

Ф1. Водитель заметил, что капли дождя на лобовом стекле при движении машины ведут себя по-разному: одни сползают вниз, а другие под напором встречного ветра ползут вверх (машина движется, а "дворники" не работают). Но ветер для всех капель один и тот же; в чём разница?

Решение. Разница в размере капель. Вертикальная составляющая силы, действующая на каплю, складывается из компоненты, обусловленной встречным потоком воздуха (направлена вверх) и силой тяжести (направлена вниз). Первая компонента примерно пропорциональна площади капли (на самом деле площади сечения капли, перпендикулярного потоку воздуха, но это не очень важно), а вторая – массе, а значит, объёму. То есть первая растёт как квадрат линейных размеров, а вторая – как куб. Понятно, что найдётся такая скорость машины (следовательно, встречного потока воздуха), при которой крупные капли сползают вниз, а мелкие ползут вверх.

Капли, падающие сверху, могут некоторое время по инерции двигаться вниз, а затем под действием силы трения о поток воздуха, развернуться.

Иногда школьники пишут, что перед лобовым стеклом движущегося автомобиля создаются хаотические турбулентные вихри, беспорядочно двигающие капли в разные стороны. Такой ответ нельзя признать правильным. Все современные автомобили спроектированы таким образом, чтобы избежать образования этих вихрей, в противном случае эксплуатация такого автомобиля в зимнее время станет невозможной – лобовое стекло тут же залепит снегом.

Ф2. Муравей бежит от муравейника так, что его скорость обратно пропорциональна расстоянию от центра муравейника. В тот момент, когда муравей находится в точке А на расстоянии 1 м от центра муравейника, его скорость равна 2 см/с.

За какое время муравей добежит от точки А до точки В, находящейся на расстоянии 2 м от центра муравейника.

Решение. Скорость муравья меняется со временем не по линейному закону. Поэтому средняя скорость на разных участках пути различна, и пользоваться для решения известными формулами для средней скорости нельзя.

Разобьём путь муравья от точки А до точки В на малые участки, проходимые за одинаковые промежутки времени Δt . Тогда $\Delta t = \Delta l / v_{cp}(\Delta l)$, где $v_{cp}(\Delta l)$ – средняя скорость на отрезке Δl .

Эта формула подсказывает идею решения задачи.

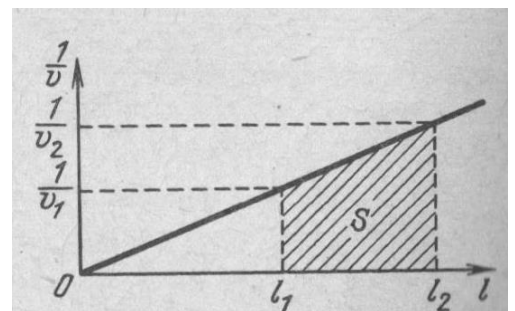
Нарисуем зависимость величины $1/v_{cp}(\Delta l)$ от l на пути от точки А до точки В. Этот график – отрезок прямой; заштрихованная на рисунке площадь S под этим отрезком численно равна искомому времени.

$$\text{Вычислим ее: } S = \frac{1/v_1 + 1/v_2}{2} (l_2 - l_1)$$

$$\text{Так как } \frac{1}{v_2} = \frac{1}{v_1} \cdot \frac{l_2}{l_1}, \text{ то } S = \left(\frac{1}{2v_1} + \frac{1}{2v_2} \cdot \frac{l_2}{l_1} \right) (l_2 - l_1) = \frac{l_2^2 - l_1^2}{2v_1 l_1}$$

$$\text{Таким образом, муравей добежит от точки А до точки В за время } t = \frac{4\text{ м}^2 - 1\text{ м}^2}{2 \cdot 2\text{ м/с} \cdot 10^{-2}\text{ м}} = 75 \text{ с.}$$

Ответ: 75 секунд



Ф3. В цилиндрическом сосуде под поршнем длительное время находятся вода и ее пар. Поршень начинают медленно выдвигать из сосуда. При этом температура воды и пара остается неизменной. Как будет меняться при этом масса жидкости в сосуде? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

Решение.

