

Работа 2.20

Определение температуры и удельной теплоты плавления кристаллического вещества

Оборудование: пробирка с салолом, термopapa, гальванометр, нагреватель, регулятор напряжения, штатив, секундомер.

Введение

Кристаллические вещества переходят из твердой фазы в жидкую только при определенной температуре, которая называется *температурой плавления*. На рис. 2.28 показан типичный вид кривой нагревания и охлаждения кристаллического вещества.

В твердой фазе тело, поглощая энергию, нагревается (участок 1 — 2 кривой), скорость и энергия теплового движения молекул в узлах кристаллической решетки возрастает. При достижении температуры плавления (точка 2) скорость движения молекул становится настолько большой, что их энергия оказывается достаточной для разрыва связей кристаллической решетки, тело начинает плавиться, часть его переходит в жидкую фазу. При дальнейшем поглощении энергии телом средняя скорость молекул образовавшейся жидкой фазы не увеличивается, температура тела не меняется (участок 2 — 2'), поскольку эти молекулы передают энергию от нагревателя к частицам твердой фазы, вызывая дальнейшее плавление кристаллического вещества. Поглощаемая при этом энергия идет на увеличение потенциальной энергии частиц. Дальнейшее увеличение температуры вещества (участок 2' — 3) становится возможным после того, как все кристаллическое вещество полностью перейдет в жидкую фазу.

Если расплавленное вещество, нагретое до температуры $T_{\text{пл}} > T$, охладить до $T_{\text{пл}} = T$ (участок 3 — A), то при отсутствии в расплавленном веществе *центров кристаллизации* (крупинок, пылинок и т. д.) и в спокойном состоянии (без вибраций, резких толчков) молекулы расплава не могут образовать *кристаллических связей* с соседними молекулами из-за того, что полная энергия этих молекул больше, чем *энергии связи*. Для того чтобы могла начаться кристаллизация, необходимо уменьшить энергию молекул. Это достигается некоторым переохлаждением расплавленного вещества (участок A — B). *Процесс кристаллизации* (начало в точке B) развивается настолько быстро, что энергия, которая выделяется при кристаллизации, вызывает нагрев вещества (участок B — C). Кристаллизация замедляется и только при температуре $T_{\text{пл}} = T$ наступает равновесие — теплота, отданная в окружающую среду, равна теплоте, которая

выделяется при кристаллизации. Процесс кристаллизации продолжается (участок $C — D$).

Иногда при кристаллизации переохлажденного расплава происходит разогрев вещества до температуры более высокой, чем $T_{пл}$ (пунктирная кривая $B — C$). После окончания процесса кристаллизации (точка D) образовавшаяся твердая фаза начинает остывать (участок $D — E$). Из сказанного следует, что температура плавления кристаллического вещества равна температуре его кристаллизации ($T_{пл} = T_{кр} = T_2$).

Описание метода и установки. Реальный график нагревания и охлаждения кристаллического вещества немного отличается от показанного на рис. 2.28. У него нет резких переходов. Охлаждение при высоких температурах идет быстрее, чем при низких, поэтому график охлаждения нелинейный. Кривая охлаждения кристаллического вещества показана на рис. 2.29.

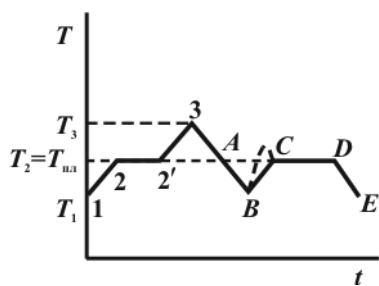


Рис. 2.28

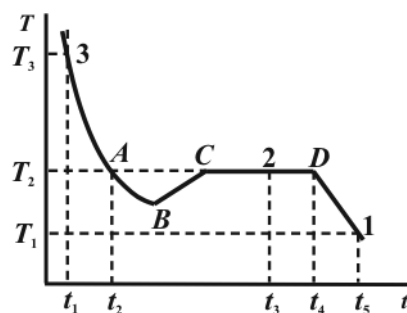


Рис. 2.29

Точки A, B, C, D аналогичны соответствующим точкам графика рис. 2.28. По полученному графику охлаждения вещества можно определить удельную теплоту кристаллизации (плавления) вещества.

Количество теплоты q_1 , которое отдается за единицу времени жидким салолом вместе с пробиркой в среднем равно:

$$q_1 = \frac{Q_1}{(t_2 - t_1)} = \frac{(m_1 c_1 + m_2 c_2)(T_3 - T_2)}{t_2 - t_1}, \quad (1)$$

где c_1 — удельная теплоемкость жидкого салолоа, m_1 — его масса, c_2 — удельная теплоемкость стекла, m_2 — масса нагретой части пробирки.

При остывании твердого салолоа и пробирки за единицу времени будет отдано количество теплоты q_2 .

$$q_2 = \frac{Q_2}{(t_5 - t_4)} = \frac{(m_1 c'_1 + m_2 c_2)(T_2 - T_1)}{t_5 - t_4}, \quad (2)$$

где c'_1 — удельная теплоемкость твердого салолоа.

