

Графический способ решения одной физической задачи

Д.БЕШИМБАЙ, О.КОНАКБАЕВ

В ДЕВЯТОМ НОМЕРЕ ЖУРНАЛА «КВАНТ» ЗА 1987 ГОД В разделе «Задачник «Кванта» была опубликована задача Ф1075. Вот ее условие:

Выполняя лабораторную работу, студент опустил в сосуд с водой кипятильник, включил его в сеть и стал каждые три минуты записывать температуру. Данные этого опыта приведены в таблице 1. Затем он охладил воду, положил в сосуд небольшой металлический образец и вновь провел измерения. Результаты этого опыта приведены в таблице 2. Определите по этим данным теплоемкость образца. Напряжение в сети $U = 35\text{В}$, ток через кипятильник $I = 0,2\text{А}$, температура в комнате $t_0 = 20^\circ\text{С}$.

Таблица 1

| | | | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $t, ^\circ\text{С}$ | 25,2 | 26,4 | 27,6 | 28,7 | 29,7 | 30,6 | 31,5 | 32,3 | 33,1 |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|

Таблица 2

| | | | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $t, ^\circ\text{С}$ | 22,6 | 23,8 | 25,0 | 26,0 | 27,0 | 28,0 | 28,9 | 29,8 | 30,6 |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|

А в первом номере журнала за 1988 год можно ознакомиться с решением этой задачи, выполненным аналитическим

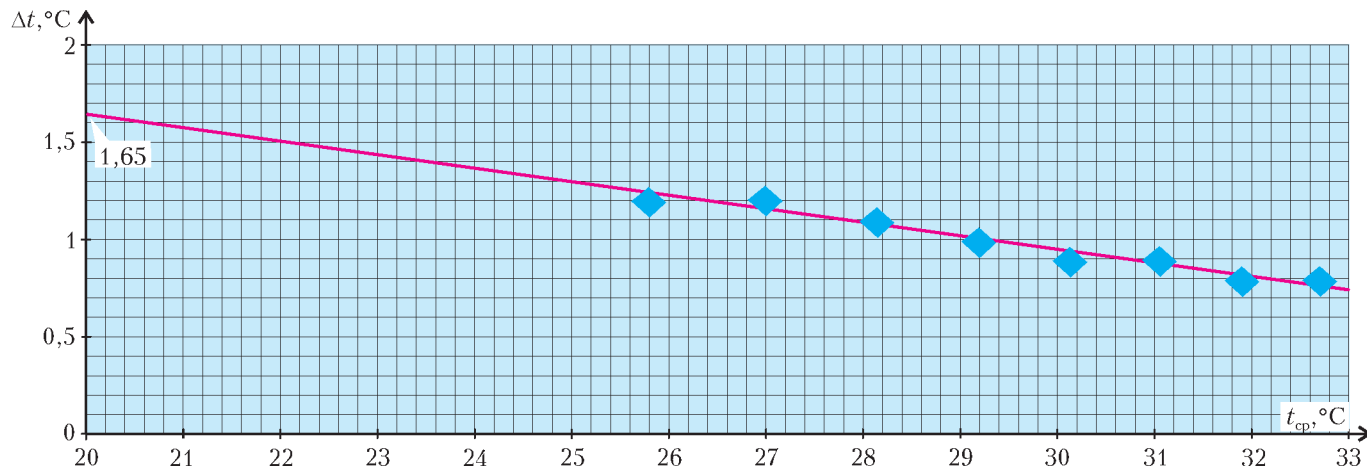


Рис. 1

способом. С помощью уравнения теплового баланса по данным таблицы 1 находится теплоемкость сосуда с водой, по данным таблицы 2 находится теплоемкость сосуда с водой и образцом и по разности этих теплоемкостей определяется теплоемкость образца. В конце решения автор предупрежда-

ет читателей о том, что при расчетах допустим довольно значительный разброс результатов. Действительно, выбирая множество пар различных значений температуры, для теплоемкостей можно получить неожиданные результаты с большими разбросами.

Мы предлагаем графический способ решения данной задачи, который помогает наглядно и более точно определить значения теплоемкостей сосуда с водой и сосуда с водой и образцом.

