

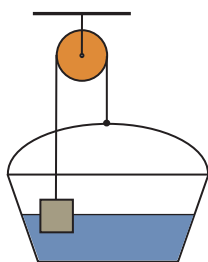


Олимпиада «Росатом» по физике

В течение 2012 – 2013 учебного года Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» проводил традиционную физико-математическую олимпиаду школьников «Росатом». Олимпиада проводилась в несколько туров в Москве и на 35 региональных площадках, расположенных в крупных образовательных центрах РФ (Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде, Самаре, Ростове-на-Дону и др.) или в городах размещения предприятий атомной отрасли (Сарове, Снежинске, Северске и др.). В олимпиаде принимали участие более 22 тысяч школьников. Ниже приводятся варианты заданий одного из туров олимпиады «Росатом» по физике для школьников 11 класса.

Задание олимпиады «Росатом»

1. К сосуду с жидкостью суммарной массой m прикреплена невесомая и нерастяжимая нить, переброшенная через блок. Ко второму концу нити прикреплено тело с массой $1,2m$, в положении равновесия частично погружённое в жидкость. На какую часть своего объёма тело погружено в жидкость? Плотность тела вдвое больше плотности жидкости.



2. Цилиндрический сосуд длиной l разделён на три части подвижными перегородками. В каждой отсеке содержится по одному молю гелия, водорода и кислорода. В некоторый момент времени левая перегородка становится прозрачной для гелия и водорода, правая – только для гелия. На

сколько переместится правая перегородка? Температуры газов не меняются в течение всего процесса.

He	H ₂	O ₂
----	----------------	----------------

3. Три металлические концентрические сферы имеют радиусы R , $2R$ и $4R$. Меньшую сферу заряжают зарядом Q , большую – зарядом $-3Q$, а среднюю заземляют с помощью длинного и тонкого проводника. Найти потенциал большей сферы. Ёмкостью проводника пренебречь.

4. На одном из островов Бермудского треугольника ускорение свободного падения отклонено на юг и составляет угол α с вертикалью. На каком расстоянии от туземца упадёт камень, брошенный вертикально вверх с начальной скоростью v_0 ? В каком направлении его следует бросить, чтобы он вернулся обратно? Вращение Земли не учитывать.

5. Воду нагревают кипятильником, подключённым к источнику



напряжения U . Электрическое сопротивление кипятильника линейно зависит от температуры:

$$R = R_0 + \alpha T,$$

где R_0 и α – постоянные. Масса воды равна m , а её удельная теплоёмкость – c . Начальная температура воды – T_0 , кипения – T_k . Через какое время вода закипит? Потерями тепла пренебречь.



Решения

1. На тело действуют: сила тяжести, сила натяжения нити и выталкивающая сила со стороны жидкости в сосуде, направленная вверх. На сосуд действуют: сила тяжести, сила натяжения нити и сила со стороны тела, равная по величине силе Архимеда. Поэтому условия равновесия для тела и сосуда дают

$$\begin{cases} T + F_A = 1,2mg, \\ T = mg + F_A, \end{cases}$$

где T и F_A – силы натяжения нити и Архимеда соответственно. Вычитая второе уравнение из первого, найдём силу Архимеда:

$$F_A = 0,1mg.$$



Поскольку масса тела равна $1,2m$, из закона Архимеда имеем:

$$F_A = \frac{0,1}{1,2} \rho_T V g,$$

где ρ_T и V – плотность и объём тела. С другой стороны, по закону Архимеда имеем:

$$F_A = \rho_{ж} g V_{п.ч.},$$

где $\rho_{ж}$ и $V_{п.ч.}$ – плотность и объём погруженной в жидкость части тела. Отсюда находим долю объёма тела, погружённую в жидкость:

$$\frac{V_{п.ч.}}{V} = \frac{0,1 \rho_T}{1,2 \rho_{ж}} = 0,25.$$

2. Перегородка будет находиться в равновесии, когда давление газа справа и слева от неё будет одинаковым. А поскольку в каждом отсеке содержится по одному молю газа, из закона Клапейрона – Менделеева для каждого отсека следует, что в начальном положении перегородки делят цилиндр на три равные части. После того как обе перегородки стали проницаемы для гелия, гелий распределится по всему сосуду с равной концентрацией и будет оказывать одинаковое парциальное давление независимо от положения перегородок. Поэтому при исследовании их равновесия гелий можно не учитывать. Водород распределится по среднему и левому отсекам с одинаковой концентрацией, поэтому левая перегородка может занять



