

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.9

ИЗМЕНЕНИЕ ЭНТРОПИИ В ИЗОЛИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ

Цель работы: исследование приращения энтропии в необратимых адиабатных процессах.

Литература: [4] гл. 6 §§ 6.1–6.11; [7] гл. 3 §§ 3.1, 3.4; [11] гл. III §§ 27, 28, 40, 41; [19] гл. 3.

Приборы и принадлежности: калориметр, нагреватель, термометр с ценой деления $0,1^\circ$, бачок с водой, мензурка вместимостью 100–150 мл, колба емкостью 500 мл, набор из трех исследуемых образцов (свинцовый, медный, алюминиевый), весы технические, набор гирь.

ВВЕДЕНИЕ

Один из фундаментальных законов природы – второе начало термодинамики – определяет направленность процессов, протекающих в изолированной макросистеме. Пользуясь понятием энтропии (см. Введение к работе 5.8), основное содержание второго начала термодинамики можно сформулировать следующим образом: любой процесс в изолированной системе подчиняется условию

$$\Delta S \geq 0, \quad (1)$$

где ΔS – изменение энтропии системы; при этом знак равенства относится к обратимым процессам, а знак неравенства – к необратимым. Таким образом, величина ΔS в изолированной системе может служить мерой необратимости протекающих в ней процессов: чем меньше ΔS , тем ближе процесс к обратимому.

В данной работе предлагается измерить изменение энтропии изолированной системы, в которой происходит необратимый процесс теплообмена. Теплообмен происходит при опускании различных тел, нагретых до одной и той же температуры T , в воду, находящуюся в калориметре при температуре T_0 . Наличие внешнего стакана калориметра

делает систему практически теплоизолированной. В предлагаемой установке в теплообмене участвуют три тела:

1. Испытуемый образец массой m_t , удельной теплоемкостью c_t и начальной температурой T (почти равной температуре паров кипящей воды по шкале Кельвина).

2. Стакан калориметра массой m_k , удельной теплоемкостью c_k и начальной температурой T_s .

3. Вода, находящаяся в калориметре, массой m_w , удельной теплоемкостью c_w и начальной температурой T_s .

В результате теплообмена установится температура T_0 . При этом изменение энтропии каждого из тел может быть вычислено по формуле

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}.$$

Поскольку $dQ = cmdT$, то энтропия каждого из тел изменится следующим образом:

$$\text{для испытуемого тела } \Delta S_t = c_t m_t \ln \frac{T_0}{T};$$

$$\text{для калориметра } \Delta S_k = c_k m_k \ln \frac{T_0}{T_s};$$

$$\text{для воды в калориметре } \Delta S_w = c_w m_w \ln \frac{T_0}{T_s}.$$

Учитывая свойства аддитивности энтропии, можно рассчитать изменение энтропии всей системы:

$$\Delta S = (m_t c_t + m_k c_k + m_w c_w) \ln \frac{T_0}{T_s} + m_o \tilde{n}_o \ln \frac{T_0}{T}. \quad (2)$$

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 5.9.1.

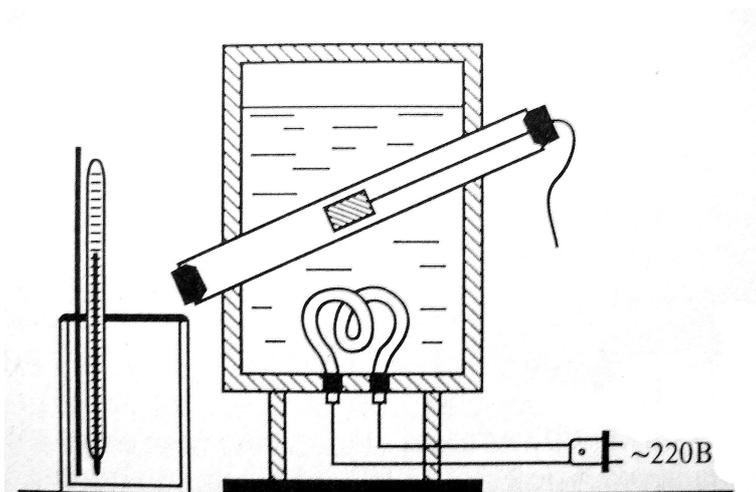


Рис. 5.9.1

Образец (медный, алюминиевый, свинцовый) помещают в центр трубки и закрывают ее с двух концов пробками. Трубка погружена в воду, которая нагревается электрической спиралью.

Калориметр представляет собой алюминиевый сосуд массой $m_k=40,50$ г в теплоизолирующем кожухе с крышкой, в отверстие которой вставляется термометр.

ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Подготовка к измерениям. Определите с помощью рычажных весов массы тел. Масса стакана калориметра указана на крышке калориметра.

Налейте из-под крана воды в колбу (не менее 400 мл) и поставьте ее вдали от нагревателя.

Проверьте, чтобы уровень воды в сосуде с нагревателем был не ниже, чем верхний конец погруженной в него трубки. Включите нагреватель, предварительно поместив в трубку первое исследуемое тело.

Задание 1. Пока вода и тело в сосуде нагревателя греются не менее 10 минут (с момента закипания воды), проведите измерение с калориметром и льдом.

Налейте в стакан калориметра 100 мл воды комнатной температуры,

отмерив нужный объем мензуркой, измерьте температуру воды $t_{\text{в}}$ термометром.

