

Ярославский государственный педагогический
университет им. К. Д. Ушинского

Кафедра общей физики
Лаборатория молекулярной физики

Лабораторная работа № 11

Определение удельной
теплоты плавления олова

Ярославль
2014

Оглавление

1.	Вопросы для подготовки к работе	3
2.	Краткая теория	3
3.	Описание метода и схемы установки	5
4.	Описание экспериментальной установки	7
5.	Выполнение работы и обработка результатов	8
	Задание 1.	8
	Задание 2.	8
	Задание 3.	8
	Задание 4.	9
	Задание 5.	9
6.	Контрольные вопросы	9
7.	Содержание отчета	9

Составители: Т.Н. Спиридонова, кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры общей физики
В.К. Мухин, старший преподаватель кафедры общей физики

Лабораторная работа № 11

Определение удельной теплоты плавления олова

Цель работы:

- изучение процессов кристаллизации и плавления,
- снятие кривой охлаждения,
- расчёт удельной теплоты плавления олова.

Приборы и принадлежности: лабораторная установка ФПТ1-11 промышленного изготовления.

Литература:

1. Детлаф А.А. Курс общей физики. М., 2007.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. т. 1. СПб., 2007.
3. Гершензон Е.М. и др. Молекулярная физика. М., 2000.

1. Вопросы для подготовки к работе

1. Процессы плавления и кристаллизации. Удельная теплота плавления.
2. Расчет количества теплоты, необходимого для нагревания и плавления тела.
3. Расчетная формула; физический смысл входящих в нее величин и измерение их.

2. Краткая теория

Переход вещества из жидкого состояния в кристаллическое происходит при определенной температуре — температуре кристаллизации или отвердевания. При этом превращении энергия тела уменьшается, поэтому этот процесс сопровождается выделением энергии в виде скрытой теплоты кристаллизации. Обратное превращение — плавление — происходит при той же температуре и сопровождается поглощением энергии в виде скрытой теплоты плавления, равной по величине теплоте кристаллизации.

Удельная теплота плавления — это количество теплоты, необходимое для превращения в жидкость единицы массы кристаллического тела. В системе СИ она измеряется в $\text{Дж}/\text{кг}$, допускается измерение также в $\text{кал}/\text{г}$.

Для расплавления массы вещества m требуется количество теплоты $Q = mL$.

График изменения температуры образца со временем показаны на рисунке 2.1.

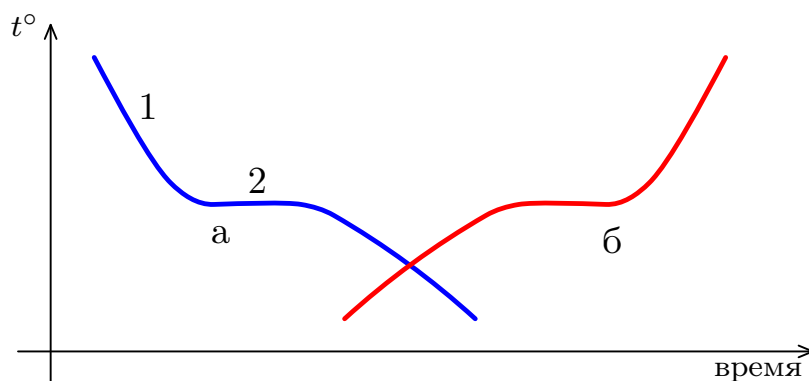


Рис. 2.1

Участок 1 кривой “а” изображает монотонное понижение температуры жидкого вещества вследствие отвода теплоты от него. Горизонтальный участок 2 показывает, что в определенный момент понижение температуры прекращается, несмотря на то, что отвод теплоты продолжается. Температура, соответствующая участку 2 и есть температура кристаллизации. Выделяющееся при кристаллизации тепло компенсирует отвод его от вещества и поэтому понижение температуры временно прекращается. После окончания кристаллизации температура, теперь уже твердого тела, вновь начинает убывать.

При обратном процессе перехода вещества из твердого в жидкое (плавление) на кривой нагревания также наблюдается остановка в повышении температуры, вследствие поглощения теплоты, за счет которой происходит разрушение кристаллической решетки (кривая “б” на рисунке 2.1).

Переход жидкость - твердое тело, также как и обратное превращение, является фазовым переходом первого рода.

Температура плавления (и равная ей температура кристаллизации) зависит от давления, обычно возрастающая с ростом последней. Растет она потому, что внешнее давление сближает атомы, а для разрушения кристаллической решетки их нужно отдалить друг от

3. Описание метода и схемы установки

друга. При больших давлениях для этого требуется большая энергия теплового движения, то есть более высокая температура. Изменение температуры плавления dT с изменением давления dP связано уравнением Клапейрона—Клаузиуса;

$$\frac{dT}{dP} = \frac{T(V_{\text{ж}} - V_{\text{тв}})}{L},$$

где T — температура плавления,
 $V_{\text{ж}}$ и $V_{\text{тв}}$ — удельные объемы жидкой и твердой фазы,
 L — удельная теплота плавления.

