

ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ
ВАРИАНТ 27111 для 11-го класса

1. В лаборатории теплофизических исследований кафедры Общей физики и ядерного синтеза НИУ «МЭИ» на установке «Индукционный нагрев мишени» проводятся исследования коэффициента теплоотдачи при охлаждении нагретой поверхности диспергированным потоком дистиллированной воды. В этой установке вода (имеющая температуру T) распыляется в виде мелких капель специальной форсункой на нагретую поверхность. Какие физические явления и законы объясняют отвод тепла от мишени? Будет ли, по вашему мнению, такой способ охлаждения более эффективным по сравнению с охлаждением поверхности сплошным потоком воды с температурой T ?

Решение.

Диспергированный поток представляет собой жидкость или газожидкостную смесь, которая распыляется в виде мелких капель на нагретую поверхность, обеспечивая при этом эффективный отвод тепла за счет механизмов испарения и конвективного теплообмена.

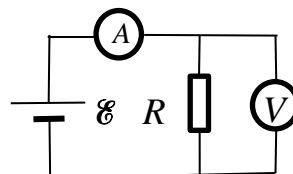
2. В вакуумной камере в некоторый момент времени расстояние между двумя одинаковыми ионами равно l , их скорости равны по модулю V , противоположны по направлению и перпендикулярны прямой, соединяющей ионы. Определите величину и направление магнитной индукции однородного магнитного поля, которое необходимо создать в этот момент, чтобы расстояние между ионами больше не изменялось. Масса каждого иона m , заряд Q . Действием силы тяжести пренебречь.

Решение:

Очевидно, что при любой ориентации индукции магнитного поля \vec{B} относительно скоростей ионов такой, что не выполняется условие $\vec{B} \perp \vec{v}$, дальнейшее движение каждой частицы будет происходить по винтовой линии, т.е. расстояние между ними будет изменяться. Отсюда следует, что необходимо выполнение условия $\vec{B} \perp \vec{v}$, а тогда оба иона станут вращаться по одной и той же окружности радиусом $l/2$. Для этого направление силы Лоренца должно быть противоположно направлению силы электростатического отталкивания ионов при любой ориентации векторов \vec{B} и \vec{v} . Тогда уравнение движения иона:

$$\frac{mv^2}{l/2} = \omega B - \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 l^2}. \quad \text{Отсюда } B = \frac{2mv}{lQ} + \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 l^2 v}.$$

3. 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 $R_V = 30$ Ом.

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): $p_в = p_г = p_0$

Давление окружающего воздуха сверху аэростата (на высоте $2r$): $p_в = p_0 - \rho_в g 2r$

Давление гелия сверху аэростата (на высоте $2r$): $p_г = p_0 - \rho_г g 2r$

Разность давлений на оболочку сверху аэростата: $\Delta p = (\rho_в - \rho_г) g 2r$. 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.

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

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

$$\rho_г = \frac{p_0 \mu_г}{RT} \quad \rho_в = \frac{p_0 \mu_в}{RT} \quad \text{тогда} \quad \frac{T}{L} = 2gr^2 (\mu_в - \mu_г) \frac{p_0}{RT} - \rho g r$$

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

Ответ: 2000 Н/м.

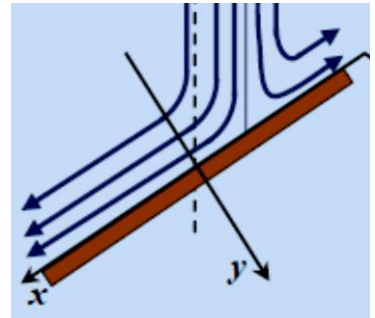
5. В Якутии на реке Вилюй у поселка Чернышевский расположен каскад двух Вилюйских ГЭС им. Е.Н. Батенчука, установленная мощность которых составляет 680 МВт. В среднем за год электростанции вырабатывают 2580 млн. кВт·ч электроэнергии. В здании ГЭС-1 установлены 4 гидроагрегата мощностью по 85 МВт с поворотно-лопастными турбинами (пример турбины показан на фото).

Поток воды движется в установившемся режиме вертикально вниз со скоростью v и попадает на плоскую лопасть площадью S . Угол между лопастью и скоростью потока равен α . Объясните, как происходит обтекание лопасти – поток обходит ее с одной стороны или с обеих? Определите зависимость вращающего момента силы, действующего на турбину, от скорости потока воды v и от угла α . Воду считайте идеальной (невязкой и несжимаемой) жидкостью. Определите угол наклона лопаток турбины к потоку, обеспечивающий максимальный вращающий момент.



Решение

Сила взаимодействия воды с лопастью турбины направлена перпендикулярна поверхности лопасти – вдоль оси y на рисунке. Следовательно, проекция импульса потока на ось x , направленную вдоль этой плоскости, сохраняется. Поскольку вода несжимаема, то скорость движения в каждой выделенной «трубке тока» не изменяется – изменяется только ее направление. Если бы весь поток повернул в одну сторону, и начал двигаться вдоль лопасти, то проекция скорости на эту ось бы увеличилась, что привело бы к нарушению закона сохранения импульса. Следовательно, выполнение требования сохранения проекции импульса потока на ось x возможно только при обтекании лопасти с двух сторон, как показано на рисунке.



Проекция импульса потока на ось y изменяется – вода не проходит через плоскость лопасти. Масса воды с постоянной плотностью ρ , попадающей на лопасть площадью S со скоростью v за время Δt , равна $\Delta m = \rho S \cdot \sin(\alpha) \cdot v \cdot \Delta t$, и сила, действующая на лопасть вдоль оси y , равна скорости изменения соответствующей проекции импульса потока:

$$F = \frac{\Delta m \cdot v}{\Delta t} \sin(\alpha) = \rho S \cdot v^2 \sin^2(\alpha).$$

Вращающий момент сил относительно оси турбины создает горизонтальная проекция этой силы $F_T = F \cdot \cos(\alpha) = \rho S \cdot v^2 \cdot \sin^2(\alpha) \cdot \cos(\alpha)$. Значит, этот момент пропорционален квадрату скорости и зависит от угла наклона лопасти как $\sin^2(\alpha) \cdot \cos(\alpha)$.

Эту функцию можно записать как $f(z) = z - z^3$, где $z \equiv \cos(\alpha)$. Ее максимум достигается при $f'_z = 1 - 3z^2 = 0 \Rightarrow z = \frac{1}{\sqrt{3}}$. Следовательно, оптимальный угол наклона в данной модели $\alpha_m = \arccos\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \approx 55^\circ$.