
Группа	P3115	К работе допущен	
Студент	Конаныхина А.А.	Работа выполнена	
Преподаватель	Каретников Н.А.	Отчет принят	

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №2.05

«Определение изменения энтропии при плавлении олова»

1. Цель работы:

Определить изменения энтропии при фазовом переходе первого рода на примере кристаллизации олова из расплава при его охлаждении. Определить теплоты кристаллизации олова на основе закона сохранения энергии.

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

- Определение температуры кристаллизации олова, время кристаллизации $\Delta t_{кр}$ и скорость изменения во времени натурального логарифма разности температур олова и окружающей среды на участке охлаждения твёрдого олова (коэффициент K).
- Построение графика зависимости ЭДС термопары от времени охлаждения (график зависимости $E(t)$)
- Вычисление удельной теплоты кристаллизации олова
- Построение графика зависимости $\ln(T - T_0)$ от времени для третьего участка графика (1).
- Вычисление или оценка погрешностей.

3. Объект исследования: Олово

4. Метод экспериментального исследования: Наблюдение, расчёт, эксперимент.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

$M_0 = (57,0 \pm 0,1)$ гр – масса олова в ампуле (данные с лабораторного стенда)

$M_A = (40 \pm 0.01)$ гр – масса ампулы

$c_0 = (0.230 \pm 0.001)$ кДж/(кг*К) – удельная теплота кристаллизации олово (табличная величина)

$c_A = (0.460 \pm 0.001)$ кДж/(кг*К)

$T_{кр} = (232 \pm 1)$ С° – температура кристаллизации (табличная)

$$\Delta T_{кр} = \frac{1}{2} \left(T(E_a) - T(E_0) \right).$$

$$\lambda = (c_0 + c_A \cdot \frac{M_A}{M_0}) \cdot \Delta t_{кр} \cdot K(T_{кр} - T_0)$$

$$S_2 - S_1 = -\frac{\lambda M_0}{T_{кр}}$$

$$\frac{\Delta(S_2 - S_1)}{(S_2 - S_1)} = \sqrt{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\Delta M_0}{M_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T_{кр}}{T_{кр}}\right)^2}$$

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \sqrt{\left(\frac{\Delta t_{кр}}{t_{кр}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta K}{K}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T_{кр}}{T_{кр} - T_0}\right)^2}.$$

$$T_{кр} = T'_{кр} + T_0$$

$$T = T' + T_0$$

6. Измерительные приборы.

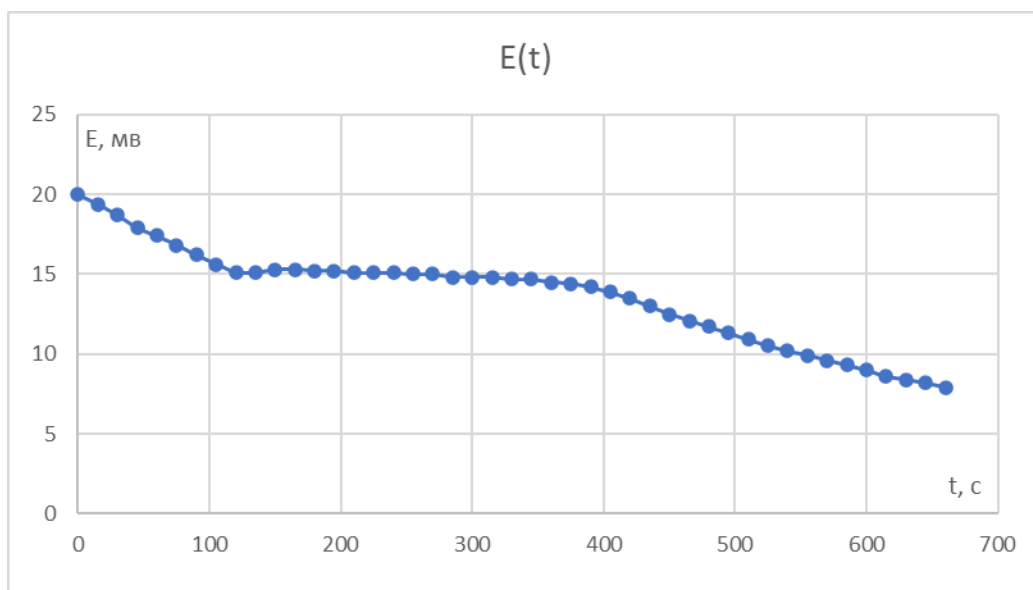
№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Установка для определения энтропии при плавлении олова	-	От 0 С°	0,1 мВ
2	Секундомер	часы	От 0 до 11 минут	0,01 с

7. Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).

t, c	E, мВ	
0	20	Участок 1
15	19,4	
30	18,7	
45	17,9	
60	17,4	
75	16,8	
90	16,2	
105	15,6	
120	15,1	Участок 2
135	15,1	
150	15,3	
165	15,3	
180	15,2	
195	15,2	
210	15,1	
225	15,1	
240	15,1	
255	15	
270	15	
285	14,8	
300	14,8	
315	14,8	
330	14,7	
345	14,7	
360	14,5	
375	14,4	участок 3
390	14,2	
405	13,9	
420	13,5	
435	13	
450	12,5	
465	12,1	
480	11,7	
495	11,3	
510	10,9	
525	10,5	
540	10,2	
555	9,9	
570	9,6	
585	9,3	
600	9	
615	8,6	
630	8,4	
645	8,2	
660	7,9	

9. Расчет результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов).

Построим по полученной таблице график зависимости $E(t)$:



Определим по графику время кристаллизации и среднее значение ЭДС:

$$\Delta t_{\text{кр}} \text{ (по графику)} = 240 \text{ с}$$

$$E_{\text{кр}} \text{ (по графику)} = 14,8 \text{ мВ}$$

Из переводной таблицы хромель-копелевой термопары находим разницу между температурой воздуха в колбе и температурой воздуха:

$$T'_{\text{кр}} \text{ (из таблицы)} = 203 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Найдём температуру кристаллизации:

$$T_{\text{комнатная}} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{кр}} = T'_{\text{кр}} + T_0 \text{ откуда}$$

$$T_{\text{кр}} = 227 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Найдём погрешность $T_{\text{кр}}$ как половину разности верхней и нижней границ второго участка графика (1):

$$\Delta T_{\text{кр}} = 3,5$$

Коэффициент K показывает отношение температуры олова к разности температур олова и комнатной в бесконечно малый момент времени и считается по формуле:

$$K = \frac{dT_i}{dt(T_i - T_0)} = \frac{d(T_i - T_0)}{dt(T_i - T_0)} = \frac{d \ln(T_i - T_0)}{dt}$$

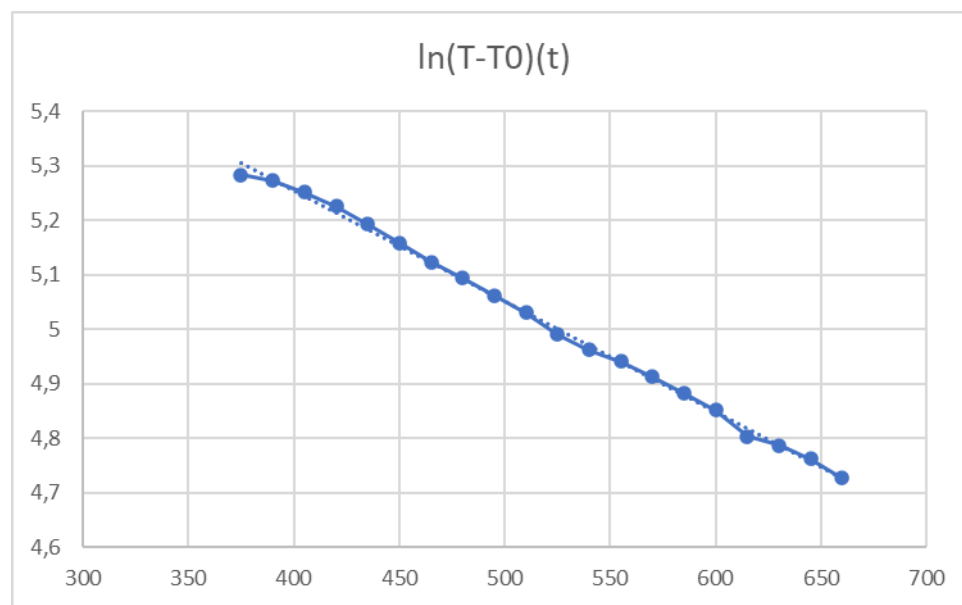
T	ln(T-T ₀)
221	5,283204
219	5,273
215	5,252273
210	5,225747
204	5,192957
198	5,159055
192	5,123964
187	5,09375
182	5,062595
177	5,030438
171	4,990433
167	4,962845
164	4,941642
160	4,912655
156	4,882802
152	4,85203
146	4,804021
144	4,787492
141	4,762174
137	4,727388

