

КАЛМЫЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра общей физики

## Лабораторная работа № 12

*«Изучение фазовых переходов 1 рода.*

*Определение температуры и теплоты плавления металла»*

## Лабораторная работа № 12

### *«Изучение фазовых переходов I рода.*

#### *Определение температуры и теплоты плавления металла»*

**Цель работы:** на практике ознакомиться с фазовыми переходами I рода, определить температуру и теплоту плавления и кристаллизации металла.

**Приборы и принадлежности:** тигли с исследуемыми веществами, электроплитка, термopара, самопишущий потенциометр ПСР1-13.

### **Т е о р и я**

#### *1. Агрегатные состояния вещества.*

Все вещества (за некоторым исключением) могут существовать в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком, газообразном. Четвертым состоянием часто считают плазму. Так, вода при нормальном давлении  $P = 101325 \text{ Па} = 760 \text{ мм рт. ст.}$ , при температуре  $T = 0^\circ\text{C}$  кристаллизуется в лед, а при  $100^\circ\text{C}$  кипит и превращается в пар.

Агрегатные состояния вещества зависят от физических условий, в которых оно находится, главным образом от температуры и давления. Определяющей величиной является отношение  $\varepsilon(T, p)$  модуля средней потенциальной энергии взаимодействия молекул  $|\langle \varepsilon_p \rangle|$  к их средней кинетической энергии

$$\varepsilon(T, p) = \frac{|\langle \varepsilon_p \rangle|}{\langle \varepsilon_k \rangle}$$

1. если  $\varepsilon(T, p) \gg 1$  - твердое тело,
2. если  $\varepsilon(T, p) \ll 1$  - газообразное,
3. если  $\varepsilon(T, p) \sim 1$  - жидкое.

Переход из одного состояния в другое сопровождается скачкообразным изменением  $\varepsilon(T, p)$ , связанным со скачкообразным изменением средних меж-

молекулярных расстояний  $l$  и межмолекулярных взаимодействий. В газах межмолекулярные расстояния велики по сравнению с размерами молекул  $r_0$  ( $l \gg r_0$ ), они почти не взаимодействуют с друг другом и движутся практически свободно, заполняя весь объем. В жидкостях и твердых телах – концентрированных средах – молекулы (атомы) расположены значительно ближе друг к друг ( $l \approx r_0$ ), и взаимодействуют сильнее. Это приводит к сохранению жидкостями и твердыми телами своего объема. Однако, характер движения молекул в твердых телах и жидкостях различны, чем и объясняется различие их структур и свойств.

У твердых кристаллических тел молекулы расположены строго упорядоченно, поэтому они сохраняют свою форму. Атомы совершают колебания вблизи узлов кристаллической решетки.

Молекулы жидкости расположены в беспорядке. Тепловое движение молекул жидкости представляет собой сочетание малых колебаний около положения равновесия в частых перескоках из одного положение равновесия в другое (частота тепловых колебаний молекулы в  $10^2 - 10^3$  раз больше частоты перескоков, т.е. в оседлом положении в промежутках молекулы совершают до  $10^3$  тепловых колебаний). Это обуславливает существование в жидкостях лишь ближнего порядка в расположении частиц, а также свойственные им текучесть и подвижность. В отличие от газов и жидкостей, которые изотропны, кристаллические твердые тела анизотропны.

Во всех этих трех состояниях сохраняется химическая целостность и индивидуальность атомов и молекул, в этом их отличие от плазменного состояния. Плазма представляет собой газ заряженных частиц (ионов, электронов), которые электрически взаимодействуют между собой на больших расстояниях. Это определяет ряд своеобразных свойств плазмы.

Как правило, переходы из более упорядоченных по структуре в менее упорядоченное состояние происходит при определенной температуре и давлении. Но в ряде случаев такие переходы могут осуществляться непрерывно.

Возможность непрерывных переходов указывает на некоторую условность выделения агрегатного состояния вещества. Это подтверждается существованием аморфных тел, сохраняющих структуру жидкости, жидких кристаллов и т.д.

В связи с этим в современной физике вместо понятия агрегатного состояния пользуется более широким понятием - газы.

## *2. Фазы. Фазовые переходы.*

Фаза - термодинамическое равновесие состояние вещества, отличающееся по физическим свойствам от других возможных состояний (других фаз) того же вещества.