У тех веществ, объем которых при отвердевании не уменьшается, а увеличивается (вода, висмут, германий, сурьма) температура плавления с повышением давления уменьшается.

3. Описание метода и схемы установки

В этой работе используется метод определения удельной теплоты плавления, основанный на том, что скорость выделения теплоты кристаллизации должна быть равна скорости теплоотдачи в окружающую среду:

$$\frac{mL}{\theta} = \frac{\Delta Q}{\Delta\theta}, \quad (3.1)$$

где L — удельная теплота плавления,
 m — масса олова,
 θ — длительность процесса кристаллизации,
 Q — количество теплоты, отдаваемое в окружающую среду,
 $\frac{\Delta Q}{\Delta\theta}$ — скорость выделения тепла или скорость теплоотдачи.

Тогда

$$L = \frac{1}{m} \frac{\Delta Q}{\Delta\theta} \theta. \quad (3.2)$$

Таким образом, для определения удельной теплоты плавления необходимо найти скорость тепловыделения при кристаллизации. Поскольку в процессе кристаллизации температура кристалла не меняется, то скорость теплоотдачи в этот период не может быть измерена

непосредственно. Она принимается приблизительно равной среднему значению скорости охлаждения до наступления кристаллизации и после неё. Скорость теплоотдачи жидкого олова:

$$\frac{\Delta Q'}{\Delta \theta'} = (M c_M + m c'_m) \frac{dt'}{d\theta'},$$

где M — масса сосуда, содержащего исследуемый металл,
 c_M — удельная теплоемкость сосуда,
 c'_m — удельная теплоемкость жидкого олова,
 $\frac{dt'}{d\theta'}$ — скорость охлаждения олова до затвердевания.

Скорость теплоотдачи твердого олова:

$$\frac{dQ''}{d\theta''} = (M c_M + m c''_m) \frac{dt''}{d\theta''},$$

где индекс “''” относится к параметрам твердого олова.

Тогда

$$\frac{\Delta Q}{\Delta \theta} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta Q'}{\Delta \theta'} + \frac{\Delta Q''}{\Delta \theta''} \right),$$

то есть

$$\frac{\Delta Q}{\Delta \theta} = \frac{1}{2} \left((M c_M + m c'_m) \frac{dt'}{d\theta'} + (M c_M + m c''_m) \frac{dt''}{d\theta''} \right). \quad (3.3)$$

Искомая удельная теплота плавления из (3.2) и (3.3) равна:

$$L = \frac{\frac{1}{2} \left((M c_M + m c'_m) \frac{dt'}{d\theta'} + (M c_M + m c''_m) \frac{dt''}{d\theta''} \right) \theta}{m}, \quad (3.4)$$

где $M c_M = 0,0197 \frac{\text{кДж}}{\text{град}}$; $m = 150 \text{ г}$.

Таким образом, для расчета L необходимо определить скорость охлаждения жидкого олова $\frac{dt'}{d\theta'}$ и твердого олова $\frac{dt''}{d\theta''}$, а для этого снять кривую охлаждения.

4. Описание экспериментальной установки

Для снятия кривой охлаждения используется установка промышленного изготовления ФПТ1-11. Общий вид установки показан на рис. 4.1.

