**Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по физике 2020-2021 г.**
**Решение задач.**
**10 Класс**

**Задача 1**

В тумане корабли, чтобы не столкнуться, подают сигнал другим кораблям гудком. Два корабля идут навстречу друг другу в проливе. Первый идёт со скоростью $\upsilon_1$= 18 км/ч, а второй со скоростью $\upsilon_2$= 36 км/ч. В какой-то момент времени первый корабль издаёт гудок, а капитан второго корабля услышав сигнал тут же ответил своим сигналом. Капитан первого корабля услышал ответный гудок второго корабля через t сек. В это время между кораблями по радару было расстояние равное 3902 м. Скорость звука $\upsilon_{зв}$=340 м/с, и не зависит от скорости источника, посылающего сигнал. Найти расстояние между кораблями в момент подачи сигнала первым кораблем и полное время сигнала t.

**Решение:**

Обозначим расстояние между кораблями в момент подачи сигнала ($t$ = 0) через $L$ и используем систему отсчета, в которой скорости кораблей равны $\upsilon_1$ и $\upsilon_2$ соответственно. Тогда встреча звукового сигнала и второго корабля состоится в момент времени: $t_1=L/(\upsilon_2+\upsilon_{зв})$.

В этот момент времени расстояние между кораблями будет равно:

$$S = L - (\upsilon_1 + \upsilon_2)\, t_1 = L\left(1 - \frac{\upsilon_1+\upsilon_2}{\upsilon_2+\upsilon_{зв}}\right) = L \cdot \frac{\upsilon_{зв}-\upsilon_1}{\upsilon_2+\upsilon_{зв}}$$ (2 балла)

После подачи ответного сигнала вторым кораблём звук идет навстречу первому кораблю и через время $t_2$ его услышат на первом корабле:

$t_2=S/(\upsilon_1+\upsilon_{зв})$.

Полное время будет равно:

$$t = t_1 + t_2 = \frac{L}{\upsilon_2+\upsilon_{зв}} + \frac{L\left(\frac{\upsilon_{зв}-\upsilon_1}{\upsilon_2+\upsilon_{зв}}\right)}{\upsilon_1+\upsilon_{зв}}$$ (2 балла)

Тогда имеем:

$$L = \frac{(\upsilon_1+\upsilon_{зв})(\upsilon_2+\upsilon_{зв})}{2\,\upsilon_{зв}}\,t \qquad (1)$$ (2 балла)

Расстояние $L_1$ между кораблями в момент принятия сигнала первым капитаном равно:

$$L_1 = L - (\upsilon_1+\upsilon_2)t. \qquad (2)$$

Получаем тогда из уравнений (1) и (2):

$$t = \frac{L_1}{\frac{(\upsilon_1+\upsilon_{зв})(\upsilon_2+\upsilon_{зв})}{2\,\upsilon_{зв}} - (\upsilon_1+\upsilon_2)} = 24 \text{ сек.}$$

(2 балла)

Из уранения (2) имеем:

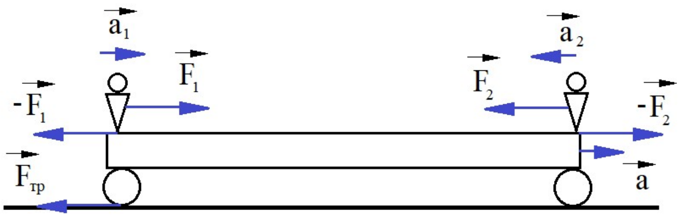
$$L = L_1 + (\upsilon_1+\upsilon_2)t = 4262 \text{ м.}$$ (2 балла)

**Задача 2**

На горизонтальных рельсах стоит длинная тележка массой M. Коэффициент трения её колёс о рельсы равен μ. Два человека с массами $m_1$ и $m_2$ находятся на противоположных концах тележки. В некий момент времени они разгоняясь побежали навстречу друг другу, в результате чего тележка начала двигаться с ускорением **a**. Считая, что модули ускорений людей относительно тележки равны, найдите модуль ускорения первого человека относительно земли.