Количество теплоты Q_3 , которое выделяется при кристаллизации за единицу времени, равно:

$$q_3 = \frac{Q_3}{t_4 - t_3} = \frac{\lambda m_1}{t_4 - t_3}, \quad (3)$$

где λ — удельная теплота кристаллизации (плавления).

Величины Q_1 , Q_2 , Q_3 пропорциональны площадям фигур под соответствующими частями кривой охлаждения. Если $t_2 - t_1 = t_4 - t_3 = t_5 - t_4$, то величина q_3 может быть определена как среднее арифметическое между q_1 и q_2 :

$q_3 = \frac{q_1 + q_2}{2}$. Подставляя значения q_1 , q_2 , q_3 из уравнений (1) — (3) после преобразований получим:

$$\lambda = \frac{1}{2m_1} \left[(m_1 c_1 + m_2 c_2) (T_3 - T_2) + (m_1 c'_1 + m_2 c_2) (T_2 - T_1) \right], \quad (4)$$

В данной работе используется установка, приведенная на рис. 2.30. Пробирка 1, в которой находится кристаллическое вещество 2 — салол, располагается внутри цилиндрического нагревателя 5, который подключен к регулятору напряжения 6. Для измерения температуры служит термопара 3, которая соединена с гальванометром 4.

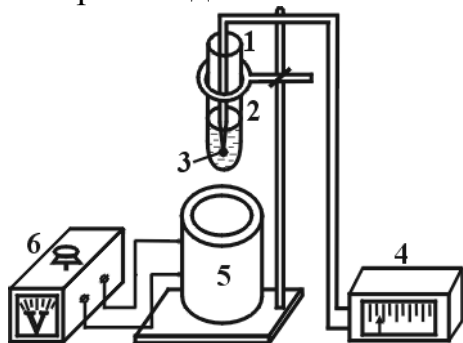


Рис. 2.30

При работе установки по шкале гальванометра определяется электродвижущая сила термопары (ЭДС) в мВ, а температура образца рассчитывается по формуле:

$$t = t_k + \frac{\varepsilon}{C},$$

где t_k — комнатная температура, которая определяется по термометру; ε — ЭДС термопары; $C = 0,04$ мВ/К — постоянная термопары.

Порядок выполнения работы

1. Включите гальванометр в электрическую сеть.
2. Поместите пробирку с салолом внутрь нагревателя. Включите регулятор напряжения в электрическую сеть и отрегулируйте напряжение, которое подается на нагреватель (рабочее напряжение около 30 — 50 В).
3. Отмечайте изменение температуры салола через каждые 30 с.
4. Нагрев салол до температуры 50 °С, достаньте пробирку из нагревателя, для чего поднимите муфту с лапкой и пробиркой и поверните их на некоторый угол так, чтобы горячий нагреватель не замедлял охлаждение. Отключите его от электросети.

5. Продолжайте отмечать температуру остывающего салола через каждые 30 с. Наблюдения завершите, когда температура закристаллизовавшегося салола не станет на 3 — 5 градусов выше комнатной.

6. Постройте график зависимости температуры салола от времени ($T = f(t)$) и по нему определите температуру плавления (кристаллизации) салола T_2 .

7. Для нахождения температуры T_1 и T_2 спроектируйте точки A и D на ось абсцисс и от полученных точек соответственно влево и вправо отложите отрезки $t_2 - t_1$ и $t_5 - t_4$, равные $t_4 - t_3$. Из полученных точек восстановите перпендикуляры до пересечения с кривой охлаждения и определите температуры T_1 и T_3 , соответствующие этим точкам графика.

8. По формуле (4) определите удельную теплоту плавления (кристаллизации) салола.

№ п/п	m_1 , кг	m_2 , кг	c_1 , Дж/кг·К	c'_1 , Дж/кг·К	T_1 , К	T_2 , К	T_3 , К	λ , Дж/кг
-------	------------	------------	-----------------	------------------	-----------	-----------	-----------	-------------------



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие тела называются кристаллическими?
2. Что называют процессом плавления вещества? Что такое кристаллизация?
3. Почему при плавлении кристаллических тел их температура остается неизменной?
4. Какое состояние вещества называют «переохлажденной жидкостью»? При каких условиях оно возникает?
5. Что называется удельной теплотой плавления?
6. Назовите единицы удельной теплоты плавления вещества. Получите их размерность.
7. Чему равна удельная теплота кристаллизации?
8. Что называется температурой плавления (кристаллизации) твердого тела?
9. Какой величине пропорциональна площадь фигуры под кривой охлаждения вещества?
10. Почему количество теплоты q_3 , которое выделилось за единицу времени кристаллизующимся салолом, равно $q_3 = \frac{q_1 + q_2}{2}$, где q_1 и q_2 — количество теплоты, которое выделилось за единицу времени жидким и твердым салолом?