}{2} t^2.$$

Пусть в момент времени $t = t_1$ шарик вернется в исходную точку, т. е. при $t = t_1$ $x = 0$.

$$\text{Следовательно, } 0 = v_o \cos \beta t_1 - \frac{g \sin \alpha}{2} t_1^2 \Rightarrow t_1 = \frac{2v_o \cos \beta}{g \sin \alpha} \text{ – время движения шарика.}$$

Легко видеть, что высота подскока над наклонной плоскостью будет оставаться неизменной – это, по существу, движение тела брошенного вверх с начальной скоростью $v_{oy} = v_o \sin \beta$ и ускорением $a_y = -g \cos \alpha$.

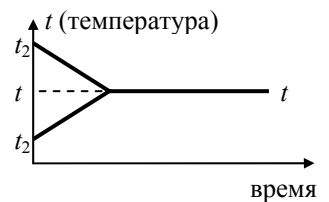


Следовательно, время между двумя отскоками в процессе движения не меняется и его можно найти из условий: $y = 0$ или $v_y = 0$,

$$y = 0 = v_o \sin \beta t_2 - \frac{g \cos \alpha}{2} t_2^2.$$

$$\text{Следовательно, } t_2 = \frac{2v_o \sin \beta}{g \cos \alpha}. \quad \text{Если} \quad \text{ВЗЯТЬ}$$

$$v_y = 0 = v_o \sin \beta - g \cos \alpha \frac{t_2}{2}; \quad \frac{t_2}{2} \text{ – время подъема.}$$



Решение 3. Пусть для определенности $t_2 > t_1$. Тогда будем иметь: $c_1 m_1 (t - t_1) = c_2 m_2 (t_2 - t)$, Следовательно, $\frac{m_1}{m_2} = \frac{c_2 (t_2 - t)}{c_1 (t - t_1)}$.

По условию задачи $t_2 - t_1 = 2(t_2 - t) = 2t_2 - 2t \Rightarrow t - t_1 = t_2 - t$.

$$\text{Следовательно, } \frac{m_1}{m_2} = \frac{c_2}{c_1}.$$

Решение 4. Пусть m_1 – масса образовавшегося льда, m_2 – масса пара. Тогда $m_1 + m_2 = m$ – масса воды до замерзания. $Q_1 = \lambda m_1$ – количество выделившейся теплоты при кристаллизации воды массой m_1 .

$Q_2 = r m_2$ – количество теплоты необходимое для испарения воды массой m_2 . Не учитывая потери при теплообмене, имеем $Q_1 = Q_2 \Rightarrow \lambda m_1 = r m_2 \Rightarrow \lambda m_1 = r(m - m_1)$.

Следовательно, $\frac{m_1}{m} = \frac{r}{r + \lambda} = 0,87$ от первоначальной массы.

Решение 5. $2/3$ части реостата вместе с нагрузкой эквивалентны резистору с со-

$$\text{противлением } R' = \frac{\frac{2}{3} R \cdot R}{\frac{2}{3} R + R} = \frac{2}{5} R.$$

Полное сопротивление цепи

$$R_1 = \frac{1}{3} R + \frac{2}{3} R = \frac{11}{15} R.$$

Ток в цепи $I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{15U}{11R}$.

Напряжение на нагрузке будет равно $U_{1н} = U - I_1 \frac{1}{3}R = U - \frac{1}{3} \frac{15U}{11R} R = \frac{6}{11}U$.

Если сопротивление нагрузки станет равным $2R$, то $R'' = \frac{\frac{2}{3}R \cdot 2R}{\frac{2}{3}R + 2R} = \frac{1}{2}R$,

$R_2 = \frac{1}{3}R + \frac{1}{2}R = \frac{5}{6}R$, $I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{6U}{5R}$, напряжение на нагрузке будет равно

$U_{2н} = U - I_2 \frac{1}{3}R = U - \frac{1}{3} \frac{6U}{5R} R = \frac{3}{5}U$. $K = \frac{U_{2н}}{U_{1н}} = \frac{\frac{3}{5}U}{\frac{6}{11}U} = \frac{11}{10}$.

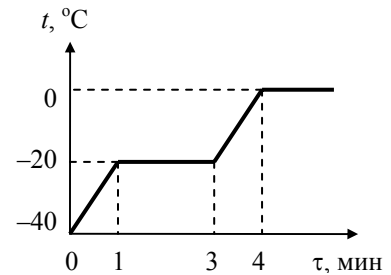
Экспериментальный тур.

Решение 1. Плато при $t = -20$ °С соответствует процессу плавления вещества при $t = 0$ °С – таянию льда.

Нагрев смеси от -40 °С до -20 °С потребовал времени $\tau_1 = 60$ с и количества тепла $P\tau_1$, где P – мощность нагревателя.

Уравнение теплового баланса для этого процесса:

$$(c_l + c_T)m \cdot 20 = P\tau_1 \quad (1).$$



Для полного плавления вещества потребовалось времени $\tau_2 = 120$ с: $m\lambda = P\tau_2$ (2).

Разделив уравнение (1) на (2) найдем λ : $\lambda = (c_l + c_T) \frac{\tau_2}{\tau_1} \cdot 20 = 1,2 \cdot 10^5$ Дж/кг.

Нагрев льда и вещества от -20 °С до 0 °С потребовал $\tau_3 = 60$ с, и уравнение теплового баланса примет вид: $(c_l + c)m \cdot 20 = P\tau_3$ (3). Разделив уравнение (3) на (1), на-

ходим c : $c = (c_l + c_T) \frac{\tau_3}{\tau_1} - c_l = 1000$ Дж/(кг·К).

Решение 2. $m_{pm} = \rho_{pm} V_{pm}$ – масса ртути, плотность ртути – табличное данное.

$m = m_{pm} + m_{cm}$ – масса флакона с ртутью (определим путем взвешивания (m))

$m_{cm} = \rho_{cm} V_{cm}$ – масса стеклянного флакона, плотность стекла – табличное значение.

$V = V_{cm} + V_{pm}$ – внешний объем флакона (определяем при помощи мензурки и отливного стакана). $m_{cm} = \rho_{cm} (V - V_{pm})$

$$\begin{cases} m_{pm} = \rho_{pm} V_{pm} \\ m = m_{pm} + \rho_{cm} (V - V_{pm}) \end{cases} \Rightarrow V_{pm} = \frac{m_{pm}}{\rho_{pm}} \quad m = m_{pm} + \rho_{cm} \left(V - \frac{m_{pm}}{\rho_{pm}} \right)$$

$$m - \rho_{cm} V = m_{pm} \left(1 - \frac{\rho_{cm}}{\rho_{pm}} \right).$$

Окончательно, имеем массу ртути, равную $m_{pm} = \frac{m - \rho_{cm} V}{1 - \rho_{cm} / \rho_{pm}}$.