**(10 баллов)**

**Решение:**




Пусть тележка движется в сторону движения первого человека. Очевидно, что на каждого человека действует, кроме силы тяжести mg и нормальной реакции тележки, еще и сила трения F со стороны тележки, направленная в сторону движения человека.

Тогда имеем:
$$F_1 = m_1 a_1$$
$$F_2 = m_2 a_2 \qquad \text{(3 балла)}$$
$$-F_1 + F_2 - \mu N = Ma$$

$F_{тр} = \mu N$ – сила трения между рельсами и колёсами.

Поскольку $N = Mg + m_1 g + m_2 g$ то получаем, что:

$$Ma + m_1 a_1 - m_2 a_2 = -\mu(M + m_1 + m_2)g \ (1) \qquad \text{(2 балла)}$$

Обозначим ускорения людей относительно тележки как $\overrightarrow{a_1}'$ и $\vec{a}_2{}'$.

Поскольку $\overrightarrow{a_1}' = -\vec{a}_2{}'$ ; $\vec{a}_1 = \vec{a} + \overrightarrow{a_1}'$, и $\vec{a}_2 = \vec{a} + \overrightarrow{a_2}'$, то $\vec{a}_1 - \vec{a} = -(\vec{a}_2 - \vec{a})$.

Тогда будет: $\vec{a}_1 + \overrightarrow{a_2} = 2\vec{a}$.

Это выражение в скалярном виде: $a_1 - a_2 = 2a$ (2) (2 балла)

Совместное решение уравнений (1) и (2) дает формулы для **модулей** ускорений:

$$a_1 = \frac{a(2m_2 + M) + \mu(\mathrm{M} + \mathrm{m}_1 + \mathrm{m}_2)\mathrm{g}}{m_2 - m_1}$$

(3 балла)

$$a_2 = \frac{a(2m_1 + M) + \mu(\mathrm{M} + \mathrm{m}_1 + \mathrm{m}_2)\mathrm{g}}{m_2 - m_1}$$

Предположение о движении тележки в сторону движения первого человека будет справедливо, если $m_1 < m_2$ . В ответе может быть получено любое из этих ускорений, т.к. учащийся может взять любое соотношение масс.

Примечание: в задаче предполагалось, что тележка двигалась. Это возможно, если выполнено условие

$$|m_2 a_2 - m_1 a_1| > \mu(M + m_1 + m_2)g$$

В противоположном случае $a = 0$ и $F_{тр} \leq \mu N$ – трение покоя и ускорения относительно тележки равны ускорениям относительно земли.

**Задача 3**

Найдите давление идеального одноатомного газа, находящегося в закрытом сосуде, если плотность газа $\rho = 4$ кг/м$^3$, а среднеквадратичная скорость его молекул равна $\upsilon_{кв} = 800$ м/с.

**(10 баллов)**

**Решение:**

Пусть $n$ — концентрация молекул газа, тогда из уравнения Клайперона получим что давление: p = nkT. (2 балла)

Поскольку средняя кинетическая энергия молекулы

$$E = \frac{1}{2} m_o \upsilon_{кв}{}^2 = \frac{3}{2} kT, \qquad (3 \text{ балла})$$

тогда имеем:

$p = \frac{1}{3} n m_o \upsilon_{кв}{}^2$ ,где $m_o$- масса молекулы.

Так как по определению $\rho = m/V = nm_o$, (2 балла)

то получаем: $p = (\rho v^2_{кв})/3 = 853,3$ кПа. (3 балла)

**Задача 4**

К батарейке присоединили первую лампочку сопротивлением $R_1$=3 Ом. Затем, отсоединив первую лампочку, к батарейке присоединили вторую лампочку сопротивлением $R_2$=12 Ом. В обоих случаях мощность, выделяющаяся на лампочках, оказалась одинаковой. Найдите КПД батарейки при присоединении первой лампочки. Решение

**(10 баллов)**

**Решение:**

Пусть ЭДС источника $E$, внутреннее сопротивление $r$.

