

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ  
УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ АЛЮМИНИЯ  
МЕТОДОМ ОХЛАЖДЕНИЯ**

**Методические указания**

**к лабораторной работе № 21  
по дисциплине «Физика»**

**Уфа 2013**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Кафедра физики

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ  
УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ АЛЮМИНИЯ  
МЕТОДОМ ОХЛАЖДЕНИЯ

Методические указания

к лабораторной работе № 21  
по дисциплине «Физика»

Уфа 2013

Составитель В.С. Осипов

УДК 536.75(07)

ББК 22.317(Я7)

Методические указания к лабораторной работе № 21 по дисциплине «Физика» «Исследование температурной зависимости удельной теплоемкости алюминия методом охлаждения» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. В.С. Осипов– Уфа, 2013, – 10 с.

В работе находится зависимость удельной теплоемкости алюминия от температуры путем сопоставления скоростей охлаждения образцов из алюминия и меди. Кратко рассмотрена классическая теория теплоемкости твердых тел и теория метода охлаждения, описана методика выполнения измерений и расчетов.

Предназначены для студентов технических ВУЗов, изучающих дисциплину «Физика» по разделу «Молекулярная физика и термодинамика», для всех реализуемых направлений подготовки бакалавров.

Ил. 1. Табл. 2. Библиогр.: 1 назв.

Рецензенты: д-р ф.-м. н., доцент Михайлов Г.П.,  
к.т.н., доцент Тлявлин А.З.

©Уфимский государственный  
авиационный технический университет, 2013

## Содержание

Введение .....	4
1. Цель работы.....	4
2. Задачи.....	4
3. Теоретическая часть .....	4
3.1. Теплоемкость твердых кристаллических тел и закон Дюлонга-Пти.....	4
3.2. Теория метода охлаждения.....	6
4. Экспериментальная установка.....	7
5. Требования по технике безопасности .....	8
6. Задания.....	8
7. Методика выполнения заданий .....	8
8. Контрольные вопросы .....	10
9. Требования к содержанию и оформлению отчета .....	10
10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы....	10
Список литературы .....	10

# Лабораторная работа № 21

## Исследование температурной зависимости удельной теплоемкости алюминия методом охлаждения

### Введение

Теплоемкость является одной из наиболее часто используемых характеристик тепловых свойств тел. По классической теории она не зависит от температуры, но как показывают опыты, так обстоит дело только при достаточно высоких температурах, для твердых кристаллических тел – по сравнению с температурой Дебая. Поэтому корректное использование значения теплоемкости при расчетах в конкретном интервале изменения температуры тела требует знания температурной зависимости его теплоемкости.

### 1. Цель работы

Получение зависимости удельной теплоемкости алюминия от температуры и экспериментальная проверка закона Дюлонга-Пти.

### 2. Задачи

1. Закрепление знания теории теплоемкости твердых тел.
2. Получение температурной зависимости удельной теплоемкости алюминия и ее анализ.

### 3. Теоретическая часть

#### 3.1. Теплоемкость твердых кристаллических тел и закон Дюлонга-Пти

Теплоемкостью тела  $C_T$  называют количество теплоты, необходимое для нагревания тела на 1К, удельной теплоемкостью  $c$  – количество теплоты, необходимое для нагревания 1 кг вещества на 1К, а молярной теплоемкостью  $C$  – количество теплоты, необходимое для нагревания одного моля вещества на 1К. Количество теплоты  $dQ$ , необходимое для нагревания данного тела на  $dT$  градусов, можно вычислить через любую теплоемкость

$$dQ = C_T dT = c m dT = C \nu dT, \quad (3.1)$$

где  $m$  и  $\nu$  – соответственно масса вещества и его количество (число молей). Все теплоемкости связаны простыми соотношениями

$$C_T = c m, C_T = \nu C, C = c \mu, \quad (3.2)$$

где  $\mu$  – молярная масса вещества тела.

Количество теплоты, сообщаемое телу при его нагревании, по первому закону термодинамики равно сумме изменения его внутренней энергии и совершаемой им работе. При неизменном объеме тела работа не совершается. В этом случае теплоемкость определяется только изменением внутренней энергии тела. Эту теплоемкость принято называть теплоемкостью при постоянном объеме и обозначать индексом  $V$ .