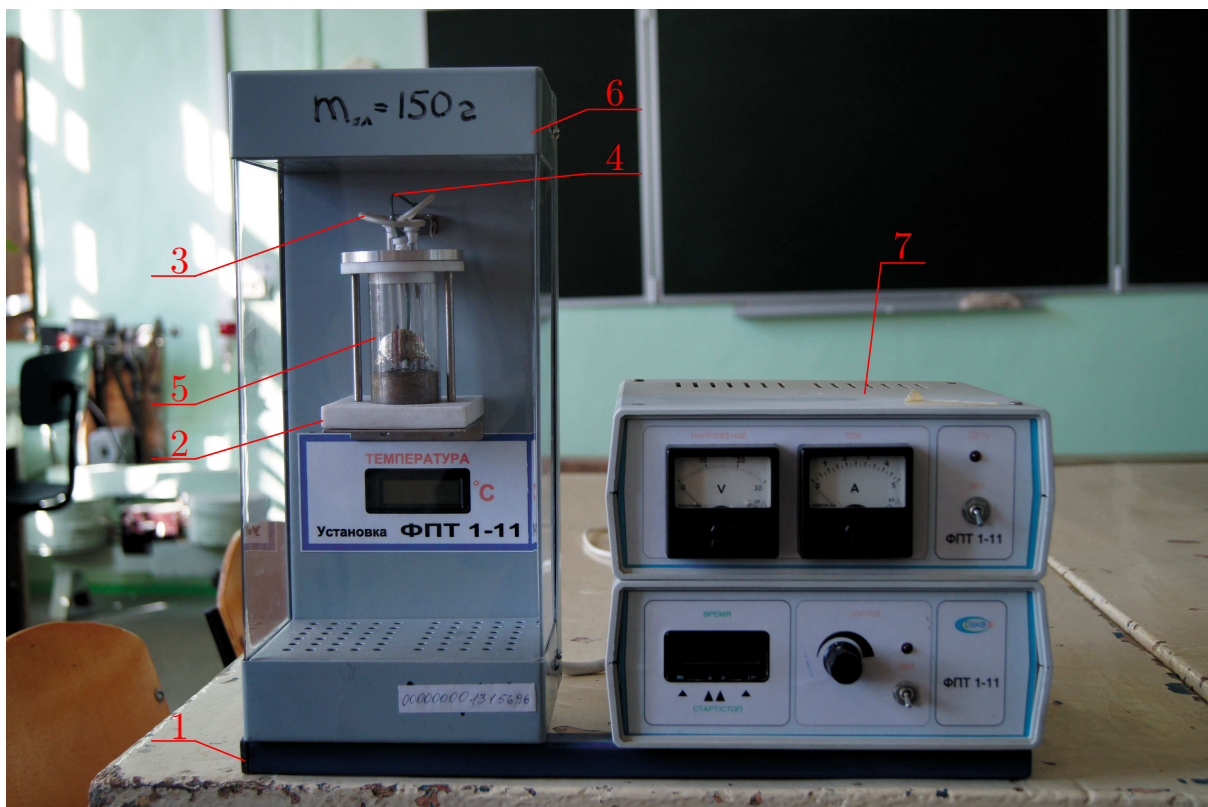


Рис. 4.1. Общий вид экспериментальной установки ФПТ1-11:
1 – стойка; 2 – кронштейн; 3 – вывод нагревателя; 4 – вывод датчика температуры;
5 – тигель с исследуемым материалом; 6 – блок рабочего элемента;
7 – блок приборов

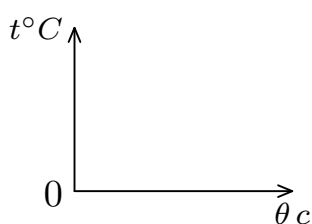
Нагревание олова происходит в тигле 5 с помощью электрического нагревателя 3, источник питания которого размещен в блоке приборов 7. Температура олова измеряется цифровым термометром 4, расположенным в блоке рабочего элемента 6. Время нагрева измеряется цифровым секундомером, расположенным в блоке приборов 7. Секундомер может быть приведен в действие только при включении питания блока приборов. По желанию экспериментатора можно использовать любой другой внешний секундомер.

5. Выполнение работы и обработка результатов

Задание 1. Ознакомьтесь с устройством и принципом действия установки ФПТ1-11.

Задание 2. Снимите кривую охлаждения.

1. Включите установку и нагрейте олово до $\sim 330^\circ\text{C}$.
2. Выключите нагреватель и одновременно включите секундомер. Температура олова начнет понижаться. Снимайте показания секундомера через каждые 10°C .
3. Зафиксируйте температуру затвердевания олова, при которой прекращается на некоторое время (~ 7 мин) снижение температуры олова.
4. Результаты измерений температуры и времени занесите в таблицу.
5. По измеренным значениям температуры и времени построить на миллиметровой бумаге кривую охлаждения $t = f(\theta)$.



Рекомендуемый масштаб:

1 мм: 1°C

1 мм: 2 с

Лист $30 \times 40 \text{ см}^2$.

Задание 3. По графику определите $\frac{dt'}{d\theta'}$ и $\frac{dt''}{d\theta''}$, а также длительность θ промежутка времени, в течение которого температура олова остается неизменной. Из формулы (3.4) определите значение удельной теплоты плавления олова, запишите его в Джс/кг и кал./г .

Значения теплоемкостей c'_m и c''_m посмотрите в таблицах.

6. Контрольные вопросы

Задание 4. Найдите табличное значение удельной теплоты плавления олова и сравнить с ним полученное экспериментально. Рассчитайте абсолютную и относительную погрешность результата. Запишите окончательный результат в виде:

$$L = (L_{\text{эк}} \pm \Delta L) \text{ Дж/кг},$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \cdot 100\%.$$

Задание 5. Рассчитайте изменение энтропии олова при фазовом переходе.

6. Контрольные вопросы

1. Какой физический смысл имеет удельная теплота плавления? Единицы измерения.
2. Почему не меняется температура при плавлении тела, при кристаллизации?
3. Зависит ли температура плавления от внешнего давления?
4. Чем объяснить погрешность результата в данной работе?

7. Содержание отчета

Название работы, ее цель, приборы и принадлежности, расчетная формула, таблица результатов измерений, график кривой охлаждения, краткие выводы с объяснением результатов эксперимента.