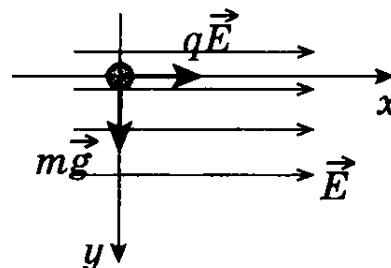
Вода и водяной пар находятся в закрытом сосуде длительное время, поэтому водяной пар является насыщенным.

При выдвигании поршня пар изотермически расширяется. Давление и плотность насыщенного пара в этом процессе не меняются. Следовательно, для пополнения количества вещества пара будет происходить испарение жидкости. Значит, масса жидкости в сосуде будет уменьшаться.

Ответ: масса жидкости в сосуде будет уменьшаться.

Ф4. Полый шарик массой $m = 0.3$ г с зарядом $q = 6$ нКл движется в однородном горизонтальном электрическом поле из состояния покоя. Траектория шарика образует с вертикалью угол $\alpha = 45^\circ$. Чему равен модуль напряженности электрического поля E ?

Решение. На тело действуют сила тяжести $\vec{F}_1 = m\vec{g}$ и сила со стороны электрического поля $\vec{F} = q\vec{E}$. В инерциальной системе отсчета, связанной с Землей, в соответствии со вторым законом Ньютона, вектор ускорения тела пропорционален вектору суммы сил, действующих на него: $m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$.



При движении из состояния покоя тело движется по прямой в направлении вектора ускорения, т.е. в направлении равнодействующей приложенных сил. Прямая, вдоль которой направлен вектор ускорения, образует угол $\alpha = 45^\circ$ с вертикалью, следовательно,

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a_x}{a_y} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{qE}{mg} = 1. \text{ отсюда } E = \frac{mg}{q}.$$

Ответ: $E = 0.5 \cdot 10^6 \text{ В / м} = 500 \text{ кВ / м}$.

Ф5. С разреженным азотом, который находится в сосуде под поршнем, провели два опыта. В первом опыте газу сообщили, закрепив поршень, количество теплоты $Q_1 = 742$ Дж, в результате чего его температура изменилась на 1 К. Во втором опыте, предоставив азоту возможность изобарно расширяться, сообщили ему количество теплоты $Q_2 = 1039$ Дж, в результате чего его температура изменилась также на 1 К. Определите массу азота в опытах.

Решение. Согласно первому началу термодинамики, $Q_1 = \Delta U$, (1.1) $Q_2 = \Delta U + A$, (1.2)

Где ΔU – приращение внутренней энергии газа (одинаковое в двух опытах), A – работа газа во втором опыте. Работа A совершалась газом в ходе избранного расширения, так, что $A = p\Delta V$, (ΔV – изменение объема газа). С помощью уравнения Клайперона-Менделеева эту

работу можно выразить через приращение температуры газа: $p\Delta V = \frac{m}{\mu} R\Delta T$ (1.3)

Решая систему уравнений (1.1) -(1.3), получим: $m = \frac{\mu(Q_2 - Q_1)}{R\Delta T}$.

Ответ: $m \approx 1$ кг.

Ф6. Плоская рамка из провода сопротивлением 5 Ом находится в однородном магнитном поле. Проекция магнитной индукции поля на ось Ox , перпендикулярную плоскости рамки, меняется от $B_{1x} = 3$ Тл до $B_{2x} = -1$ Тл. За время изменения поля по рамке протекает заряд 1,6 Кл. Определите площадь рамки.

Решение. Согласно закону Ома, сила тока в рамке $I = \frac{\mathcal{E}}{r}$, где ЭДС индукции

$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -S \frac{\Delta B_x}{\Delta t}$. здесь r – сопротивление рамки, S – ее площадь, Δt – время изменения

поля. Поскольку $I = \frac{q}{\Delta t}$, то $\frac{q}{\Delta t} = -\frac{S}{r} \cdot \frac{\Delta B_x}{\Delta t}$, $S = -\frac{qr}{\Delta B_x} = \frac{1,6 \cdot 5}{4} = 2 \text{ м}^2$.

Ответ: $S = 2 \text{ м}^2$.

ФС1. Снаряд массой 4 кг, летящий со скоростью 400 м/с, разбивается на две равные части, одна из которых летит в направлении движения снаряда, а другая – в противоположную сторону. В момент разрыва суммарная кинетическая энергия осколков увеличилась на величину ΔE . Скорость осколка, летящего по направлению движения снаряда, равна 900 м/с. Найдите ΔE .

