

Группа	ФИЗ-1 Э БИТ 1.2.1	К работе допущены	
Студенты	Бардышев Артём	Работа выполнена	
	Суханкулиев Мухаммет		
	Сухоруков Пётр		
Преподаватель		Отчет принят	

## Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №2.05

### Определение удельной теплоты кристаллизации и изменения энтропии при охлаждении олова

#### 1. Цели работы.

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

#### 2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

1. Построить график зависимости температуры от времени.
2. Определить температуру кристаллизации олова.
3. Вычислить удельную теплоту кристаллизации и изменение энтропии.

#### 3. Объект исследования.

Олово.

#### 4. Метод экспериментального исследования.

Наблюдение кристаллизации олова в экспериментальной установке.

#### 5. Рабочие формулы и исходные данные.

Исходные данные:

Масса олова:  $M_O = (150,00 \pm 0,01)$  гр

Масса стакана:  $M_{ст} = (55,00 \pm 0,01)$  гр

Удельная теплоёмкость олова:  $c_O = (0,230 \pm 0,001) \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

Удельная теплоёмкость стакана:  $c_{ст} = (0,840 \pm 0,001) \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

### Формулы:

1. Температура кристаллизации:  $T_{\text{кр}} = T'_{\text{кр}} + T_0$
2. Погрешность:  $\Delta T_{\text{кр}} = \frac{1}{2} (T'(T_a) - T'(T_0))$
3. Удельная теплота кристаллизации:  $\lambda = (c_0 + c_{\text{ст}} \cdot \frac{M_{\text{ст}}}{M_0}) \cdot \Delta t_{\text{кр}} \cdot K (T_{\text{кр}} - T_0)$
4. Приращение энтропии при обратимом процессе:  $S_2 - S_1 = -\frac{\lambda M_0}{T_{\text{кр}}}$
5. Относительная погрешность  $\lambda$ :  $\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \sqrt{(\frac{\Delta t_{\text{кр}}}{t_{\text{кр}}})^2 + (\frac{\Delta K}{K})^2 + (\frac{\Delta T_{\text{кр}}}{T_{\text{кр}} - T_0})^2}$
6. Относительная погрешность  $S_2 - S_1$ :  $\frac{\Delta(S_2 - S_1)}{(S_2 - S_1)} = \sqrt{(\frac{\Delta \lambda}{\lambda})^2 + (\frac{\Delta M_0}{M_0})^2 + (\frac{\Delta T_{\text{кр}}}{T_{\text{кр}}})^2}$

### 6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Используемый диапазон
1	Термометр	0–240 °С
2	Секундомер	0–825 с

### 7. Схема установки.

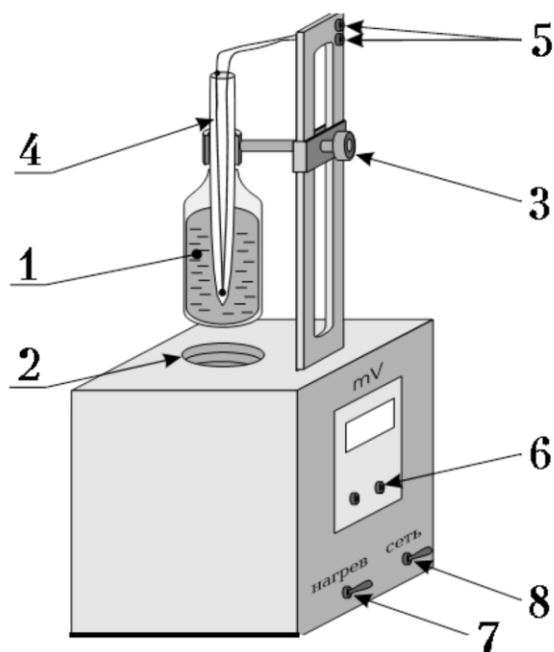


Схема экспериментальной установки

Ампула с оловом 1 с помощью винта 3 может быть закреплена в двух положениях: в электрической печи 2 или в поднятом состоянии. Внутри ампулы находится металлическая трубка-чехол с хромель-копелевой термопарой 4. Концы термопары соединены с гнездами на штанге стенда 5, которые для выполнения работы необходимо соединить с входными гнездами милливольтметра 6. Подключение электрической печи к сети осуществляется тумблером «нагрев» 7. Тумблер «сеть» 8 служит для подачи напряжения на стенд.

