

**Занятия 2-го полугодия по экспериментальной физике
в 8-м классе Олимпиадной школы МФТИ
(преподаватель к.ф.-м.н., доцент А. Лукьянов)**

Занятия 4-й и 5-й недель (17-я и 18-я недели учебного года)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ ВОДЫ

Цель работы: Изучение процессов нагрева и закипания жидкости. Измерение температуры в ходе процесса. Изучение уравнения теплового баланса. Расчет погрешностей измерений.

Оборудование: Электрочайник, термометр измеряющий температуру в диапазоне от 0°C до 100°C, мерная кружка объемом 1 л, вода из водопровода.

Задание: Экспериментально определить удельную теплоемкость воды (воспроизвести табличное значение $c = c_{\text{уд. воды}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг К})$). Обсудить возможное расхождение полученного в опыте значения с известным из литературы. Сделать оценку погрешности измерений. Убедиться, что после закипания температура воды перестает расти выше 100°C.

Решение: Для определения удельной теплоемкости нужно определить время τ нагревания известной массы воды m от температуры t_1 до t_2 в чайнике с известной мощностью P (указанной на чайнике). Далее нужно воспользоваться уравнением теплового баланса

$$P\tau = cm(t_2 - t_1) + C_{\text{ч}}(t_2 - t_1), \quad (1)$$

где $C_{\text{ч}}$ – **неизвестная** теплоемкость чайника.

Затруднение: в **одном** уравнении (1) – **два неизвестных** (c , удельная теплоемкость воды, и $C_{\text{ч}}$, теплоемкость чайника).

Экспериментально эту трудность можно обойти следующим образом: *провести два опыта* – например, для *разных* масс воды (m_1 и m_2) с *разными* начальной и конечной температурами (чтобы были два *различных* приращения температуры Δt_1 и Δt_2). При этом в экспериментах получатся и два *разных* времени нагрева (τ_1 и τ_2). Таким образом, получают **два уравнения с двумя неизвестными:**

$$P\tau_1 = m_1 \cdot c \cdot \Delta t_1 + C_{\text{ч}} \cdot \Delta t_1, \quad (2a)$$

$$P\tau_2 = m_2 \cdot c \cdot \Delta t_2 + C_{\text{ч}} \cdot \Delta t_2. \quad (2б)$$

Массы воды лучше брать сильно отличающимися друг от друга, либо брать в двух экспериментах сильно различающиеся начальные температуры воды.

Вывести **расчетные формулы**

$$c = \frac{P \left(\frac{\tau_2}{\Delta t_2} - \frac{\tau_1}{\Delta t_1} \right)}{m_2 - m_1} \quad (3)$$

$$C_{\text{ч}} = \frac{P \left(\frac{\tau_1}{m_1 \cdot \Delta t_1} - \frac{\tau_2}{m_2 \cdot \Delta t_2} \right)}{\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_2}}. \quad (4)$$

Вопросы для обсуждения.

1. Указать причины, по которым найденное в эксперименте значение удельной теплоемкости воды не совпадает с табличным значением ($c_{\text{уд. воды}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг К})$).

2. На дне электрочайника можно найти интервал возможных значений его мощности. С чем может быть связан этот разброс?

3. Произвести оценку погрешности измерений с учетом различных источников ошибок. Какова суммарная относительная погрешность измерения?
4. Согласуется ли с учетом погрешностей найденное в эксперименте значение $c_{\text{уд. воды}}$ с табличным?
5. Существенно ли влияет на ответ учет конечной теплоемкости чайника? Сравнить теплоемкость чайника с теплоемкостью бывших у Вас в опытах теплоемкостей масс воды.
6. Предположим, что Вы забыли учесть в уравнении теплового баланса конечную теплоемкость чайника. Какими бы получились два значения $c_{\text{уд. воды}}$ в двух Ваших опытах?
7. Учитывая большой разброс в данных о мощности электрочайника, обратитесь к задаче: по известной удельной теплоемкости воды найти мощность чайника.

Задачи для закрепления материала

1. Двухлитровый алюминиевый чайник налили доверху водой при температуре $t = 20$ °С и поставили на электроплитку с КПД = 30 %. Мощность плитки $N = 5$ кВт, масса чайника $M = 500$ г. Через какое время масса воды в чайнике уменьшится на $\Delta m = 100$ г?
Ответ: 6 мин 23 с
2. Для нахождения удельной теплоемкости воды определяли время, необходимое на образование льда в комнатном холодильнике. В одном из опытов получили, что для охлаждения воды, взятой при температуре $t_1 = 4$ °С, до температуры 0 °С потребовалось $\tau_1 = 5$ мин. Еще $\tau_2 = 107,5$ мин потребовалось для превращения охлажденной воды в лед с температурой $t_2 = -12$ °С. Считая теплоотвод холодильника постоянным, найти удельную теплоемкость воды. **Ответ: 4180 Дж/(кг К)**
3. Два одинаковых сосуда содержат воду: один $m_1 = 0,1$ кг при $t_1 = 45$ °С, другой – $m_2 = 0,5$ кг при $t_1 = 24$ °С. В сосуды бросают одинаковые куски неизвестного металла с неизвестной же начальной температурой. После установления теплового равновесия в обоих сосудах температура оказалась одинаковой и равной $t = 17$ °С. Найти теплоемкость C_0 сосудов. **Ответ: 140 Дж/К.**