

## 11 класс

### Задача №1. Немокрая вода

Характеристики некоторых веществ могут показаться неожиданными в сравнении с другими веществами, часто встречающимися в нашей жизни. В данной работе Вам предлагается, используя весьма ограниченный набор оборудования, придумать методы и определить некоторые физические характеристики одного из таких веществ, которое часто называют «сухой водой». Учтите, что количество этого вещества ограничено и Вы должны тщательно продумывать свои действия, чтобы обойтись той порцией, что предоставлена в Ваше распоряжение. Дополнительная жидкость Вам выдаваться не будет! В целях её экономии рекомендуется при выполнении задания отливать небольшую часть в баночку с крышкой. Если в Вашем эксперименте жидкость оказалась в одном сосуде с водой, то обратите внимание на то, что обычная вода и «сухая вода» не смешиваются и разделены между собой. Для извлечения «сухой воды» из сосуда достаточно откачать ее с помощью шприца.

Чтобы Вы могли работать спокойно, сообщаем, что исследуемые жидкость и её пары не токсичны, она не горючая, не вступает в какие-либо химические реакции с водой и оборудованием. При этом она весьма летучая (быстро испаряется), её температура кипения ниже  $60^{\circ}\text{C}$ .

Примите атмосферное давление равным  $p_0 = 100$  кПа и ускорение свободного падения равным  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>.

### Задание

*Перед началом выполнения работы укажите номер пакета с оборудованием.*

*Обратите внимание, что оборудование указано к каждой части задачи отдельно. Использование оборудования из других частей запрещено.*

*Пенопластовые стаканчики в перечень оборудования не входят и нужны для хранения холодной и горячей воды.*

### Часть 1

**В данной части задачи требуется оценка погрешности только однократного измерения, проведение многократных измерений не требуется.**

1.1. Определите плотность жидкости при комнатной температуре (комнатную температуру запишите).

1.2. Определите коэффициент объемного теплового расширения жидкости в диапазоне температур приблизительно  $[20 - 40]^{\circ}\text{C}$ . Обратите внимание на то, что сосуд, в который помещается исследуемая жидкость, также изменяет свой

объем при изменении температуры. Считая, что плотность воды при изменении температуры от 20°C до 40°C уменьшается на  $\Delta\rho_v = 7,0 \text{ кг/м}^3$ , учтите влияние объемного расширения сосуда, в который будет помещена «сухая вода» во время опыта по измерению ее коэффициента объемного расширения.

Для получения результата достаточно использовать измерения при двух разных температурах.

*Примечание.* Коэффициент объемного теплового расширения  $\beta$  – физическая величина, характеризующая относительное изменение объема тела с увеличением температуры на 1 К при постоянном давлении:

$$\beta = \frac{\Delta V}{V\Delta T}, \quad (1)$$

где  $V$  – объём жидкости,  $\Delta V$  – приращение объёма жидкости при изменении температуры на малую величину  $\Delta T$ .

*Оборудование:* «Сухая вода» в бутылке, весы электронные, баночка с крышкой, термометр электронный, штатив с лапкой и муфтой, мерный цилиндр 250 мл, ведёрко для слива воды, горячая вода (по требованию), вода при комнатной температуре (по требованию), шприц 10 мл, шприц 1 мл, линейка 30 см, силиконовая трубка большого сечения, поднос, салфетки для поддержания чистоты на рабочем месте.

## Часть 2

**В данной части задачи требуется оценка погрешности только однократного измерения, проведение нескольких серий измерений не требуется.**

2.1. Определите динамическую вязкость  $\eta$  «сухой воды» при комнатной температуре. Для определения  $\eta$  можно воспользоваться исследованием объёмного расхода  $Q$  жидкости при течении её через цилиндрический канал. Объёмный расход при ламинарном течении описывается формулой Пуазейля (см. рис. 1):

$$Q = \frac{\pi D^4 (\Delta p + \rho gh)}{128\eta l}, \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр канала,  $\Delta p$  – разность давлений на концах канала,  $l$  – длина канала,  $Q$  – объёмный расход жидкости, измеряемый в  $\text{м}^3/\text{с}$ ,  $h$  – разность высот начала и конца канала,  $\rho$  – плотность жидкости.

