

ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ

ВАРИАНТ 27101 для 10-го класса

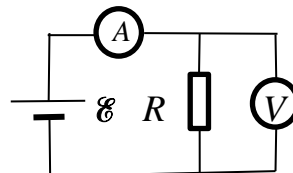
1. Ровное горизонтальное дно мелкого озера состоит из песчаных и каменистых участков. Над какими участками дна лёд, образовавшийся на поверхности воды, будет тоньше? Объясните ответ, используя физические законы и явления.

Решение.

Над камнями лёд более тонкий, так как теплопроводность камня больше теплопроводности песка. Камни неплотно прилегают друг к другу, между ними находится слой воды. Тепло от нижних слоев воды через камни передается вверх, поэтому слой льда над камнями тоньше.

Дополнение: между песчинками слой воды гораздо тоньше, поэтому запасенное водой количество тепла меньше, и передается наверх оно хуже (см. слова про теплопроводность).

2. Чебурашка и крокодил Гена изучают электротехнику в школьном кружке по физике. Когда они собрали схему, изображённую на рисунке, вольтметр показал напряжение $U_1 = 1,5$ В, а амперметр – силу тока $I_1 = 100$ мА. Во время перемены в комнату проникла старуха Шапокляк и поменяла местами вольтметр и амперметр. Показания приборов изменились, теперь они стали показывать, соответственно, $U_2 = 3$ В и $I_2 = 50$ мА. Определите сопротивление вольтметра. Внутренним сопротивлением батарейки можно пренебречь.



Решение.

ЭДС батарейки равна

$$I_1 R_A + U_1 = I_2 R_A + U_2 \rightarrow$$

$$R_A = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2} = \frac{3 - 1,5}{0,1 - 0,05} = 30 \text{ Ом}$$

Напряжение на резисторе R в первом случае по условию

$$U_{R1} = U_1 = 1,5 \text{ В}$$

Напряжение на резисторе R во втором случае

$$U_{R2} = I_2 R_A = 0,05 \cdot 30 = 1,5 \text{ В.}$$

Таким образом, U_R не изменилось при перемене местами вольтметра и амперметра, а такое возможно лишь в случае $R_V = R_A$. Отсюда

$$R_V = 30 \text{ Ом.}$$

3. Кот Матроскин и пёс Шарик занялись улучшением условий труда на своей ферме. Поскольку в кабинете директора при температуре $t = 25$ °С была очень маленькая влажность $\varphi_1 = 20$ %, то они закупили увлажнитель воздуха, испаряющий $\nu = 200$ мл воды в час. Какой станет влажность в кабинете через полтора часа работы увлажнителя? Объём кабинета $V = 100$ м³, давление насыщенных паров при температуре 25 °С равно $p_n = 3,17$ кПа, плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м³, молярная масса воды $M = 18$ г/моль.

Решение

$$\begin{cases} p_1 V = \frac{m_1}{M} RT \\ p_2 V = \frac{m_1 + m}{M} RT \end{cases} \rightarrow \begin{cases} p_n \varphi_1 V = \frac{m_1}{M} RT \\ p_n \varphi_2 V = \frac{m_1 + 1,5 \rho \nu}{M} RT \end{cases} \rightarrow$$

$$p_n (\varphi_2 - \varphi_1) V = \frac{3 \rho \nu}{2M} RT \rightarrow$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \frac{3 \rho \nu RT}{2 M p_n V} = 0,2 + \frac{3 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 8,31 \cdot 298}{2 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \cdot 3,17 \cdot 10^3 \cdot 100} = 0,33 = 33\%$$

4. В 1783 г. братья Жозеф и Этьен Монгольфье в г. Анноне (Франция) первыми в истории подняли в воздух сферическую оболочку из холста, оклеенную изнутри специальной бумагой. Наполненная горячим дымом оболочка массой 230 кг поднялась на высоту 1700-2000 м. Так состоялся полет первого «монгольфьера» (фр. montgolfière), положивший начало эре воздухоплавания.

Рассмотрим оболочку, заполненную гелием. В нижней части оболочки имеется открытое отверстие, через которое горелка нагревает газ. Сделайте рисунок с указанием сил, которые действуют на квадратный сантиметр оболочки монгольфьера. Определите прочность материала оболочки на разрыв, т.е. максимальную силу натяжения, которую выдержит кусок материала длиной 1 м. Плотность материала оболочки $\rho = 50 \text{ г/м}^2$, атмосферное давление 10^5 Па , молярная масса воздуха $\mu_v = 0,029 \text{ кг/моль}$, молярная масса гелия $\mu_r = 0,004 \text{ кг/моль}$, радиус аэростата $r = 10 \text{ м}$. Температура гелия и воздуха $T = 300 \text{ К}$. Масса гелия внутри оболочки не изменяется.

Решение:

Давление окружающего воздуха и гелия у отверстия (внизу аэростата):

$$p_g = p_z = p_0$$

Давление окружающего воздуха вверху аэростата (на высоте $2r$): $p_g = p_0 - \rho_g g 2r$

Давление гелия вверху аэростата (на высоте $2r$): $p_z = p_0 - \rho_z g 2r$

Разность давлений на оболочку вверху аэростата: $\Delta p = (\rho_g - \rho_z) g 2r$. Эта разность давлений и удерживает оболочку.