## 8. Результаты прямых измерений и их обработки.

**Таблица 1:** Результаты прямых измерений температуры в зависимости от времени.

Область I – область полного расплава.

$t, c$	$T, ^\circ C$
0	240
15	235
30	228

Область II – область кристаллизации.

$t, c$	$T, ^\circ C$
45	225
60	225
75	224
90	224
105	224
120	223
135	223
150	223
165	223
180	222
195	222
210	222
225	222
240	222
255	222
270	222
285	221
300	221
315	221
330	220

Область III – область охлаждения твердого олова.

$t, c$	$T, ^\circ C$
345	217
360	210
375	205
390	200
405	195
420	191
435	187
450	182
465	178

480	174
495	171
510	167
525	164
540	161
555	158
570	155
585	152
600	149
615	146
630	143
645	141
660	138
675	136
690	134
705	131
720	129
735	127
750	125
765	123
780	121
795	119
810	117
825	115

Температура помещения:  $T_0 = 26\text{ }^{\circ}\text{C}$

## 9. Расчет результатов косвенных измерений.

По графику 11.1 находим время  $\Delta t_{\text{кр}} = 285\text{ с}$

Так же  $T'_{\text{кр}} = 223\text{ }^{\circ}\text{C}$

По формуле (1) находим  $T_{\text{кр}} = 249\text{ }^{\circ}\text{C}$

**Таблица 2:** Значения  $\ln(T - T_0)$  в зависимости от времени (Для участка III).

$t, \text{ с}$	$\ln(T - T_0)$
345	5,252
360	5,215
375	5,187
390	5,159
405	5,130
420	5,106
435	5,081
450	5,050

465	5,024
480	4,997
495	4,977
510	4,949
525	4,927
540	4,905
555	4,883
570	4,860
585	4,836
600	4,812
615	4,787
630	4,762
645	4,745
660	4,718
675	4,700
690	4,682
705	4,654
720	4,635
735	4,615
750	4,595
765	4,575
780	4,554
795	4,533
810	4,511
825	4,489

По графику 11.2 и методом наименьших квадратов (4) находим значение  $K \approx -0,0015$  (угловой коэффициент данного графика зависимости)

Тогда  $\Delta K = 0,00011279181 \approx 0,000113$

По формуле (3)  $\lambda = 50057,95176 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \approx 50,058 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

И по (4)  $S_2 - S_1 \approx 30,1554 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$

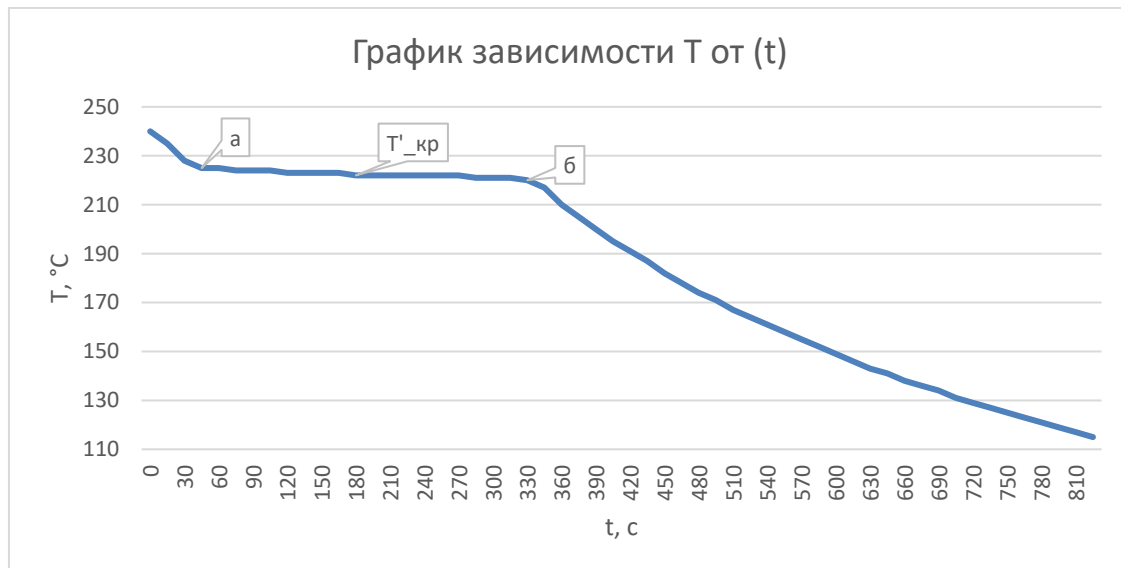
## 10. Расчет погрешностей измерений.