Будем считать, что температура воды увеличивается неравномерно за счет усиления теплоотдачи с ростом температуры. Чтобы учесть влияние теплоотдачи, проследим, как меняется приращение Δt температуры воды за каждые $\Delta\tau = 3$ мин работы нагревателя в зависимости от температуры воды, причем температуру будем считать как среднюю между ее значениями в начале и в конце каждого интервала времени. Построим на основе этого наблюдения следующую таблицу:

Таблица 3

| | | | | | | | | |
|---------------------------------|------|-----|-------|------|-------|-------|------|------|
| $t_{\text{ср}}, ^\circ\text{С}$ | 25,8 | 27 | 28,15 | 29,2 | 30,15 | 31,05 | 31,9 | 32,7 |
| $\Delta t, ^\circ\text{С}$ | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,8 |

По точкам этой таблицы построим график зависимости Δt от $t_{\text{ср}}$ (рис.1). Как видно из графика, все точки хорошо ложатся на прямую, пересекающую ординату в точке $\Delta t = 1,65^\circ\text{С}$. Эта точка соответствует температуре воды $t = 20^\circ\text{С}$, равной температуре в комнате. Это означает, что при этих условиях теплоотдача воды в окружающую среду отсутствует. Тогда уравнение теплового баланса примет вид

$$IU\Delta\tau = C_{\text{в}}\Delta t.$$

Отсюда находим теплоемкость сосуда с водой:

$$C_{\text{в}} = \frac{IU\Delta\tau}{\Delta t} = \frac{0,2 \text{ А} \cdot 35 \text{ В} \cdot 180 \text{ с}}{1,65 \text{ К}} \approx 764 \text{ Дж/К}.$$

Аналогичные наблюдения проведем по отношению к сосу-

ду с водой и металлическим образцом. На основе опыта получим следующую таблицу:

Таблица 4

| | | | | | | | | |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| $t_{\text{ср}}, ^\circ\text{С}$ | 23,2 | 24,4 | 25,5 | 26,5 | 27,5 | 28,45 | 29,35 | 30,2 |
| $\Delta t, ^\circ\text{С}$ | 1,2 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,8 |

Авторы этой статьи Дастан Бешимбай и Олжас Конакбаев – ученики Интеллектуальной школы физико-математического направления города Семей (Республика Казахстан). (Прим. ред.)

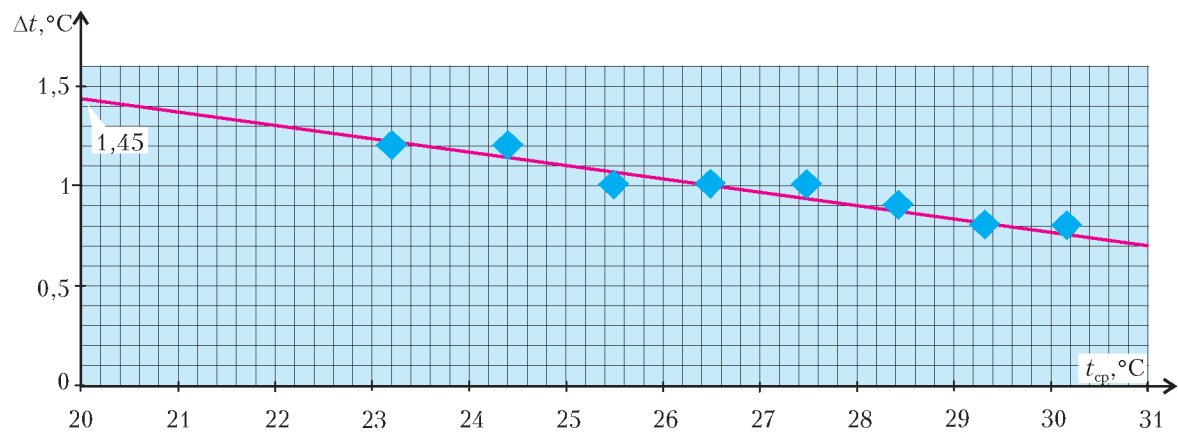


Рис. 2

Теперь построим соответствующий график зависимости Δt от t_{cp} (рис.2). Из графика видно, что при абсциссе $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ордината равна $\Delta t = 1,45\text{ }^\circ\text{C}$. Запишем уравнение теплового баланса в виде

$$IU\Delta\tau = (C_b + C_{об})\Delta t,$$

откуда найдем искомую теплоемкость образца:

$$C_{об} = \frac{IU\Delta\tau}{\Delta t} - C_b = \frac{0,2\text{ A} \cdot 35\text{ V} \cdot 180\text{ c}}{1,45\text{ K}} - 764\text{ Дж/К} \approx 105\text{ Дж/К}.$$

Из графика, приведенного на рисунке 1, хорошо видно, что прямая, характеризующая зависимость между средней

температурой сосуда с водой и приращением их температуры, может пересекаться с абсциссой. Эта точка пересечения для сосуда с водой соответствует температуре $t_{cp} \approx 49,6\text{ }^\circ\text{C}$ (попытайтесь найти это значение самостоятельно). Известно, что с ростом температуры испарение идет более интенсивно, способствуя увеличению теплоотдачи. Если даже закон теплоотдачи не изменится, вода нагреется только до $49,6\text{ }^\circ\text{C}$, т.е. она никогда не закипит. Аналогично, во втором опыте (см. график, приведенный на рисунке 2) после достаточно долгого времени температура воды с образцом не превысит $41,6\text{ }^\circ\text{C}$, т.е. тоже никогда не закипит.