Равновесие квадратного элемента оболочки размером $S = L \times L = 1 \text{ см} \times 1 \text{ см}$ описывается уравнением: $\Delta p S - mg - 2T \sin \alpha = 0$, где m – масса элемента оболочки, а 2α – центральный угол.

$$(\rho_g - \rho_z) g 2r S - \rho S g - T \frac{L}{r} = 0 \quad \text{или (делим на } S = L^2 \text{ и умножаем на } r)$$

$$\frac{T}{L} = 2gr^2(\rho_g - \rho_z) - \rho gr \quad \text{плотность газов найдем из уравнения состояния:}$$

$$\rho_z = \frac{p_0 \mu_z}{RT} \quad \rho_g = \frac{p_0 \mu_g}{RT} \quad \text{тогда} \quad \frac{T}{L} = 2gr^2(\mu_g - \mu_z) \frac{p_0}{RT} - \rho gr$$

$$\frac{T}{L} = 2 \cdot 10 \cdot 10^2 \cdot (0,029 - 0,004) \cdot \frac{10^5}{8,31 \cdot 300} - 0,05 \cdot 10 \cdot 10 = 2000 \text{ Н/м.}$$

Ответ: 2000 Н/м.

5. Саяно-Шушенская ГЭС им. П.С. Непорожного – крупнейшая по установленной мощности электростанция России. Она расположена на реке Енисей у поселка Черемушки возле города Саяногорска. Уникальная арочно-гравитационная плотина станции высотой 242 м является самой высокой в России и находится на седьмом месте среди существующих плотин в мире. На любой гидроэлектростанции есть специальные водоводы, предназначенные для пропуска через плотину избыточных количеств воды, которые образуются во время весенних паводков. На многих плотинах для спуска воды используют водосбросы, которые называют «трамплинными». В них вода, проходя по изогнутому каналу-трамплину, выбрасывается под углом к горизонту и падает на значительном расстоянии от плотины. Предположим, что в области падения потока находится горизонтальная плита, отражающая весь поток так, что перпендикулярная плите составляющая скорости потока гасится, а параллельная плите сохраняется. Объёмный расход воды плотностью ρ через водосброс равен q . Вода с трамплина выбрасывается под углом 30° к горизонту, а разность высот точки выброса и точки падения потока равна h . Известно, что на выходе с «трамплина» сечение водяного потока оказывается в два раза больше, чем в точке падения на плиту («дробление» потока на множество капель не учитывать). Влиянием сил сопротивления на движение воды пренебречь. Определите силу, действующую со стороны водяного потока на плиту. Под каким углом β к горизонту нужно установить плиту, чтобы действующая на неё сила уменьшилась в два раза (по сравнению со случаем горизонтального расположения)?

Решение:

За интервал времени Δt через сечение потока площадью S со скоростью v проходит объём жидкости, равный $Sv \Delta t$, поэтому расход жидкости $q = Sv$. Так как расход жидкости в потоке не изменяется, то должно выполняться условие неразрывности потока, $q = Sv = \text{const}$. Поэтому скорость потока в точке падения на плиту в два раза больше скорости выброса: $V = 2V_0$. Если пренебрегать силами сопротивления, то можно считать, что механическая энергия при движении массы воды сохраняется:

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{mV_0^2}{2} + mgh \Rightarrow V^2 = 4V_0^2 = V_0^2 + 2gh, \text{ а значит } V_0 = \sqrt{\frac{2}{3}gh} \text{ и } V = 2\sqrt{\frac{2}{3}gh}.$$

Сила, действующая на плиту, равна скорости изменения импульса потока. Поскольку по условию изменяется только перпендикулярная плите компонента этого импульса, то вектор силы перпендикулярен плите, а модуль силы равен $F = \rho q V_{\perp}$. Найдем перпендикулярную плите компоненту скорости воды в точке падения на плиту.

$$\text{Учтем, что } V^2 = V_{\perp}^2 + V_{\parallel}^2 = V_{\perp}^2 + (V_0 \cos 30^\circ)^2.$$

$$\text{Тогда } V_{\perp} = \sqrt{V^2 - (V_0 \cos 30^\circ)^2} = \sqrt{\frac{8}{3}gh - \frac{2}{3}gh \frac{3}{4}} = \sqrt{\frac{13}{6}gh}$$

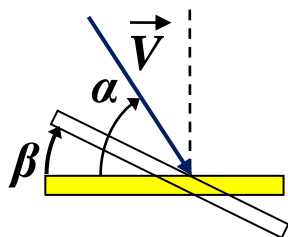
$$\text{Следовательно, } F = \rho q \sqrt{\frac{13}{6}gh}.$$

В точке падения скорость потока направлена под углом

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{V_{\perp}}{V}\right) = \arcsin\left(\frac{\sqrt{13}}{\sqrt{16}}\right)$$

к горизонту. Для уменьшения силы вдвое нужно вдвое уменьшить перпендикулярную к плите компоненту скорости, то есть должно быть $\sin(\alpha - \beta) = \frac{1}{2} \sin(\alpha)$. Значит,

$$\beta = \alpha - \arcsin\left(\frac{\sin(\alpha)}{2}\right) = \arcsin\left(\frac{\sqrt{13}}{\sqrt{16}}\right) - \arcsin\left(\frac{\sqrt{13}}{\sqrt{64}}\right).$$



Олимпиада школьников «Надежда энергетики». Заключительный этап.

Ответ: $F = \rho q \sqrt{\frac{13}{6}} gh$; $\beta = \arcsin\left(\sqrt{\frac{13}{16}}\right) - \arcsin\left(\sqrt{\frac{13}{64}}\right)$.