$\Delta T_{\text{кр}} = 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}$  (2)

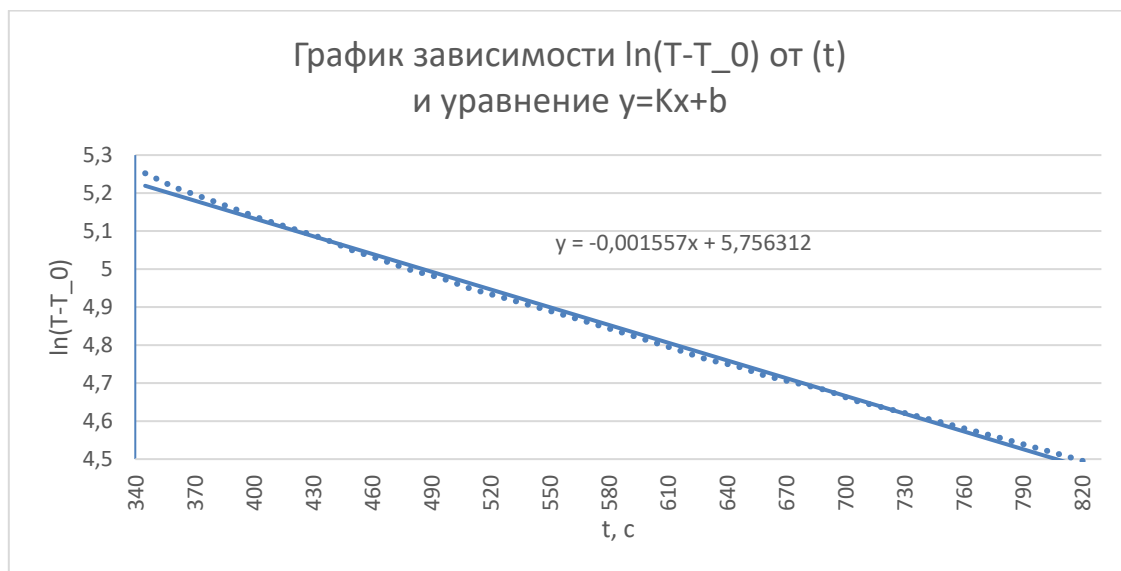
$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} \approx 0,867$  (5)

$\frac{\Delta(S_2 - S_1)}{(S_2 - S_1)} \approx 0,87$  (6)

## 11. Графики.



1.



2.

## 12. Окончательные результаты.

$$\lambda \approx 50,058 \pm 0,867 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$T_{\text{кр}} = 241 \pm 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$S_2 - S_1 \approx 30,1554 \pm 0,87 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

## 13. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе лабораторной работы были успешно достигнуты поставленные цели. Было определено изменение энтропии при фазовом переходе первого рода на примере кристаллизации олова из расплава при его охлаждении. Также была определена теплота кристаллизации олова на основе закона сохранения энергии.

Так же вычисленные температура кристаллизации и удельная теплота кристаллизации примерно совпадают с табличными значениями  $T_{\text{кр}} = 232 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $\lambda = 60,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ .

## 14. Дополнительные задания.

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение процессу кристаллизации.
2. Почему в процессе кристаллизации происходит выделение теплоты?
3. Какой термодинамический процесс называется квазистатическим? Является ли таковым процесс охлаждения ампулы с оловом в данной работе?
4. Почему по движению шарика мы судим о трении между слоями жидкости, а не о трении между шариком и жидкостью?
5. Дайте определение энтропии системы.
6. Почему говорят, что энтропия определена с точностью до постоянной? Сформулируйте третье начало термодинамики
7. Можно ли охладить расплавленное вещество ниже температуры кристаллизации без начала образования твердой фазы? Что происходит, когда переохлажденное вещество начинает кристаллизоваться?
8. Каким образом в данной работе определяется время кристаллизации и температура кристаллизации олова?
9. Почему построение зависимости ЭДС термопары от времени проводится в полулогарифмическом масштабе?
10. Что такое удельная теплота кристаллизации, каким образом ее величина определяется в данной работе?
11. Как изменяется энтропия системы в процессе кристаллизации? Каким образом в данной работе вычисляется изменение энтропии?
12. Как вычислить приращение энтропии при изобарном и изохорном нагревании идеального газа?
13. Как изменяется энтропия в ходе обратимого адиабатного процесса?
14. Как вычислить приращение энтропии идеального газа при необратимом процессе?
15. Как вычислить приращение энтропии при нагревании некоторого известного вещества (агрегатное состояние вещества в процессе нагревания не изменяется)?

