

## Условие

### Задание 1. Измерение малой теплоемкости.

**Приборы и оборудование:** Стакан с крышкой, термометр, сосуд с холодной водой, вода горячая, секундомер, мензурка, металлическое тело на нитке.

Измерение малых теплоемкостей является сложной задачей. При погружении тела с небольшой теплоемкостью  $C_0$  в сосуд с водой температура воды изменяется незначительно, кроме того, оказываются существенными потери в окружающую среду.

В данной работе вам предлагается необычная методика измерения теплоемкости небольшого тела, внимательно разберитесь с теоретическим описанием этой методики (мы вам поможем!).

#### Часть 1. Изучение тепловых потерь в окружающую среду.

1.1 Измерьте температуру воздуха в комнате  $t_0$ .

1.2 В центре крышки стакана проделайте небольшое отверстие для термометра, так чтобы он устойчиво стоял в стакане. Проделайте также в крышке отверстие для опускания исследуемого тела (для второй части работы). Залейте в стакан 200 г горячей воды (ее температура должна быть около  $50^\circ\text{C}$ ), закройте крышку, вставьте термометр. Измерьте зависимость температуры воды в стакане от времени.

Теоретические подсказки. Мощность тепловых потерь в окружающую среду пропорциональна разности температур воды  $t$  и окружающего воздуха  $t_0$ . Поэтому уравнение теплового баланса за малый промежуток времени<sup>1</sup>  $\Delta\tau$  имеет вид

$$c_1 m_1 \Delta t = -\gamma(t - t_0) \Delta\tau, \quad (1)$$

где  $\Delta t$  - изменение температуры воды за этот промежуток времени,  $c_1 = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$  - удельная теплоемкость воды,  $m_1$  - ее масса,  $\gamma$  - постоянный коэффициент теплоотдачи. Решением уравнения (1) является функция

$$(t - t_0) = (t_n - t_0) \exp\left(-\frac{\gamma}{c_1 m_1} \tau\right), \quad (2)$$

где  $t_n$  - начальная температура воды в стакане,  $\exp(x) = e^x$  - функция экспонента.

1.3 Используя полученные экспериментальные данные, докажите применимость формулы (2) в данном случае. Рассчитайте значение коэффициента теплоотдачи  $\gamma$  (не забудьте о погрешности!)

#### Часть 2. Теплоемкость тела.

Основная идея метода заключается в том, что тело опускают в горячую воду неоднократно, каждый раз охлаждая его до комнатной температуры, поэтому вода в стакане остывает быстрее.

Теоретические подсказки.

<sup>1</sup> Чтобы не путать с температурами, время обозначаем символом  $\tau$

Пусть тело, имеющее теплоемкость  $C_0$  и находящееся при температуре  $t_0$  опускают в сосуд с водой, находящейся при температуре  $t$ . Пренебрегая теплоемкостью сосуда и тепловыми потерями в окружающую среду, покажите, что количество теплоты, отданное водой пропорционально разности начальных температур воды и тела

$$Q = \beta(t - t_0) \quad (3)$$

Выразите коэффициент пропорциональности  $\beta$  через теплоемкость тела, удельную теплоемкость и массу воды в стакане.

Пусть охлажденное каждый раз тело опускают в сосуд через относительно небольшой промежуток времени  $\delta\tau$ . В этом случае можно считать, что средняя мощность теплоты, передаваемого телу равна

$$P = \frac{Q}{\delta\tau} = \frac{\beta(t - t_0)}{\delta\tau}. \quad (4)$$

Тогда уравнение теплового баланса (1) приобретет вид

$$c_1 m_1 \Delta t = -\gamma(t - t_0)\Delta\tau - \frac{\beta(t - t_0)}{\delta\tau}\Delta\tau, \quad (5)$$

Иными словами, мы считаем, что теплота переходит от воды к телу непрерывно и постоянно. По аналогии с формулой (2) запишите решение уравнения (5).

**2.1** Проведите измерения зависимости температуры воды в стакане, при неоднократном опускании охлажденного тела в стакан.

Рекомендуем следующую методику измерений: Залейте в стакан с крышкой и термометром горячую воду. Опустите в стакан охлажденное до комнатной температуры исследуемое тело, через 30 секунд извлеките его и поместите на следующих 30 секунд в холодную воду, находящуюся при комнатной температуре. После этого опять опустите охлажденное тело в сосуд горячей водой на 30 секунд, затем на 30 секунд в холодную воду и так далее... При этом фиксируйте времена при которых температура воды уменьшается на 1 градус. Будьте внимательны: вам необходимо следить за временами перемещения тела из сосуда в сосуд и за временем остывания воды. При таких измерениях промежуток времени  $\delta\tau$ , фигурирующий в формуле (4), оказывается равным  $\delta\tau = 60$  с.

**2.2** Используя полученные экспериментальные данные, проверьте применимость решения уравнения (5) в описанном эксперименте.

**2.3** Рассчитайте значение теплоемкости исследуемого тела.