Тогда по закону Ома для полной цепи найдём силу тока в первом случае:

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + r}$$

Мощность первой лампочки

$$P_1 = I_1{}^2 \cdot R_1 = \frac{E^2 \cdot R_1}{(r + R_1)^2}$$

(2 балла)

Аналогично для второй лампочки:

$$I_2 = \frac{E}{R_2 + r}$$

мощность второй лампочки будет равна

$$\mathrm{P}_2 = {I_2}^2 \cdot R_2 = \frac{E^2 \cdot R_2}{(r + R_2)^2}$$

(2 балла)

Тогда из равенства мощностей имеем:

$$\frac{E^2 R_1}{(r + R_1)^2} = \frac{E^2 R_2}{(r + R_2)^2}$$

$$\frac{\sqrt{R_1}}{(r + R_1)} = \frac{\sqrt{R_2}}{(r + R_2)}$$

и получаем, что:

$$\sqrt{R_1}(r + R_2) = \sqrt{R_2}(r + R_1)$$

$$\sqrt{R_1} \cdot r + \sqrt{R_1} \cdot R_2 = \sqrt{R_2} \cdot r + \sqrt{R_2} \cdot R_1$$

$$\left(\sqrt{R_1} - \sqrt{R_2}\right) \cdot r = \sqrt{R_2} \cdot \sqrt{R_1}\left(\sqrt{R_1} - \sqrt{R_2}\right)$$

$$r = \sqrt{R_2} \cdot \sqrt{R_1}$$

(3 балла)

Мощность источника (батарейки) при присоединении первой лампочки:

$$\mathrm{P}_б = I_1 \cdot E = \frac{E^2}{R_1 + r}$$ ( 2 балла)

откуда коэффициент полезного действия будет равен:

$$\eta_1 = \frac{{I_1}^2 \cdot R_1}{I_1 \cdot E} = \frac{I_1 \cdot R_1}{E} = \frac{\frac{E}{R_1 + r} \cdot R_1}{E} = \frac{R_1}{R_1 + r} = \frac{R_1}{R_1 + \sqrt{R_1 R_2}} = \frac{3}{\sqrt{3} \cdot 12 + 3} = \frac{1}{3}$$

$$\eta_1 = 33\%$$

(1 балл)

**Задача 5**

Металлический шар заряжен положительным зарядом с поверхностной плотностью σ. Шар окружен концентрической металлической тонкостенной сферической оболочкой, имеющей вдвое больший радиус и такой же по величине электрический заряд. Оболочку заземляют. Определите поверхностную плотность заряда на оболочке после заземления.

**(10 баллов)**

**Решение:**

Поверхностная плотность заряда шара $\sigma_1$=Q/S, т.к. заряд равномерно распределяется по поверхности шара.

Когда оболочку заземляют, то потенциал оболочки становится равен нулю. Под влиянием поля положительно заряженного шара электроны с поверхности земли переходят на поверхность оболочки и заряд оболочки станет отрицательным.

Потенциал оболочки определяется так:

$$\varphi_{\text{об}} = 0 = k\frac{Q_{\text{шара}}}{R_{\text{об}}} + k\,\frac{Q_{\text{об}}}{R_{\text{об}}}$$

(4 балла)

То есть для заряда оболочки получим: $-Q_{\text{шара}}=Q'_{\text{об}}$. (3 балла)

Заряд распределяется по внешней поверхности оболочки и так как $R_{\text{об}} = 2R_{\text{шара}}$ то $\sigma_2 = Q_{\text{об}} / S_{\text{об}} = -\sigma/4$.

(3 балла)