## 15. Выполнение дополнительных заданий.

1. Кристаллизация — это процесс, при котором атомы или молекулы вещества образуют кристаллическую структуру.
2. В процессе кристаллизации происходит выделение теплоты, потому что это экзотермический процесс. Энергия, которая была затрачена на расплавление, высвобождается при переходе в твердое состояние.
3. Квазистатический процесс — это такой термодинамический процесс, который происходит достаточно медленно, чтобы система всегда оставалась в состоянии термодинамического равновесия. Процесс охлаждения ампулы с оловом в данной работе может быть приближен к квазистатическому, если он происходит медленно.
4. По движению шарика мы судим о трении между слоями жидкости, а не о трении между шариком и жидкостью, потому что шарик движется внутри жидкости и взаимодействует с ее слоями.
5. Энтропия — это мера беспорядка в системе. В термодинамике это количественная характеристика неравновесности системы.
6. Говорят, что энтропия определена с точностью до постоянной, потому что абсолютное значение энтропии не имеет физического смысла, важны лишь ее изменения. Третье начало термодинамики гласит: “Энтропия вещества в абсолютном нуле температуры равна нулю”.
7. Теоретически, можно охладить расплавленное вещество ниже температуры кристаллизации без начала образования твердой фазы, это явление называется переохлаждением. Однако при малейшем возмущении переохлажденное вещество начинает кристаллизоваться.
8. В данной работе время кристаллизации и температура кристаллизации олова определяются по графику зависимости температуры от времени.
9. Построение зависимости ЭДС термопары от времени проводится в полулогарифмическом масштабе для удобства анализа данных, так как это позволяет лучше видеть изменения на больших интервалах времени.
10. Удельная теплота кристаллизации — это количество теплоты, которое необходимо для перевода единицы массы вещества из твердого состояния в расплавленное при постоянном давлении. В данной работе ее величина определяется на основе закона сохранения энергии.
11. Энтропия системы уменьшается в процессе кристаллизации, так как происходит переход от более хаотичного состояния (расплав) к более упорядоченному (кристалл). В данной работе изменение энтропии вычисляется на основе удельной теплоты кристаллизации и температуры кристаллизации.



12. Приращение энтропии при изобарном и изохорном нагревании идеального газа вычисляется по формуле

$$\Delta S = nC \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right),$$

где  $n$  – количество молей газа,  $C$  – молярная теплоемкость при соответствующем процессе,  $T_1$  и  $T_2$  – начальная и конечная температуры.

13. Энтропия в ходе обратимого адиабатного процесса остается постоянной, так как это процесс без теплообмена.

14. Приращение энтропии идеального газа при необратимом процессе можно вычислить, зная начальное и конечное состояния системы, и представив этот процесс как последовательность двух обратимых процессов: изобарного и изохорного.

15. Приращение энтропии при нагревании вещества вычисляется по формуле

$$\Delta S = mC \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right),$$

где  $m$  – масса вещества,  $C$  – удельная теплоемкость вещества,  $T_1$  и  $T_2$  – начальная и конечная температуры. При этом предполагается, что вещество остается в одном и том же агрегатном состоянии на протяжении всего процесса нагревания.

### **Список использованных источников**

1. Савельев И.В. Курс физики (в трех томах), т. 1,-М. Наука, 1990.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики, М. Высшая школа, 2000.
3. Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб. Пособие для вузов.-М.: Академия, 2005. – 542 с.
4. Курепин В.В., Баранов И.В. Обработка экспериментальных данных: Метод. Указания к лабораторным работам для студентов всех спец. Под ред. В.А. Самолетова. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2003. – 57 с.