Химические системы могут быть гомогенными, физически однородными. Смесь химических компонентов - азот, кислород, и др., составляющих воздух, образуют гомогенную – однофазную систему. Поэтому фазу можно определить как гомогенную часть гетерогенной системы, ограниченной поверхностью раздела. Системы, состоящие более чем из одной фазы, называют гетерогенными. Примером гетерогенной системы является вода с плавающим в ней льдом до тех пор, пока лед полностью не растает. После полного таяния льда или полного замерзания воды образуется гомогенная система, представляющая пример жидкой фазы (твердой фазы - в случае полного замерзания).

Вещества одного и того же химического состава, находящиеся в одном и том же агрегатном состоянии могут иметь совершенно различные свойства. Например, алмаз и графит - различные кристаллические формы углерода. Их фазовые состояния различны. Различие их свойств вызвано различием в строении, разной энергии образования из атомов и др. термодинамическими функциями.

***Фазовым переходом*** называется изменение фазового или агрегатного состояния вещества без изменения химического состава.

**Фазовые переходы первого рода** - это такие переходы, которые при данном давлении осуществляются при строго определенной температуре со скачкообразным изменением первых производных свободной энергии: энтропии, объема, плотности и др. При фазовом переходе 1 рода в точке перехода существуют в равновесии две фазы вещества, ограниченные поверхностями раздела. Фазовый переход 1 рода сопровождается выделением и поглощением тепла.

В отличие от фазового перехода 1 рода, фазовые переходы 2 рода бывают обусловлены, прежде всего, постепенным изменением атомной структуры в фазе. При фазовом переходе 2 рода первые производные свободной энергии (энтропия, энтальпия, объем) изменяются монотонно. Скачок претерпевают вторые производные свободной энергии - теплоемкость, коэффициент расширения и т.д.

### *3. Плавление и кристаллизация.*

**Плавлением** называется переход вещества из кристаллического (твердого) состояния в жидкое (фазовый переход 1 рода). Оно происходит с поглощением теплоты. Главными характеристиками являются температура плавления ( $T_{пл}$ ) и теплота плавления ( $L_{пл}$ ).

Наличие определенной температуры плавления - важный признак кристаллического строения твердых тел. По этому признаку их легко отличать от аморфных тел, которые не имеют фиксированной  $T_{пл}$ . Аморфные тела переходят в жидкое состояние постепенно, размягчаясь при повышении температуры.

Как правило, для веществ с высшей  $T_{пл}$  характерны более высокие значения  $L_{пл}$ . Примеси, присутствующие в кристаллических веществах снижают температуру плавления. Этим пользуются на практике для получения сплавов с низкой  $T_{пл}$ . Плавление начинается при достижении кристаллическим веществом  $T_{пл}$  и протекает при постоянной температуре, несмотря на сооб-

щение веществу теплоты. Нагреть кристалл до  $T_{пл}$  в обычных условиях не удастся. Все количество теплоты, передаваемое веществу в процессе плавления, расходуется на разрушение кристаллической решетки.

**Удельной теплотой** плавления  $\lambda$  называется количество теплоты, необходимое для превращения 1 кг кристаллического вещества при температуре плавления в жидкость той же температуры. Такое же количество теплоты поглощается при переходе из жидкого в кристаллическое твердое состояние.

Теплота плавления  $L_{пл}$  массой  $m$  равна:  $L_{пл} = \lambda m$ . Количество теплоты, выделяемое при кристаллизации того же тела, равно  $L_{кр} = -\lambda m$ .

### Определение скрытой теплоты плавления.

Для определения скрытой теплоты плавления и кристаллизации воспользуемся полученной диаграммой. Количество теплоты  $Q_1$ , полученное в единицу времени твердым оловом вместе с тиглем при нагревании равно

$$q_1 = \frac{Q_1}{\tau_2 - \tau_1} = (c_1 m_1 + c_2 m_2) \frac{T_2 - T_1}{\tau_2 - \tau_1}, \quad (1)$$

где  $c_1 = 0,0588$  калл/г·град - удельная теплоемкость твердого олова,  $m_1$  - масса олова,  $c_2$  и  $m_2$  - удельная теплоемкость и масса тигля.

При нагревании жидкого олова расходуется в единицу времени количество теплоты  $q_2$ :

$$q_2 = \frac{Q_2}{\tau_4 - \tau_3} = (c'_1 m_1 + c_2 m_2) \frac{T_3 - T_2}{\tau_4 - \tau_3}, \quad (2)$$

где  $c'_1 = 0,0637$  калл/г·град - удельная теплоемкость жидкого олова. Количество теплоты, израсходованное в единицу времени на кристаллизацию равно  $q_3$ :

$$q_3 = \frac{\lambda m_1}{\tau_3 - \tau_2}, \quad (3)$$

где  $\lambda$  - скрытая теплота плавления.

