

Определение удельной теплоты плавления льда



Удельная теплота плавления твердого тела – это количество теплоты, необходимое для плавления 1 кг вещества при постоянной температуре плавления (для льда $0\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Теоретическая часть: термодинамические процессы

1. **Нагрев льда** от $t_{\text{л}} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:

- Требуется теплота: $Q_1 = c_{\text{л}} \cdot m_{\text{л}} \cdot (0 - t_{\text{л}})$,
где $c_{\text{л}} = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$ — удельная теплоёмкость льда.

2. **Плавление льда** при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:

- Требуется теплота: $Q_2 = \lambda \cdot m_{\text{л}}$,
где λ — удельная теплота плавления льда (искомое значение).

3. **Нагрев растаявшей воды** от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до конечной температуры $t = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$:

- Требуется теплота: $Q_3 = c_{\text{воды}} \cdot m_{\text{л}} \cdot (t - 0)$,
где $c_{\text{воды}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$.

4. **Охлаждение воды и калориметра** от $t_{\text{в}} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$:

- Отданная теплота: $Q_4 = (c_{\text{воды}} \cdot m_{\text{воды}} + c_{\text{к}} \cdot m_{\text{к}}) \cdot (t_{\text{в}} - t)$.

Уравнение теплового баланса (вся отданная теплота равна поглощённой):

$$Q_4 = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Пример расчета

Дано:

- Масса калориметра: $m_k = 0.2$ кг
- Теплоёмкость калориметра: $c_k = 100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
- Объем воды: $V = 3$ л \rightarrow масса $m_{\text{воды}} = 3$ кг
- Начальная температура воды: $t_{\text{в}} = 50$ °C
- Масса льда: $m_{\text{л}} = 0.768$ кг
- Температура льда: $t_{\text{л}} = -10$ °C
- Конечная температура: $t = 22$ °C

Шаг 1: Рассчитаем Q_4 (теплота от воды и калориметра)

$$Q_4 = (4200 \cdot 3 + 100 \cdot 0.2) \cdot (50 - 22) = (12\,600 + 20) \cdot 28 = 353\,360 \text{ Дж}$$

Шаг 2: Рассчитаем Q_1 (нагрев льда до 0°C)

$$Q_1 = 2100 \cdot 0.768 \cdot 10 = 16\,128 \text{ Дж}$$

Шаг 3: Рассчитаем Q_3 (нагрев растаявшей воды до 22°C)

$$Q_3 = 4200 \cdot 0.768 \cdot 22 = 70\,963.2 \text{ Дж}$$

Шаг 4: Найдём λ (теплота плавления льда)

Из уравнения баланса:

$$353\,360 = 16\,128 + \lambda \cdot 0.768 + 70\,963.2$$

$$\lambda \cdot 0.768 = 353\,360 - 16\,128 - 70\,963.2 = 266\,268.8$$

$$\lambda = \frac{266\,268.8}{0.768} \approx 346\,704 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Сравнение с табличным значением:

Табличная удельная теплота плавления льда: $\lambda_{\text{табл}} = 334\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Погрешность:

$$\delta = \left| \frac{346\,704 - 334\,000}{334\,000} \right| \times 100\% \approx 3.8\%$$

Дополнительные расчеты

Время процесса $t = 175$ с

1. Скорость теплообмена (тепловая мощность)

Формула:

$$P = \frac{Q_{\text{поглощённая}}}{t}$$

Расчёт:

Суммарная теплота, поглощённая льдом (из предыдущих расчётов):

$$Q_{\text{поглощённая}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 16\,128 + 266\,268.8 + 70\,963.2 = 353\,360 \text{ Дж}$$

Скорость теплообмена:

$$P = \frac{353\,360}{175} \approx 2019 \text{ Вт}$$

Интерпретация:

Мощность нагревателя или скорость передачи тепла от воды ко льду составила ~ 2 кВт. Это полезно для оценки эффективности системы.

2. Средняя скорость плавления льда

Формула:

$$v_{\text{плавления}} = \frac{m_{\text{льда}}}{t}$$

Расчёт:

$$v_{\text{плавления}} = \frac{0.768}{175} \approx 0.0044 \text{ кг/с} \quad (4.4 \text{ г/с})$$



Интерпретация:

Лед таял со скоростью ~ 4.4 грамма в секунду. Это помогает понять динамику процесса.

3. Проверка на соответствие закону сохранения энергии

Можно уточнить, сколько тепла **фактически передавалось** за время эксперимента, если известна мощность нагревателя (например, если калориметр подключён к источнику с известной мощностью).

Пример:

Если мощность нагревателя была 2.5 кВт, а расчётная мощность теплообмена — 2 кВт, то:

$$\text{КПД} = \frac{2019}{2500} \times 100\% \approx 80.8\%$$



(Часть энергии теряется на нагрев окружающей среды.)

4. Теплопроводность системы

Если известны геометрические параметры (площадь контакта льда и воды, толщина стенок калориметра), можно оценить **коэффициент теплопередачи** k :

$$k = \frac{P}{A \cdot \Delta T_{\text{средн}}}$$

где:

- A — площадь контакта,
- $\Delta T_{\text{средн}}$ — средняя разница температур между водой и льдом (например, $\frac{50+22}{2} - (-10) = 36$ °C).

Итоговые значения для ваших данных:

1. **Скорость теплообмена:** ≈ 2019 Вт.

2. **Скорость плавления льда:** ≈ 4.4 г/с.

3. Рекомендации:

- Для уменьшения погрешности можно сократить время эксперимента (увеличив мощность нагрева).
- Учесть теплотери через стенки калориметра, если они значительны.