В кристаллах частицы вещества (атомы, ионы) достаточно прочно связаны между собой силами, зависящими от расстояния между ними. Поэтому их тепловое движение сводится к колебаниям около некоторых равновесных положений, называемых узлами кристаллической решетки. Увеличение внутренней энергии кристалла главным образом происходит за счет увеличения энергии этих колебаний. В металлах внутренняя энергия увеличивается и за счет энергии теплового движения свободных электронов проводимости, но их вклад существенен лишь при очень низкой температуре.

В основе классической теории теплоемкости кристаллических тел лежит закон равномерного распределения энергии теплового движения частиц по степеням свободы. Кристалл представляется совокупностью частиц, совершающих колебательное движение с одинаковой частотой и имеющих 3 степени свободы (число координат, определяющих положение частицы в пространстве). Согласно закону равномерного распределения на каждую колебательную степень свободы приходится энергия, в среднем равная  $kT$ , где  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура. Тогда средняя энергия одной частицы равна  $3kT$ , а внутренняя энергия одного моля вещества  $U_1$  найдется умножением этой энергии на число Авагадро  $N_A$

$$U_1 = 3kT N_A = 3RT, \quad (3.3)$$

где  $R = k N_A$  – газовая постоянная. В итоге молярная теплоемкость кристалла при постоянном объеме оказывается равной

$$C_V = \frac{dQ}{\nu dT} = \frac{d(\nu U_1)}{\nu dT} = 3R \approx 25 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}. \quad (3.4)$$

Объем твердых и жидких тел при нагревании на один градус, строго говоря, изменяется, но очень незначительно, поэтому их

работой обычно пренебрегают и полагают теплоемкость не зависящей от процесса нагревания, т.е. равной теплоемкости при постоянном объеме.

Принимая во внимание сказанное, можно полагать, что молярная теплоемкость у всех химических простых кристаллов одинакова и при любой температуре равна  $3R$ . Это утверждение называют законом Дюлонга-Пти. Однако экспериментально доказано, что  $3R$  является лишь предельным значением, которое достигается с повышением температуры. У многих веществ это происходит при температуре, не намного выше комнатной, к числу которых относятся металлы. У сложных соединений этот предел не достигается, т.к. они до того либо плавятся, либо разлагаются на более простые. При низких температурах закон Дюлонга-Пти не выполняется, что свидетельствует об ограниченности классической теории теплоемкости кристаллов. Критерием, позволяющим судить о том, какие температуры являются низкими, а какие высокими, служит так называемая характеристическая температура Дебая  $T_D$ . У каждого кристаллического тела она своя, т.к. она существенно зависит от строения кристалла и природы образующих его частиц. При температурах  $T \ll T_D$  теплоемкость с уменьшением температуры уменьшается пропорционально ее кубу, а при  $T \gg T_D$  она практически постоянна.

### 3.2. Теория метода охлаждения

Передача тепла предварительно нагретым телом окружающей среде происходит через его поверхность. Если температура во всех точках тела при теплопередаче одинакова, как одинакова она и во всех точках непосредственно примыкающей к нему части среды, то количество теплоты  $dQ$ , отдаваемое телом через поверхность площадью  $S$  за время  $d\tau$ , пропорционально  $S, d\tau$  и разности температур тела ( $T$ ) и среды ( $T_0$ )

$$dQ = \alpha(T - T_0) S d\tau, \quad (3.5)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплопередачи. Если же при этом передача тепла происходит так, что температура тела во всех его точках изменяется одинаково, то

$$\alpha(T - T_0) S d\tau = -cm dT, \quad (3.6)$$

где  $m$  и  $c$  – масса и удельная теплоемкость вещества тела. Знаком

минус учитывается, что при охлаждении  $dT < 0$ .

