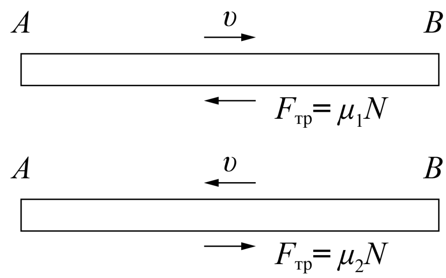
Всероссийская олимпиада школьников по физике

10 класс, заключительный этап, 2020/21 год

Задача 1. При использовании специальной технологии обработки полимерных материалов можно добиться анизотропии свойств их поверхности. Например, движение полоски из полиэтилена по горизонтальной поверхности стола в направлении AB (на рис. 1 вправо), характеризуется коэффициентом трения μ_1, а движение в направлении BA — коэффициентом трения $\mu_2 < \mu_1$. Если подвергнуть лежащую на столе полоску длины l циклическому нагреванию-охлаждению, то можно заметить, что полоска перемещается по поверхности стола.



1. В каком направлении (AB или BA) сместится полоска при большом количестве циклов?

2. На какое расстояние переместится полоска за N циклов нагревания-охлаждения, если разность максимальной и минимальной температур в цикле равна ΔT? Ответ запишите в виде формулы.

3. Вычислите, на какое расстояние переместится полоска длины $l = 20$ см за $N = 100$ циклов нагрева-охлаждения, если разность максимальной и минимальной температур в цикле равна ΔT? Ответ запишите в виде формулы.

4. Вычислите, на какое расстояние переместится полоска длины $l = 20$ см за $N = 100$ циклов нагрева-охлаждения при изменении её температуры на $\Delta T = 80\,°C$. Значения коэффициентов трения $\mu_1 = 0{,}15$, $\mu_2 = 0{,}05$.

Считайте, что при изменении температуры полиэтилена на ΔT, его длина изменяется на величину $\Delta l = \alpha l \Delta T$, где l — длина полоски при комнатной температуре, $\alpha = 2 \cdot 10^{-4}\,C^{-1}$ — коэффициент температурного расширения полиэтилена. Полоска имеет постоянную толщину, не изгибается и прижимается к столу равномерно всей поверхностью. Нагревание и охлаждение происходят медленно.

1) влево; 2) $\Delta X = N\frac{\mu_1-\mu_2}{\mu_1+\mu_2} l\alpha\Delta T$; 3) $\Delta X = 16$ см

Задача 2. На вход гладкой прямолинейной трубы постоянного сечения S, ось которой горизонтальна, поступает идеальный многоатомный газ, движущийся со скоростью v_1. Давление газа на входе в трубу равно P_1, плотность — ρ_1. Давление газа на выходе из трубы равно $P_2 = P_1 + \Delta P$. Определите:

1. плотность ρ_2 и скорость v_2 газа на выходе из трубы;
2. отношение температур газа T_2/T_1 на выходе и на входе в трубу соответственно;
3. тепловую мощность N, выделяемую трубой в окружающую среду.

Считайте, что в любом перпендикулярном сечении трубы плотность и давление газа не изменяются со временем. Считайте, что во входном сечении плотность и давление газа во всех точках одинаковы. То же относится и к выходному сечению.

См. конец листка

Задача 3. В соответствии с одной из моделей омметра он состоит из идеального источника постоянного напряжения $\mathscr{E}$ (с нулевым внутренним сопротивлением) и соединённых с ним последовательно резистора сопротивлением r и идеального амперметра (см. рис.). При подключении исследуемого резистора к клеммам A и B встроенный амперметр показывает силу тока, которая затем пересчитывается в величину измеряемого сопротивления и отображается на индикаторе омметра. Если подключить к выводам такого омметра диод, вольтамперная характеристика которого приведена на рис. 3, то он покажет сопротивление $R_D = 6$ кОм.

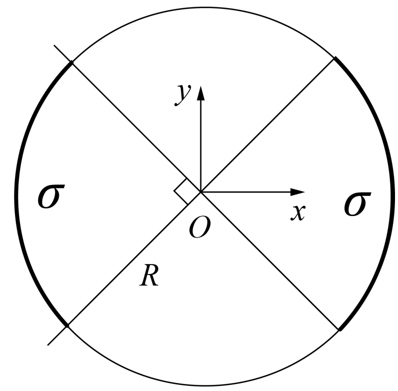
Если к этому диоду добавить последовательно резистор с сопротивлением $R = 20$ кОм и измерить сопротивление получившейся пары омметром, то он покажет $R_1 = 30$ кОм. Если вместо резистора и диода подключить к омметру идеальную батарейку с напряжением $U_Б = 3$ В (полярность подключения неизвестна!), то он покажет отрицательное сопротивление $R_Б = -7{,}5$ кОм ($R_Б < 0$). По этим данным определите:

1. величину напряжения $\mathscr{E}$ внутреннего источника омметра;
2. величину внутреннего сопротивления r омметра;
3. напряжение U_0, при котором открывается диод;
4. показания $R_{Б1}$ омметра при подключении к нему той же батарейки, но с изменением полярности.

