

**В.П. РЕДЬКИН, Ж.И. РАВУЦКАЯ.**  
УО МГПУ им. И.П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕРМОДИНАМИКИ  
НА УРАВНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА**

Задачи, основанные на уравнении закона сохранения и превращения энергии (первого закона термодинамики), можно разделить на три группы:

- изменение внутренней энергии системы тел обусловлено и теплообменом, и совершением работы над внешней средой;
- изменение внутренней энергии системы без теплообмена вследствие совершенной системой или над системой работы;
- изменение внутренней энергии системы происходит в результате теплообмена без совершения работы над внешней средой.

Решение указанного типа задач представляется целесообразным в следующей последовательности:

1. Определение типа процесса.
2. Изображение графиков процесса в соответствующих координатах.
3. Применение первого закона термодинамики или уравнения теплового баланса (в зависимости от типа процесса).
4. Выписка справочных данных  $M, c, \lambda, L, q, T_{пл}, T_k$ .
5. Решение полученной системы уравнений.

В термодинамике процессы, идущие с обменом энергией только в форме тепла, описываются уравнением теплового баланса. Использование графического метода значительно облегчает решение задач на уравнение теплового баланса. Решение таких задач целесообразно начать с анализа тепловых процессов, происходящих в системе. Результатом такого анализа является график зависимости температуры от времени, который строят для каждого из элементов, входящих в систему. При построении графика началом отсчета целесообразно взять температуру теплового равновесия, которую следует обозначать  $\theta$ , чтобы она отличалась от обозначения других температур в задаче. Построив такой график, учащиеся уже не ошибутся с количеством тепловых процессов, происходящих в системе.

Наиболее часто встречаемая ошибка при решении задач с использованием уравнения теплового баланса – неправильное определение знака количества теплоты, выделяемого или получаемого в процессе теплопередачи. Анализ графика зависимости температуры от времени позволяет безошибочно определить, в каких процессах количество теплоты выделяется (в процессах, находящихся на графике выше оси  $\theta$ ), а в каких – поглощается (в процессах, находящихся на графике ниже оси  $\theta$ ). Поэтому уравнение теплового баланса целесообразно записывать в виде  $Q_{отд} = Q_{получ}$  и от более высокой температуры отнимать более низкую.

**Пример.** В алюминиевый калориметр массой 300 г опустили кусок льда. Температура калориметра и льда  $-15^\circ\text{C}$ . Затем через калориметр пропустили водяной пар при  $100^\circ\text{C}$ . После того как температура смеси оказалась равной  $25^\circ\text{C}$ , измерили массу смеси, она оказалась равной 500 г. Найти массу сконденсированного пара и массу льда, находившегося в калориметре в начале опыта.

$$m_{ал} = 0,3 \text{ кг}$$

$$t_1 = -15^\circ\text{C}$$

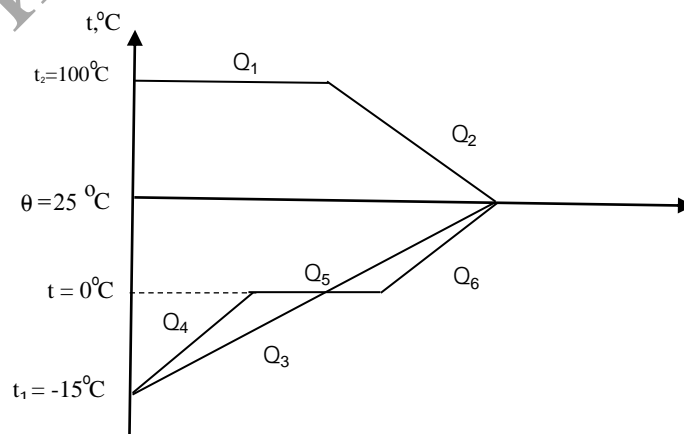
$$t_2 = 100^\circ\text{C}$$

$$\theta = 25^\circ\text{C}$$

$$m = 0,5 \text{ кг}$$

$$m_{п} - ? \quad m_{л} - ?$$

1. Процесс теплообмена между калориметром, льдом и водяным паром с превращением пара в воду, льда в воду.
2. Изобразим графики процессов, происходящих в системе, в координатах «температура – время».