Равенство (3.6) можно представить в виде

$$c m \frac{dT}{d\tau} = \alpha(T_0 - T) S. \quad (3.7)$$

Для двух тел, различающихся химическим составом, но имеющих одинаковую форму, размеры и состояния поверхностей, коэффициенты теплопередачи можно полагать равными. В таком случае при равных температурах тел и одинаковых условиях их окружения из (3.7) следует

$$c_1 m_1 \left( \frac{dT}{d\tau} \right)_1 = c_2 m_2 \left( \frac{dT}{d\tau} \right)_2, \quad (3.8)$$

где  $c_1, m_1$  и  $c_2, m_2$  – соответственно удельная теплоемкость и масса одного и другого тела. Таким образом, зная массы двух тел и удельную теплоемкость  $c_1$  одного из них при конкретной температуре, удельную теплоемкость другого при той же температуре, можно вычислить по формуле

$$c_2 = c_1 \frac{m_1}{m_2} \frac{\left( \frac{dT}{d\tau} \right)_1}{\left( \frac{dT}{d\tau} \right)_2}, \quad (3.9)$$

если будут известны скорости изменения температур тел со временем при указанной температуре. Эти скорости можно найти методом графического дифференцирования экспериментально полученных зависимостей температуры тел от времени охлаждения. Вычисления можно упростить, не сильно потеряв при этом в точности, если заменить в (3.9) бесконечно малые величины  $dT$  и  $d\tau$  конечными достаточно малыми  $\Delta T$  и  $\Delta\tau$  и при этом интервал  $\Delta T$  брать при расчетах всегда одним и тем же. В этом случае из (3.9) получаем

$$c_2 = c_1 \frac{m_1}{m_2} \frac{\Delta\tau_2}{\Delta\tau_1}. \quad (3.10)$$

#### 4. Экспериментальная установка

Установка состоит из двух функциональных блоков: термоблока ТБ и цифрового термометра ЦТ (рис. 4.1). В термоблоке установлены электропечи 1 с находящимися в них алюминиевым и медным образцами 2. Датчиками температуры служат подключенные



к цифровому термометру термопары 3, находящиеся в контакте с образцами.

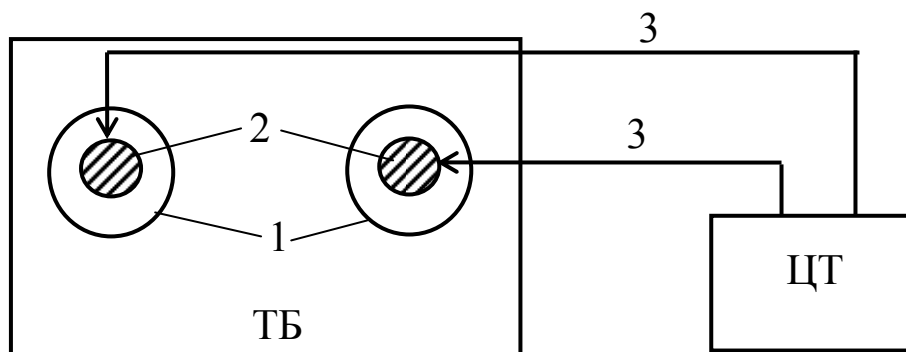


Рис. 4.1

## 5. Требования по технике безопасности

1. Запрещается класть какие-либо предметы на термоблок.
2. Нельзя оставлять включенную установку без присмотра.
3. Необходимо внимательно следить за температурой образцов при их нагревании. Она не должна превышать  $200^{\circ}\text{C}$ .

## 6. Задания

1. Получение зависимости температуры медного и алюминиевого тел от времени при их охлаждении в интервале температур  $60^{\circ}\text{C}$ - $160^{\circ}\text{C}$ .
2. Получение зависимостей удельной теплоемкости алюминия от температуры в этом интервале.
3. Оценка температуры Дебая для алюминия по графику зависимости его удельной теплоемкости от температуры.

