Экспериментальные задачи по физике

М.ЖУЖА, Е.ЖУЖА, Н.ЧЕРНАЯ

Как известно, некоторые простые опыты можно выполнять и в домашних условиях. Ниже приводятся несколько таких экспериментальных задач (с возможными решениями), которые были составлены для учащихся Центра дополнительного образования детей города Краснодара.

Задача 1. Карандаш

Оцените механическую работу, которую необходимо совершить для того, чтобы равномерно поднять плавающий в сосуде карандаш до уровня касания нижним его торцом поверхности воды. Считайте положение карандаша вертикальным. Плотность воды $\rho_0 = 1000$ кг/м^3.

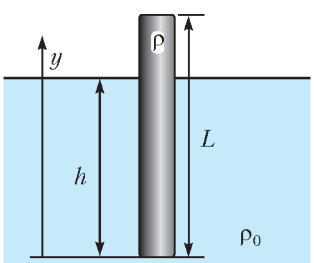

Рис. 1

Оборудование: круглый карандаш, почти полная бутылка с водой, линейка.

Решение. Опускаем карандаш в бутылку – он будет плавать, как поплавок (рис.1). Пусть L – длина всего карандаша, V – его объем, h – длина погруженной в воду части карандаша, V_1 – ее объем, S – площадь сечения и d – диаметр карандаша. Найдем среднюю плотность карандаша ρ из условия плавания тела:

$$\rho_0 gSh = \rho gSL, \text{ откуда } \rho = \rho_0 \frac{h}{L}.$$

Предположим, что мы с постоянной скоростью вытаскиваем карандаш из воды, используя динамометр. Когда карандаш свободно плавает, динамометр показывает ноль. Если же карандаш полностью вытащить из воды, то динамометр покажет силу, равную весу P карандаша:

$$F = P = mg = \rho gV = \rho_0 \frac{h}{L} gSL = \rho_0 hg \frac{\pi d^2}{4}.$$

Получается, что показания динамометра при вытаскивании карандаша из воды изменяются от 0 до P по линейному закону (рис.2). При этом механическая работа A будет равна площади выделенного треугольника:

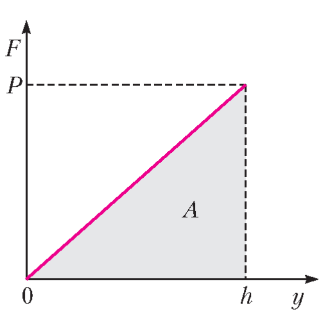

Рис. 2

$$A = \frac{1}{2} Ph = \frac{\rho_0 h^2 g\pi d^2}{8}.$$

Например, при $h = 13{,}4$ см и $d = 7{,}5$ мм работа составляет около 0,004 Дж.

Задача 2. Сплав

Определите процентное содержание (по массе) олова в оловянно-свинцовом припое. Предположите, что объемы свинца и олова в сплаве сохраняются. Плотность свинца $\rho_с = 11350$ кг/м^3, олова $\rho_о = 7300$ кг/м^3.

Оборудование: линейка, груз (гайка), цилиндрический кусок припоя, штангенциркуль или микрометр.

Решение. Эта задача аналогична задаче Архимеда по определению доли золота в царской короне. Однако для опытов оловянно-свинцовый припой достать проще, чем корону.

Измерив диаметр куска припоя D и его длину L, найдем объем цилиндрического куска припоя:

$$V = \frac{\pi D^2 L}{4}.$$

Массу припоя определим, изготовив рычажные весы. Для этого уравновесим линейку на краю стола (на карандаше, на стержне от шариковой ручки и т.п.). Затем, используя гайку известной массы, уравновесим кусок припоя на линейке и с помощью равенства моментов сил найдем массу припоя m. Запишем очевидные равенства для масс, объемов и плотностей свинца и олова:

$$m = m_с + m_о = \rho_с V_с + \rho_о V_о, \quad V = V_с + V_о.$$

Решая эти уравнения совместно, найдем объем олова, его массу и долю в общей массе:

$$V_о = \frac{\rho_с V - m}{\rho_с - \rho_о}, \quad m_о = \rho_о V_о, \quad \frac{m_о}{m} = \frac{\rho_о V_о}{m}.$$

Задача 3. Поверхностное натяжение

Определите коэффициент поверхностного натяжения воды.