Величина  $q_3$  быть определена как среднее арифметическое между  $q_1$  и  $q_2$ :

$$q_3 = \frac{q_1 + q_2}{2} . \quad (4)$$

Подставляя  $q_1$ ,  $q_2$  и  $q_3$  из уравнений (1), (2) и (3) в выражение (4), после преобразований получим

$$\lambda = \frac{\tau_3 - \tau_2}{2m_1} [(c_1 m_1 + c_2 m_2) \frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1} + (c'_1 m_1 + c_2 m_2) \frac{T_3 - T_2}{x_4 - x_3} v] \quad (5)$$

Измерения можно упростить, если учесть, что развертка самописца происходит с постоянной скоростью  $v$ . Тогда координата  $x$  на диаграмме однозначно связана с временем записи  $\tau$ :  $x = \tau v$  или  $\tau = x/v$ .

Подставив последнее выражение в (5), получим:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{x_3 - x_2}{2m_1 v} [(c_1 m_1 + c_2 m_2) \frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1} v + (c'_1 m_1 + c_2 m_2) \frac{T_3 - T_2}{x_4 - x_3} v] = \\ &= \frac{x_3 - x_2}{2m_1 v} v [(c_1 m_1 + c_2 m_2) \frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1} + (c'_1 m_1 + c_2 m_2) \frac{T_3 - T_2}{x_4 - x_3}] \end{aligned}$$

или

$$\lambda = \frac{x_3 - x_2}{2m_1} [(c_1 m_1 + c_2 m_2) \frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1} + (c'_1 m_1 + c_2 m_2) \frac{T_3 - T_2}{x_4 - x_3} v] \quad (6)$$

где  $x_1, x_2, x_3, x_4$  - координаты пера самописца в мм в моменты времени  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$  соответственно (см. рис. 1).

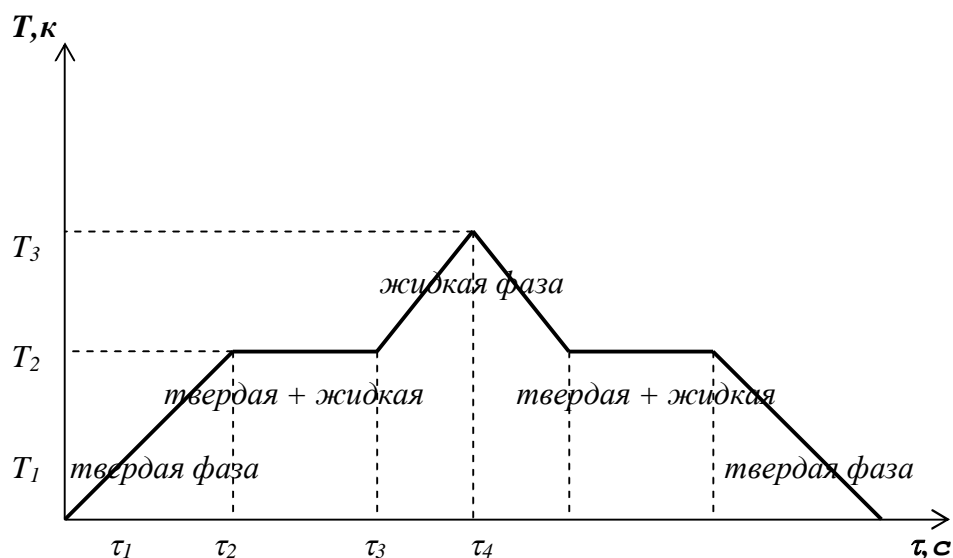


Рис. 1. Диаграмма плавления и кристаллизации кристаллического вещества.

$$m_{\text{тигля}} = 18,2 \text{ г}, \quad m_{\text{олова}} = 11,2 \text{ г}$$

### Контрольные вопросы

1. Что такое агрегатное состояние вещества? Чем оно определяется?
2. Как движутся частицы в разных агрегатных состояниях?
3. Что называется фазой, фазовым состоянием?
4. Каково различие между фазовыми переходами 1 и 2 рода?
5. Что называется плавлением, удельной теплотой плавления?
6. На что расходуется тепловая энергия, сообщаемая телу при плавлении?
7. Вычислите изменение энтропии при плавлении.

### Л и т е р а т у р а

1. Кортнев А.В., Рублев Ю.В., Куценко А.И. Практикум по физике. М., 1961.
2. Карякин Н.И., Быстров К.Н., Киреев П.С. Краткий справочник по физике. М., 1969.