Для его нахождения найдём температуру в каждый момент времени на участке 3 (с помощью переводной таблицы для термопары):

Так как температура в таблице представлена для нуля, то прибавим к ней комнатную температуру

Далее, зная комнатную температуру, найдём значение $\ln(T-T_0)$ для каждого момента времени (второй столбец колонки).

Построим график зависимости $\ln(T - T_0)$ от времени для третьего участка графика (1) по полученным значениям.



Искомый коэффициент K – это угловой коэффициент данного графика зависимости. Найдём K методом наименьших квадратов:

$$t_{cp} = 517,5 \text{ с}$$

$$\ln(T - T_0)_{cp} = 5,016023196$$

$(\ln(T-T_0)_i - \ln(T-T_0)_{cp}) \cdot (t_i - t_{cp})$	$(t_i - t_{cp})^2$
-38,07322587	20306,25
-32,76448618	16256,25
-26,57815107	12656,25
-20,44803904	9506,25
-14,5970265	6806,25
-9,654666944	4556,25
-5,666891111	2756,25
-2,914762668	1406,25
-1,047866326	506,25
-0,108110438	56,25
-0,191929572	56,25
-1,196517737	506,25
-2,789279015	1406,25
-5,426836306	2756,25
-8,992435978	4556,25
-13,52941692	6806,25
-20,67020978	9506,25
-25,70978852	12656,25
-32,36578085	16256,25
-41,13054131	20306,25

$$\text{Тогда } K = -0,002030783$$

Погрешность любым способом будет получаться 0, поэтому из графика берём погрешность 0,00001

Для нахождения теплоты плавления λ , удельной теплоты кристаллизации и изменения энтропии $S_2 - S_1$ воспользуемся формулами из пункта 5 и табличными величинами оттуда же:

$$\lambda = (c_0 + c_A \cdot \frac{M_A}{M_0}) \cdot \Delta t_{кр} \cdot K(T_{кр} - T_0)$$

$$S_2 - S_1 = -\frac{\lambda M_0}{T_{кр}}$$

Тогда

$$\lambda = 54,69459691 \text{ кДж/кг}$$

$$S_2 - S_1 = 13,73388557 \text{ Дж/К}$$

Абсолютная погрешность:

$$\Delta\lambda = 27,36487783$$

$$\Delta(S_2 - S_1) = 6,874619498$$

11. Окончательные результаты.

$$T_{пл} = (227 \pm 3,5) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 54,69459691 \text{ кДж/кг}$$

12. Выводы и анализ результатов работы.

Полученная в ходе эксперимента температура плавления олова близка к табличному значению $((232 \pm 1) \text{ } ^\circ\text{C})$.

Полученная в ходе эксперимента удельная теплота плавления олова близка к табличному значению (59,6 кДж/кг)

В ходе лабораторной работы я изучила основные понятия термодинамики, научилась считать энтропию системы, научилась читать и понимать графики зависимости изменения энтропии от времени и вспомнила основные способы расчёта погрешностей.

16. Замечания преподавателя (исправления, вызванные замечаниями преподавателя, также помещают в этот пункт).

Примечание:

- 1. Пункты 1-13 Протокола-отчета обязательны для заполнения.**
- 2. Необходимые исправления выполняют непосредственно в протоколе-отчете.**
- 3. Для построения графиков используют только миллиметровую бумагу.**
- 4. Приложения 1 и 2 вкладывают в бланк протокола-отчета.**