Примечание. Амперметр, встроенный в омметр, измеряет силу тока с учётом его направления. Если ток течёт через амперметр в обратном направлении, то его величина определяется как отрицательная. Омметр выполняет все вычисления с учётом знаков.

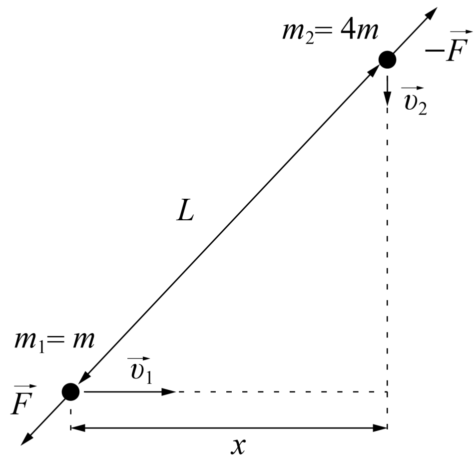
1) $\mathscr{E} = -U_Б \frac{r+R_Б}{R_Б} = 9$ В; 2) $r = \frac{RR_D}{R_1 - R_D - R} = 30$ кОм; 3) $U_0 = \frac{\mathscr{E}}{6} = 1{,}5$ В; 4) $R_{Б1} = r\frac{U_Б}{\mathscr{E} - U_Б} = 15$ кОм

Задача 4. Бесконечный тонкостенный диэлектрический цилиндр радиуса R разбили вдоль оси вращения на равные «четвертинки». Две противолежащие четвертинки зарядили равномерно с поверхностной плотностью заряда $\sigma > 0$, а другие две оставили незаряженными. Найдите векторы напряжённости электрического поля цилиндра в точках, близких к его центру и имеющих координаты $(x; 0)$ и $(0; y)$. Считайте $x, y \ll R$. Координатные оси OX и OY направлены вдоль биссектрис прямых углов (см. рис.).



$E'_y = \frac{\sigma y}{\pi R \varepsilon_0}$; $E'_x = 0$

Задача 5. Два автономных исследовательских зонда движутся навстречу друг другу с выключенными двигателями в глубоком космосе вдали от других тел курсами, пересекающимися под прямым углом. Масса первого зонда равна $m_1 = m$, а его скорость $v_1 = v$. Масса второго зонда $m_2 = 4m$, а скорость $v_2 = v/3$. В момент времени, когда расстояние между зондами становится равным L, а расстояние от первого зонда до точки пересечения траекторий — x, на обоих зондах включаются двигатели с постоянной по модулю силой тяги F, при этом вектор силы тяги в любой момент времени направлен противоположно направлению на другой зонд. Рисунок приведён для момента включения двигателей. Двигатели выключаются, когда расстояние между зондами становится равным $2L$. Размеры зондов малы по сравнению с L, а их гравитационным взаимодействием можно пренебречь.



1. При каком значении $x = x_{\text{кр}}$ произошло бы столкновение зондов, если бы двигатели на них не включались?

2. Найдите минимальное значение силы тяги $F_{\min}$, при котором зонды не столкнутся, если $x = x_{\text{кр}}$.

3. Пусть величины сил тяги двигателей равны $F = F_{\min} + dF$ ($dF \ll F_{\min}$), а $x = x_{\text{кр}}$. Найдите **вектор** конечной скорости первого зонда в виде $\alpha\vec{v}_1 + \beta\vec{v}_2$.

4. Пусть сила тяги двигателей равна F, а $x = x_1$ ($x_1 > x_{\text{кр}}$). Найдите **модуль** конечной скорости первого зонда относительно второго.

1) $x_{\text{кр}} = \frac{3L}{\sqrt{10}}$; 2) $F_{\min} = \frac{4mv^2}{9L}$; 3) $\vec{v}_{\text{к}} = \frac{1}{5}\vec{v}_1\left(1 - 4\sqrt{2}\right) + \frac{4}{5}\vec{v}_2\left(1 + \sqrt{2}\right)$; 4) $v_{\text{отн}} = \sqrt{\frac{10v^2}{9} + \frac{5FL}{2m}}$

Ответ к задаче 2

1) $\rho_2 \frac{\rho_1^2 v_1^2}{\rho_1 v_1^2 - \Delta P}$, $v_2 = v_1 - \frac{\Delta P}{\rho_1 v_1}$

2) $\frac{T_2}{T_1} = \left(1 + \frac{\Delta P}{P_1}\right)\left(1 - \frac{\Delta P}{\rho_1 v_1^2}\right)$

3) $N = \rho_1 S v_1 \left(\frac{v_1^2}{2}\left(1 - \left(1 - \frac{\Delta P}{\rho_1 v_1^2}\right)^2\right) + \frac{4P_1}{\rho_1}\left(1 - \left(1 + \frac{\Delta P}{P_1}\right)\left(1 - \frac{\Delta P}{\rho_1 v_1^2}\right)\right)\right)$