Для получения результата снимите не менее 5 экспериментальных точек при разных объёмных расходах жидкости. Произведите графическую обработку измерений.

2.2. Переход от ламинарного течения к турбулентному определяется параметрами течения жидкости. Безразмерное число, характеризующее параметры

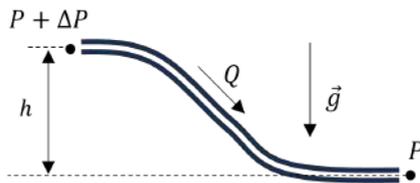


Рис. 1. Протекание жидкости по каналу.

движения, называется числом Рейнольдса и может быть рассчитано для течения жидкости через цилиндрический канал как:

$$\text{Re} = \frac{Q\rho}{D\eta}. \quad (3)$$

В выбранном Вами методе измерений для максимальной скорости течения проверьте, что число Рейнольдса не превышает критическое значение  $\text{Re}_{\text{кр}} = 200$ , то есть течение является ламинарным. Вычисления занесите в работу.

При необходимости измените параметры установки и проведите эксперимент (пункты 2.1 и 2.2) заново.

*Оборудование:* «Сухая вода» в бутылке, баночка с крышкой, штатив с лапкой и муфтой, секундомер, весы, шприц 1 мл, шприц 10 мл, линейка 30 см, силиконовая трубка малого сечения с штуцером (розовая игла), поднос, салфетки для поддержания чистоты на рабочем месте.

Обратите внимание, что в крышке банки есть отверстие, в которое может быть вставлен конец силиконовой трубки.

### Часть 3

**В данной части задачи требуется оценить как погрешность однократного измерения, так и случайную погрешность. Проведите не менее трех измерений требуемой величины.**

3. Определите молярную массу «сухой воды».

*Оборудование:* «Сухая вода» в бутылке, баночка с крышкой, штатив с лапкой и муфтой, шприц 1 мл, шприц 50 мл, резиновая пробочка для носика шприца 50 мл, мерный цилиндр 250 мл, ведёрко для слива воды, горячая вода (по требованию), вода при комнатной температуре (по требованию), термометр электронный, весы электронные, поднос, салфетки для поддержания чистоты на рабочем месте.

*Примечание.* Резиновая пробочка предназначена для герметизации внутреннего объёма шприца, надевается на носик шприца. При небольшой разнице дав-

лений она может быть проткнута иглой шприца 1 мл и после извлечения иглы сохранять герметичность.

## Часть 4

**В данной части задачи требуется оценка погрешности только однократного измерения, проведение многократных измерений не требуется.**

Связь давления насыщенного пара с абсолютной температурой описывается уравнением Клапейрона–Клаузиуса. При предположениях о независимости удельной теплоты парообразования  $L$  от температуры и о малости плотности пара по сравнению с плотностью жидкости уравнение принимает вид:

$$\ln \frac{p_{n1}}{p_{n2}} = -\frac{L\mu}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right), \quad (4)$$

где  $p_{n1}$  и  $p_{n2}$  – давления насыщенного пара при температурах  $T_1$  и  $T_2$  соответственно,  $\mu$  – молярная масса жидкости,  $R$  – универсальная газовая постоянная.

4. Вычислите значение  $L$  для «сухой воды». Для этого определите две точки зависимости давления насыщенного пара «сухой воды» от температуры. Выберите точки, позволяющие вычислить  $L$  с максимальной точностью.

*Оборудование:* «Сухая вода» в бутылке, баночка с крышкой, штатив с лапкой и муфтой, шприц 1 мл, шприц 50 мл, резиновая пробочка для носика шприца 50 мл, мерный цилиндр 250 мл, ведёрко для слива воды, горячая вода (по требованию), вода при комнатной температуре (по требованию), термометр электронный, поднос, салфетки для поддержания чистоты на рабочем месте.

## Часть 5

**В данной части задачи требуется оценить как погрешность однократного измерения, так и случайную погрешность. Проведите не менее трех измерений требуемой величины.**

5. Определите показатель преломления  $n$  жидкости.

*Оборудование:* «Сухая вода» в бутылке, баночка с крышкой, кювета пластиковая, линейка деревянная 50 см, линейка пластмассовая 30 см, лист бумаги А4, штатив с лапкой и муфтой, салфетки для поддержания чистоты на рабочем месте.