Оборудование: тарелка, вода, ложка, линейка, кусок ровной алюминиевой проволоки длиной 15–20 см и плотностью 2700 кг/м^3, микрометр, спирт, вата.

Решение. Нальем почти полную тарелку воды. Положим на край тарелки проволоку так, чтобы один конец ее касался воды, а другой был за пределами тарелки. Проволока выполняет две функции: она является рычажными весами и аналогом проволочной рамки, которую обычно вытаскивают из воды для измерения поверхностного натяжения. В зависимости от уровня воды могут наблюдаться различные положения проволоки. Наиболее удобно для расчетов и измерений горизонтальное расположение проволоки при уровне воды на 1–1,5 мм ниже края тарелки (рис.3). С помощью ложки можно регулировать уровень, доливая или отливая воду. Проволоку следует выдвигать из тарелки до тех пор, пока пленка воды под проволокой не начнет разрываться. В этом крайнем положении пленка имеет высоту 1,5–2 мм, и можно сказать, что силы поверхностного натяжения, приложенные к проволоке, направлены практически вертикально вниз.

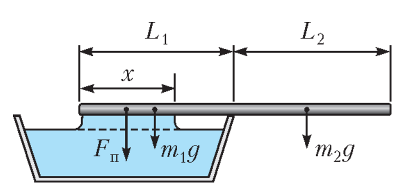

Рис. 3

Пусть m – масса проволоки, $L = L_1 + L_2$ – длина проволоки, m/L – масса единицы длины проволоки. Запишем условие равновесия проволоки относительно края тарелки, т.е. равенство моментов сил:

$$F_п \left(L_1 - \frac{x}{2} \right) + m_1 g \frac{L_1}{2} = m_2 g \frac{L_2}{2}.$$

Подставим сюда силу поверхностного натяжения $F_п = 2x\sigma$, массы: $m_1 = \frac{L_1 m}{L}$, $m_2 = \frac{L_2 m}{L}$, $m = \rho V = \frac{\rho\pi d^2 L}{4}$ и выразим коэффициент поверхностного натяжения σ. Измерения и вычисления упростятся, если вода будет смачивать всю длину L_1. Окончательно получим

$$\sigma = \frac{\rho\pi d^2 g}{8}\left(\left(\frac{L}{L_1}-1\right)^2-1\right).$$

Величины L и L_1 измеряются линейкой, а диаметр проволоки d – микрометром.

Например, при L = 15 см, $L_1 = 5{,}4$ см, d = 1,77 мм получаем $\sigma = 0{,}0703$ Н/м, что близко к табличному значению 0,0728 Н/м.

Задача 4. Влажность воздуха

Определите относительную влажность воздуха в комнате.

Оборудование: стеклянный комнатный термометр, бытовой холодильник, таблица давлений насыщенных паров воды при различных температурах.

Решение. При обычном методе измерения влажности объект охлаждают ниже точки росы и он «запотевает». Сделаем наоборот. Температура в холодильнике (около +5 °С) намного ниже точки росы для комнатного воздуха. Поэтому, если вытащить охлажденный стеклянный термометр из холодильника, то он сразу «запотеет» – стеклянный корпус станет непрозрачным от влаги. Затем термометр начнет нагреваться, и в какой-то момент сконденсировавшаяся влага на нем испарится – стекло станет прозрачны. Это и есть температура точки росы, по которой с помощью таблицы можно рассчитать относительную влажность.

Задача 5. Испарение

Налейте почти полный стакан воды и поставьте его в комнате в теплое место – для того чтобы вода быстрее испарялась. Измерьте линейкой начальный уровень воды и запишите время начала опыта. Через несколько дней уровень воды понизится за счет испарения. Измерьте новый уровень воды и запишите время окончания опыта. Определите массу испарившейся воды. Сколько в среднем молекул вылетало с поверхности воды за 1 секунду? Сколько приблизительно молекул находится на поверхности воды в стакане? Сравните эти два числа. Диаметр молекулы воды примите равным $d_0 = 0{,}3$ нм. Зная удельную теплоту парообразования, определите скорость передачи тепла (Дж/с) воде от окружающей среды.