Возьмите два кусочка льда из формочки в морозильной камере холодильника, взвесьте лёд на рычажных весах (по возможности быстро) и положите его в калориметр с водой. Измерьте температуру t_0 , установившуюся после таяния льда и достижения теплового равновесия. Начальную температуру льда $t_{\text{л}}$ определите по показаниям термометра, находящегося в морозильной камере.

Запишите **уравнение теплового баланса** (алгебраическая сумма теплоты, полученной или отданной телами, в замкнутой системе равна нулю) и определите теоретическое значение равновесной температуры t_0 для этой системы. Удельная теплота плавления льда и удельные теплоемкости воды, льда и алюминия, из которого сделан калориметр, приведены в конце данного описания. Сравните $t_{0\text{теор}}$ с измеренным значением t_0 .

Рассчитайте изменение энтропии системы по формуле:

$$\Delta S = c_{\text{в}} m_{\text{в}} \ln \frac{T_{\text{в}}}{T_{\text{в}}} + \frac{\lambda m_{\text{л}}}{T_{\text{л}}} + c_{\text{л}} m_{\text{л}} \ln \frac{T_0}{T_{\text{л}}} + (c_{\text{ал}} m_{\text{ал}} + c_{\text{в}} m_{\text{в}}) \ln \frac{T_0}{T_{\text{ал}}}$$

(где $T_{\text{л}} = 273$ К – температура плавления льда).

Данные измерений и вычислений внесите в таблицу 1.

Таблица 1

$m_{\text{ал}} =$ $m_{\text{в}} =$ $m_{\text{ал}} = 100$ г	$t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$ ($T_{\text{в}}, \text{K}$)	$t_{\text{л}}, ^\circ\text{C}$ ($T_{\text{л}}, \text{K}$)	$t_{0\text{эксп}}, ^\circ\text{C}$ ($T_{0\text{эксп}}, \text{K}$)	$t_{0\text{теор}}, ^\circ\text{C}$ ($T_{0\text{теор}}, \text{K}$)	$\Delta S, \text{Дж/К}$

После окончания измерений вылейте воду из стакана калориметра.

Задание 2. Налейте в стакан калориметра 100 мл воды комнатной температуры, отмерив нужный объем мензуркой. Поставьте калориметр вдали от нагревателя, перед погружением в воду испытуемого тела измерьте температуру воды $T_{\text{в}}$. Через 10 минут после того, как закипит вода в нагревателе, выньте последовательно сначала нижнюю, затем верхнюю

пробки из трубки, и тело упадет в калориметр. Быстро закрыв калориметр, отставьте его подальше от нагревателя и следите за повышением температуры воды. Установившееся после теплообмена значение температуры $T_{0 \text{ эксп}}$ зафиксируйте в протоколе.

Вылейте воду из калориметра и дайте ему охладиться. Для ускорения охлаждения можно воспользоваться водой комнатной температуры. Повторите измерения с другими телами (масса воды во всех опытах должна быть одинакова).

Для каждого опыта с помощью уравнения теплового баланса рассчитайте температуру $t_{0 \text{ теор}}$, установившуюся в системе после теплообмена. Температуру нагретого тела примите равной $t = 95 \text{ }^\circ\text{C}$ ($T = 368 \text{ K}$), т.е. на 5 градусов ниже температуры кипящей воды. Сравните расчетные значения с экспериментальными. Пользуясь формулой (2), найдите изменение энтропии системы. Результаты всех измерений и вычислений занесите в таблицу 2.

Таблица 2.

№	$m_{\text{т}}, \text{ г}$	$t_{\text{в}}, \text{ }^\circ\text{C}$ ($T_{\text{в}}, \text{ K}$)	$t_{0 \text{ эксп}}, \text{ }^\circ\text{C}$ ($T_{0 \text{ эксп}}, \text{ K}$)	$t_{0 \text{ теор}}, \text{ }^\circ\text{C}$ ($T_{0 \text{ теор}}, \text{ K}$)	$\Delta S, \text{ Дж/К}$
1 (алюмин.)					
2 (латунь)					
3 (сталь)					

Постройте график зависимости ΔS от полной теплоемкости испытуемых тел $C = c_{\text{т}} m_{\text{т}}$.

ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Сформулируйте термодинамическое определение энтропии. Можно ли изменить энтропию системы, не сообщая ей теплоту? В каких случаях энтропия системы уменьшается?
2. В чем статистический смысл энтропии?

3. В каком состоянии – жидком или кристаллическом (при той же температуре) – тело обладает большей энтропией и почему?
4. Приведите различные формулировки второго начала термодинамики.
5. Докажите, что запрет Клаузиуса (утверждение о невозможности процессов, единственным результатом которых является передача тепла от холодного тела к горячему) эквивалентен утверждению о невозможности уменьшения энтропии в изолированной системе.
6. Что такое идеальная тепловая машина? Каков ее максимальный КПД?
7. В теплоизолированный алюминиевый сосуд массой 120 г при температуре 20°C наливают 210 г воды, имеющей температуру 100°C. Как изменится энтропия системы в результате теплообмена?

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Удельные теплоемкости

Алюминий: $c = 879$ Дж/(кг·К)

Латунь: $c = 385$ Дж/(кг·К)

Сталь: $c = 461$ Дж/(кг·К)

Лёд: $c_l = 2,1 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К)

Вода: $c_e = 4,18 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К)

Удельная теплота плавления льда $\lambda = 333 \cdot 10^3$ Дж/кг.