Решение. Введем обозначения: $2m$ – масса снаряда до взрыва; v_0 – модуль скорости снаряда до взрыва; v_1 – модуль скорости осколка, летящего вперед; v_2 – модуль скорости осколка, летящего назад. Система уравнений для решения задачи:

$$\begin{cases} 2m \cdot v_0 = mv_1 + mv_2 - \text{закон сохранения импульса} \\ 2m \cdot \frac{v_0^2}{2} + \Delta E = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} - \text{закон сохранения энергии} \end{cases}$$

Выразим v_2 из первого уравнения: $v_2 = v_1 - 2v_0$ и подставим во второе уравнение. Получим:

$$v_1^2 - 2v_0v_1 + v_0^2 - \frac{\Delta E}{m} = 0. \text{ Отсюда следует, что } \Delta E = m(v_1 - v_0)^2.$$

Ответ: $\Delta E = 0,5 \text{ МДж}$.

ФС2. Воздушный шар имеет газонепроницаемую оболочку массой 400 кг и наполнен гелием. Какова масса гелия в шаре, если на высоте, где температура воздуха 17°C , а давление 10^5 Па, шар может удерживать в воздухе груз массой 225 кг? Считать, что оболочка шара не оказывает сопротивления изменению объема шара.

Решение. Шар с грузом удерживается в равновесии при условии, что сумма сил, действующих на него, равна нулю. В проекциях на вертикальную ось это дает: $(M + m)g + m_2g + m_Bg = 0$, где M и m – массы оболочки шара и груза, m_2 – масса гелия, а $F = m_Bg$ – сила Архимеда, действующая на шар. Из условия равновесия следует: $M + m = m_B - m_2$.

Давление гелия p и его температура T равны давлению и температуре окружающего воздуха. Следовательно, согласно уравнению Клапейрона–Менделеева,

$$pV = \frac{m_2}{\mu_2} RT = \frac{m_B}{\mu_B} RT \text{ где } \mu_2 - \text{молярная масса гелия, } m_B - \text{средняя молярная}$$

масса воздуха, V – объем шара. Отсюда $m_B = m_2 \frac{\mu_B}{\mu_2}$;

$$m_B - m_2 = m_2 \left(\frac{\mu_B}{\mu_2} - 1 \right) = m_2 \left(\frac{29}{4} - 1 \right) = 6,25m_2; \quad M + m = 6,25m_2. \text{ Следовательно, } m_2 = 100 \text{ кг.}$$

Ответ: 100 кг

ФС3. К однородному медному цилиндрическому проводнику длиной 40 м приложили некоторую разность потенциалов. Определите разность потенциалов, если за 15 с. проводник нагрелся на 16 К. Изменением сопротивления проводника и рассеянием тепла при его нагревании пренебечь. (Удельное сопротивление меди $1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом• м.)

Решение.

1. Количество теплоты согласно закону Джоуля-Ленца: $Q = (U^2 / R) \cdot t$,
2. Это количество теплоты затратится на нагревание проводника: $Q = cm\Delta T$, (2)
3. где масса проводника $m = \rho l S$ (S — площадь поперечного сечения проводника).
4. Сопротивление проводника: $R = \frac{\rho_{эл} l}{S}$.

Из 1-4, получаем $U = \sqrt{\frac{c\rho\rho_{эл}l^2\Delta T}{t}}$. $U \approx 10$ В.

Ответ: $U \approx 10$ В

ФС4. В горизонтальное дно водоема глубиной 3 м вертикально вбита свая, полностью скрытая под водой. При угле падения солнечных лучей на поверхность воды, равном 30° , свая отбрасывает на дно водоема тень длиной 0,8 м. Определите высоту сваи. Коэффициент преломления воды $n = 4/3$.

Решение

Согласно рисунку, длина тени L определяется высотой сваи h и углом γ между сваей и скользким по ее вершине лучом света: $L = h \cdot \operatorname{tg} \gamma$. Этот угол является и углом преломления солнечных лучей на поверхности воды. Согласно закону преломления,

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n ; \sin \gamma = \frac{\sin \alpha}{n} = \frac{1}{2n} ; \operatorname{tg} \gamma = \frac{\sin \gamma}{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma}} .$$

Следовательно, $L = h \frac{1}{\sqrt{4n^2 - 1}}$, а высота сваи $h = L \sqrt{4n^2 - 1}$.

Ответ: $h \approx 2$ м.