Решение. Пусть d – внутренний диаметр стакана, ρ – плотность воды, М – молярная масса воды, r – удельная теплота парообразования, Δh – понижение уровня воды за время t. Тогда масса испарившейся воды равна

$$m = \rho V = \rho\Delta h S = \frac{\rho\Delta h\pi d^2}{4}.$$

В этой массе содержится $N = mN_{\text{A}}/\text{M}$ молекул, где N_{A} – постоянная Авогадро. Число испарившихся за 1 секунду молекул равно

$$N_1 = \frac{N}{t} = \frac{mN_{\text{A}}}{\text{M}t}.$$

Если $S = \pi d^2/4$ – площадь поверхности воды в стакане, а $S_0 = \pi d_0^2/4$ – площадь сечения одной молекулы, то на поверхности воды в стакане находится приблизительно

$$N_2 = \frac{S}{S_0} = \left(\frac{d}{d_0}\right)^2 \text{ молекул.}$$

Вода для испарения получает в единицу времени количество теплоты

$$\frac{Q}{t} = \frac{rm}{t}.$$

Если производить какие-либо расчеты, связанные с молекулами, то всегда получаются интересные результаты. Например, пусть за время t = 5 суток в стакане диаметром d = = 65 мм уровень воды понизился на $\Delta h = 1$ см. Тогда получим, что в пар превратилось 33 г воды, за 1 с испарилось $N_1 = 2{,}56 \cdot 10^{18}$ молекул, на поверхности воды в стакане находилось $N_2 = 4{,}69 \cdot 10^{16}$ молекул, а из окружающей среды поступило 0,19 Вт тепла. Интересным является отношение $N_1/N_2 \approx 54$, из которого видно, что за 1 с испарялось столько молекул, сколько помещалось в стакане в 54 слоях воды.

Задача 6. Растворение

Высыпая соль или сахар в кипящую воду, можно заметить, что кипение ненадолго прекращается за счет снижения температуры воды. Определите количество теплоты, необходимое для растворения 1 кг пищевой соды в воде комнатной температуры.

Оборудование: самодельный калориметр, термометр, вода, сода, мерный цилиндр (стакан), груз известной массы (гайка массой 10 г), пластиковая ложка.

Решение. В задачу входит дополнительное конструкторское задание по изготовлению простого самодельного калориметра. Для внутреннего сосуда калориметра следует взять обычную алюминиевую банку объемом 0,33 л. У банки удаляется верхняя крышка так, чтобы получился алюминиевый стакан (массой всего 12 г) с жестким верхним ободком. Внутри верхнего ободка делается прорезь для того, чтобы вода полностью выливалась из банки. Внешняя пластмассовая оболочка изготавливается на основе пластиковой бутылки объемом 1,5 л. Бутылка разрезается на три части, верхняя часть удаляется, а средняя и нижняя части с некоторым усилием вставляются друг в друга и плотно фиксируют внутреннюю алюминиевую банку в вертикальном положении. (Если нет калориметра, то опыты можно проводить и в одноразовом пластиковом стаканчике, массой и теплопередачей которого можно пренебречь.)

Предварительно следует сделать два измерения: 1) определить, сколько соды помещается в ложку (для этого надо заглянуть в кулинарный справочник или «вычерпать» этой ложкой пакет соды известной массы); 2) определиться с количеством воды – в малом количестве воды раствор сразу же станет насыщенным и часть соды не растворится, в большом количестве воды температура изменится на доли градуса, что затруднит измерения.

Очевидно, что количество теплоты, необходимое для растворения вещества, пропорционально массе этого вещества: $Q \sim m$. Для записи равенства следует ввести коэффициент пропорциональности, например z, который можно назвать «удельной теплотой растворения». Тогда

$$Q = zm.$$

Растворение соды осуществляется за счет энергии, выделяющейся при охлаждении сосуда с водой. Величина z находится из следующего уравнения теплового баланса:

$$m_{\text{в}}c_{\text{в}}(t_2 - t_1) + m_{\text{а}}c_{\text{а}}(t_2 - t_1) = zm,$$

где $m_{\text{в}}$ – масса воды в калориметре, $m_{\text{а}}$ – масса внутреннего алюминиевого стакана калориметра, m – масса растворенной соды, $(t_2 - t_1)$ – понижение температуры в калориметре. Массу внутреннего сосуда калориметра можно легко найти, используя правило моментов сил, уравновесив сосуд и груз известной массы при помощи линейки и ниток.

Измерения и расчеты показывают, что при m = 6 г и $m_{\text{в}} = 100$ г вода остывает на $2-2{,}5$ °С, а величина z оказывается равной 144–180 кДж/кг.