## 7. Методика выполнения заданий

1. Установите переключатель режимов работы термоблока в положение «Сш».
2. Включите электропитание термоблока и цифрового термометра.
3. Нагрейте медный образец до температуры  $170^{\circ}\text{C}$ - $180^{\circ}\text{C}$  и отключите печь. Некоторое время температура образца будет продолжать расти за счет тепловой инерционности печи, а затем начнет понижаться. Начиная со  $160^{\circ}\text{C}$ , отмечайте время  $\tau$ , через которое она станет равной  $150^{\circ}\text{C}$ ,  $140^{\circ}\text{C}$  и т.д., пока не дойдете до  $60^{\circ}\text{C}$ . Данные измерений занесите в табл. 1.

Таблица 1

$T, ^\circ\text{C}$		160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60
$\tau, \text{c}$	Cu											
	Al											

4. Установите переключатель режимов в положение «Al» и следуя п.2 и п.3, проведите измерения для алюминиевого образца по той же методике, что и для медного.

5. Постройте графики зависимости температуры  $T$  от времени охлаждения  $\tau$  для медного и алюминиевого образцов. По этим графикам выделите для каждого из них интервалы времени  $\Delta\tau$  охлаждения от  $160^\circ\text{C}$  до  $150^\circ\text{C}$ , затем от  $150^\circ\text{C}$  до  $140^\circ\text{C}$  и т.д., следуя через каждые  $10^\circ\text{C}$  вплоть до интервала охлаждения от  $70^\circ\text{C}$  до  $60^\circ\text{C}$ . Каждому из этих временных интервалов соответствует своя скорость охлаждения  $\frac{\Delta T}{\Delta\tau}$ , которую в среднем можно отнести к температуре  $T_c$ , равной среднеарифметическому значению температур, взятых в начале и в конце данного интервала времени  $\Delta\tau$ . Найденные значения  $\Delta\tau$  занести в табл. 2.

Таблица 2

$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$\Delta\tau, \text{c}$		$T_c, ^\circ\text{C}$	$C_{\text{Al}}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
	Cu	Al		
160-150			155	
150-140			145	
140-130			135	
130-120			125	
120-110			115	
110-100			105	
100-90			95	
90-80			85	
80-70			75	
70-60			65	

6. По формуле (3.10) для каждой температуры  $T_c$  рассчитайте удельную теплоемкость алюминия  $C_a$  и постройте график ее зависимости от  $T_c$ . Поскольку измеряемые температуры ниже характеристической температуры Дебая для меди, равной  $309\text{K}$ , то

при расчетах используйте близкое к предельному значение удельной теплоемкости меди  $395 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ . Массы образцов указаны на панели термоблока. По виду графика сделайте вывод о температуре Дебая для алюминия.

### **8. Контрольные вопросы**

1. Что называют удельной теплоемкостью тела, молярной теплоемкостью?
2. Как связаны между собой различные теплоемкости?
3. Какой закон лежит в основе классической теории теплоемкости твердых тел? Что он утверждает?
4. Справедлив ли закон Дюлонга-Пти во всем интервале температур?
5. Какие температуры считаются низкими, а какие высокими, если речь идет о теплоемкости твердых тел?
6. Как выглядит график зависимости удельной теплоемкости кристаллического тела от температуры?

### **9. Требования к содержанию и оформлению отчета**

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

1. Номер, название и цель работы.
2. Основные теоретические положения теории теплоемкости и используемого в работе метода.
3. Результаты измерений и расчетов, представленные в форме таблиц 1 и 2, графики зависимостей температуры образцов из алюминия и меди от времени охлаждения и график зависимости удельной теплоемкости алюминия от температуры.
4. Предполагаемое значение температуры Дебая для алюминия.

### **10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы**

1. Знание понятий различных теплоемкостей, основ классической теории теплоемкости твердых кристаллических тел, закона Дюлонга-Пти и его ограниченности.
2. Качество выполнения эксперимента и вычислений, а также результатов.
3. Правильность оценки температуры Дебая для алюминия.

### **Список литературы**

1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Academia, 2007. – С. 100-104, 140, 141.

Составитель ОСИПОВ Валерий Сергеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ  
УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ АЛЮМИНИЯ  
МЕТОДОМ ОХЛАЖДЕНИЯ

Методические указания

к лабораторной работе № 21  
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2013. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отг. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 300 экз. Заказ №

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный  
технический университет

Редакционно-издательский комплекс УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12