любое положение, и для исследования равновесия правой перегородки её можно не рассматривать. Справа от правой перегородки находится один моль кислорода, слева – один моль водорода. Поэтому положением равновесия для этой перегородки будет середина сосуда, и, следовательно, её перемещение составит

$$\Delta x = \frac{l}{2} - \frac{l}{3} = \frac{l}{6}.$$



3. Поскольку средняя сфера заземлена, её потенциал равен нулю. С другой стороны, по принципу суперпозиции потенциал средней сферы равен

$$\varphi = \frac{kQ}{2R} + \frac{kx}{2R} + \frac{k(-3Q)}{4R},$$

где k – постоянная закона Кулона, x – заряд средней сферы. Приравняв этот потенциал к нулю, найдём заряд средней сферы x :

$$x = \frac{Q}{2}.$$

Теперь по принципу суперпозиции для потенциалов находим потенциал большей сферы:

$$\varphi = \frac{kQ}{4R} + \frac{k(Q/2)}{4R} + \frac{k(-3Q)}{4R} = -\frac{3kQ}{8R}.$$

4. Для простоты повернём вектор ускорения свободного падения \vec{g} вертикально вниз, а поверхность Земли наклоним. Тогда наша задача полностью эквивалентна задаче о

теле, брошенном на плоскости, наклонённой под углом α к горизонту, при условии, что вектор \vec{g} направлен вертикально вниз. Искомое расстояние от упавшего камня до точки бросания есть расстояние вдоль плоскости. Проецируя уравнения движения на ось x , направленную вдоль плоскости, и ось y , направленную перпендикулярно, получим:

$$\begin{cases} x(t) = \frac{g(\sin \alpha)t^2}{2}, \\ y(t) = v_0 t - \frac{g(\cos \alpha)t^2}{2}. \end{cases}$$

Время движения t_0 находим из условия $y(t_0) = 0$:

$$t_0 = \frac{2v_0}{g \cos \alpha}.$$

Подставляя его в уравнение для $x(t)$, найдём искомое расстояние:

$$l = \frac{2v_0^2 \sin \alpha}{g \cos^2 \alpha}.$$

Чтобы камень упал в ту же точку, его нужно бросить противоположно вектору \vec{g} , т. е. под углом α к вертикали.





5. Для малого интервала времени Δt в тот момент, когда температура воды равна T , имеем:

$$\frac{U^2 \Delta t}{R_0 + \alpha T} = cm \Delta T,$$

где ΔT – изменение температуры воды в течение рассматриваемого интервала времени. Отсюда находим:

$$U^2 \Delta t = cm(R_0 + \alpha T) \Delta T = cmR_0 \Delta T + c\alpha T \Delta T.$$

Аналогичные формулы можно написать для любых интервалов времени Δt . Складывая все эти формулы, получим:

$$U^2 t = cmR_0(T_K - T_0) + c\alpha \sum T \Delta T,$$

где t – время нагрева. Второй член суммы в правой части имеет такой же вид, как сумма, которой определяется работа силы упругости пружины при её удлинении от одного значения до другого. Пользуясь этими результатами, получаем:

$$U^2 t = cmR_0(T_K - T_0) + c\alpha \frac{(T_K^2 - T_0^2)}{2} = cm(T_K - T_0) \left(R_0 + \frac{\alpha(T_K + T_0)}{2} \right).$$

Отсюда

$$t = \frac{cm(T_K - T_0)}{U^2} \left(R_0 + \frac{\alpha(T_K + T_0)}{2} \right).$$

Материал к публикации подготовил С.Е. Муравьев.

Калейдоскоп Калейдоскоп Калейдоскоп

Всё решило обращение к истории

Выдающийся советский физик, академик Лев Андреевич Арцимович, выступая на различных совещаниях, отстаивал свою точку зрения, невзирая на лица и часто прибегая к юмору, иносказанию. Так, в воспоминаниях о нём академика Виталия Иосифовича Гольданского рассказывается, как Лев Андреевич, будучи членом Комитета по Ленинским и Государственным премиям, «завалил» премирование работ по сооружению Волго-Балтийского водного пути. «Он, – пишет Гольданский в статье “Живая легенда”, – сказал в своём выступлении, что работа эта, безусловно, выдающаяся и заслуживает самой высокой оценки, но в авторский коллектив должен быть введён ещё один человек. Посыпались просьбы конкретизировать, кого он имеет в виду. Лев Андреевич не замедлил ответить:

– Петра Алексеевича Романова.
 – Кто это такой? – продолжались вопросы.
 – Это – Пётр Первый, ведь канал-то впервые заработал при нём.»

