

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №16

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ ПАРООБРАЗОВАНИЯ ВОДЫ И ПЛАВЛЕНИЯ ЛЬДА

Поляков Даниил, Б23-ФЗ

Цель работы: экспериментально определить удельную теплоту парообразования воды и удельную теплоту плавления льда.

Оборудование:



- 1) Парогенератор;
- 2) Сосуд Дьюара (калориметр);
- 3) Силиконовая трубка;
- 4) Сепаратор (водоотделитель);
- 5) Термопара, подключенная к цифровому термометру;
- 6) Цифровой термометр ($\Delta\theta = 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- 7) Зажимы;
- 8) Штатив;
- 9) Весы со скользящим разновесом ($\Delta m = 0.1\text{ г}$).

Расчётные формулы

- Удельная теплота парообразования воды:

$$L = c_1 \cdot \left(\frac{m_1 + m_k}{m_2} (\theta - \theta_1) - (100^\circ \text{C} - \theta) \right)$$

c_1 – удельная теплоёмкость воды;
 m_1 – начальная масса воды в калориметре;
 m_2 – масса сконденсировавшегося пара;
 m_k – водяной эквивалент калориметра;
 θ_1 – начальная температуры воды;
 θ – установившаяся температура воды.

- Удельная теплота плавления льда:

$$\lambda = c_1 \cdot \frac{M_1 + m_k}{M_2} (\Theta_1 - \Theta) - c_1 \Theta + c_2 \Theta_2$$

c_1 – удельная теплоёмкость воды;
 c_2 – удельная теплоёмкость льда;
 M_1 – начальная масса воды в калориметре;
 M_2 – масса погруженного льда;
 m_k – водяной эквивалент калориметра;
 Θ_1 – начальная температуры воды;
 Θ_2 – температура погруженного льда;
 Θ – установившаяся температура воды.

- Формулы для вычисления погрешностей:

- Абсолютная погрешность косвенных измерений:

$$\Delta f(x_1, x_2, \dots) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot \Delta x_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot \Delta x_2 \right)^2 + \dots}$$

$$\begin{aligned} \Delta L &= \sqrt{\left(\frac{\partial L}{\partial m_1} \cdot \Delta m_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial m_2} \cdot \Delta m_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial \theta_1} \cdot \Delta \theta_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial \theta} \cdot \Delta \theta \right)^2} = \\ &= \frac{c_1}{m_2} \sqrt{\left((\theta - \theta_1) \cdot \Delta m_1 \right)^2 + \left(\frac{m_1 + m_k}{m_2} (\theta - \theta_1) \cdot \Delta m_2 \right)^2 + \left((m_1 + m_k) \cdot \Delta \theta_1 \right)^2 + \left((m_1 + m_k + m_2) \cdot \Delta \theta \right)^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta \lambda &= \sqrt{\left(\frac{\partial \lambda}{\partial M_1} \cdot \Delta M_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial M_2} \cdot \Delta M_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial \Theta_1} \cdot \Delta \Theta_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial \Theta_2} \cdot \Delta \Theta_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial \Theta} \cdot \Delta \Theta \right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(c_1 \frac{\Theta_1 - \Theta}{M_2} \cdot \Delta M_1 \right)^2 + \left(c_1 \frac{M_1 + m_k}{M_2^2} (\Theta_1 - \Theta) \cdot \Delta M_2 \right)^2 + \left(c_1 \frac{M_1 + m_k}{M_2} \cdot \Delta \Theta_1 \right)^2 + (c_2 \cdot \Delta \Theta_2)^2 + \left(c_1 \left(\frac{M_1 + m_k}{M_2} + 1 \right) \cdot \Delta \Theta \right)^2} \end{aligned}$$

Порядок измерений

1. Измерим массу пустого сосуда Дьюара m_0 на весах.
2. Будем наливать воду в сосуд до тех пор, пока его масса не увеличится примерно на 150 г. Измерим общую массу сосуда и воды в нём, отнимем от результата массу сосуда и найдём отдельную массу воды m_1 . Измерим температуру воды θ_1 .
3. Опустим трубку, из которой поступает пар, в калориметр. Вынем трубку после того, как масса сосуда с водой увеличится примерно на 20 г. Сразу измерим конечную температуру воды θ . Измерим общую массу сосуда и воды в нём, отнимем от неё массу сосуда и первоначальную массу воды и найдём массу сконденсировавшегося пара m_2 .
4. Перед погружением льда в сосуд Дьюара снова измерим массу воды в сосуде M_1 (как разность полной массы и массы пустого сосуда) и её температуру Θ_1 . Погрузим кусок льда в воду и измерим массу льда M_2 как изменение массы сосуда. После того, как лёд растает, перемешаем содержимое калориметра и измерим конечную температуру воды Θ в нём.

Таблицы и обработка данных

Известные параметры:

- Водяной эквивалент калориметра в нашей установке $m_k = 20$ г;
- Удельная теплоёмкость воды $c_1 = 4180.6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$;
- Удельная теплоёмкость льда $c_2 = 2110 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.

В результате взвешивания найдена масса пустого сосуда Дьюара $m_0 = 235.1 \pm 0.1$ г.

Погрешность измерения массы и температуры примем равной соответственно цене деления весов и термометра: $\Delta m = 0.1$ г, $\Delta \theta = 0.1$ °C.

1. Определение удельной теплоты парообразования воды.

Таблица 1. Результаты смешивания пара с водой

$m_1, \text{г}$	$m_2, \text{г}$	$\theta_1, ^\circ\text{C}$	$\theta, ^\circ\text{C}$
151.0	20.0	20.1	82.2

$$L = 2145 \pm 12 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

2. Определение удельной теплоты плавления льда.

Будем считать температуру льда Θ_2 равной температуре в морозильнике, в котором он был получен, т.е. $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Погрешность этой величины выберем с учётом возможного таяния льда в течение некоторого времени вне морозильника.

Таблица 2. Результаты смешивания льда с водой

$M_1, \text{г}$	$M_2, \text{г}$	$\Theta_1, ^{\circ}\text{C}$	$\Theta_2, ^{\circ}\text{C}$	$\Theta, ^{\circ}\text{C}$
169.4	21.8	76.0	-16 ± 4	59.1

$$\lambda = 333 \pm 10 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Выводы

В работе получены следующие результаты:

- Удельная теплота парообразования воды: $L = 2145 \pm 12 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

Полученное значение не совпадает с табличным в пределах погрешности $\left(2260 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}\right)$. Тем не менее, оно достаточно близко. Возможные факторы, повлиявшие на погрешность эксперимента:

- Часть теплоты покидала сосуд во время процесса смешивания пара с водой (калориметр не был закрыт крышкой);
 - Неидеальная сухость пара: в калориметр по трубке могли попасть капельки воды, что уменьшает теплоту, получаемую водой, и, соответственно, понижает измеренную теплоту парообразования;
 - Не учитывалась зависимость температуры парообразования от атмосферного давления и удельной теплоёмкости воды от температуры.
- Удельная теплота плавления льда: $\lambda = 333 \pm 10 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

Полученное значение совпадает с табличным в пределах погрешности $\left(330 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}\right)$. Возможные факторы, повлиявшие на погрешность эксперимента:

- Лёд пролежал некоторое время вне морозильника, и его температура увеличилась по сравнению с температурой морозильника;
- Часть теплоты покидала сосуд во время процесса смешивания пара с водой (калориметр не был закрыт крышкой);
- Не учитывалась зависимость температуры плавления льда от атмосферного давления и удельной теплоёмкости воды от температуры.