$$Q_1 = Lm_{п} \text{ — конденсация пара,}$$

$$Q_2 = c_{в}m_{п} t_2 - \theta \text{ — охлаждение воды, полученной из пара,}$$

$$Q_3 = c_{ал}m_{ал} \theta - t_1 \text{ — нагревание калориметра,}$$

$$Q_4 = c_{л}m_{л} 0 - t_1 \text{ — нагревание льда до температуры плавления,}$$

$Q_5 = \lambda m_l$  – плавление льда,

$Q_6 = c_b m_l \theta - 0$  – нагревание воды, полученной из льда.

Кроме того, масса получившейся смеси  $m = m_{\text{п}} + m_l$ .

3. Согласно уравнению теплового баланса

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6,$$

$$L m_{\text{п}} + c_b m_{\text{п}} t_2 - \theta = c_{\text{ал}} m_{\text{ал}} \theta - t_1 + c_l m_l 0 - t_1 + \lambda m_l + c_b m_l \theta - 0.$$

4. Из справочных таблиц находим:

$L = 2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$  – удельная теплота парообразования (конденсации),

$c_b = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$  – удельная теплоемкость воды,

$c_{\text{ал}} = 880 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$  – удельная теплоемкость алюминия,

$c_l = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$  – удельная теплоемкость льда,

$\lambda = 330 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$  – удельная теплота плавления льда.

5. Решая уравнение относительно неизвестной величины с учетом  $m_{\text{п}} = m - m_l$ , получим:

$$L m_{\text{п}} + c_b m_{\text{п}} t_2 - \theta = c_{\text{ал}} m_{\text{ал}} \theta - t_1 - c_l m_l t_1 + \lambda m_l + c_b m_l \theta,$$

$$m_{\text{п}} L + c_b t_2 - \theta = c_{\text{ал}} m_{\text{ал}} \theta - t_1 + m_l - c_l t_1 + \lambda + c_b \theta,$$

$$m - m_l L + c_b t_2 - \theta = c_{\text{ал}} m_{\text{ал}} \theta - t_1 + m_l - c_l t_1 + \lambda + c_b \theta,$$

$$m L + c_b t_2 - \theta - m_l L + c_b t_2 - \theta =$$

$$= c_{\text{ал}} m_{\text{ал}} \theta - t_1 + m_l - c_l t_1 + \lambda + c_b \theta,$$

$$m L + c_b t_2 - \theta - c_{\text{ал}} m_{\text{ал}} \theta - t_1 = m_l L + c_b t_2 - \theta - c_l t_1 + \lambda + c_b \theta,$$

$$m L + c_b t_2 - \theta - c_{\text{ал}} m_{\text{ал}} \theta - t_1 = m_l L + c_b t_2 - c_l t_1 + \lambda,$$

$$m_l = \frac{m L + c_b t_2 - \theta - c_{\text{ал}} m_{\text{ал}} \theta - t_1}{L + c_b t_2 - c_l t_1 + \lambda},$$

$$m_l = \frac{0,5 \cdot 2,3 \cdot 10^6 + 4200 \cdot 100 - 25 - 880 \cdot 0,3 \cdot 25 + 15}{2,3 \cdot 10^6 + 4200 \cdot 100 + 2100 \cdot 15 + 330 \cdot 10^3} = 0,42 \text{ кг},$$

$$m_{\text{п}} = m - m_l = 0,5 - 0,42 = 0,08 \text{ кг}.$$

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Детлаф, А.А. Курс физики / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – М.: Высш. шк., 2002. – 718 с.
2. Редькин, В.П. Задачи по физике. Методы решения. Основы термодинамики / В.П. Редькин, Т.В. Николаенко // Фізика: проблеми викладання. – 2007. – № 6. – С. 32–39.