

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра общей физики

Н.А.МАНАКОВ, В.А.ПОМАЗКИН, Е.В.ЦВЕТКОВА

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ СПЛАВА И ПРИРАЩЕНИЯ ЕГО ЭНТРОПИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 131

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом  
государственного образовательного учреждения высшего  
профессионального образования «Оренбургский государственный  
университет».

Оренбург 2009

УДК 536.5(07)  
ББК 22.317я7  
М 23

Рецензент:

кандидат физико-математических наук, доцент Влацкий Ф.Д.

**Манаков, Н.А.**

**М 23** **Определение температуры плавления сплава и приращения его энтропии: методические указания к лабораторной работе № 131 /Н.А.Манаков, В.А.Помазкин, Е.В.Цветкова, - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. – 9 с**

Методические указания предназначены для студентов дневного, вечернего и заочного факультетов технических специальностей для выполнения лабораторной работы № 131 «Определение температуры плавления сплава и приращение его энтропии».

ББК 22.317я7

© Манаков Н.А., 2009

© ГОУ ОГУ, 2009

## Лабораторная работа № 131

### Определение температуры плавления сплава и приращения его энтропии

#### Цель работы:

1. Познакомиться с определением понятия энтропии.
2. Экспериментально определить температуру плавления сплава Розе и приращение его энтропии.

#### Введение

Известно, что любое физическое тело может находиться в одном из четырех агрегатных состояний:

- 1) твердое,
- 2) жидкое,
- 3) газообразное,
- 4) плазма.

В зависимости от температуры (внутренней энергии), тела могут существовать одновременно в двух соседних агрегатных состояниях: твердое тело – жидкость, жидкость – пар, пар – плазма. Чем большей тепловой энергией обладают молекулы вещества, тем беспорядочнее они движутся. В газообразном состоянии в движении молекул наблюдается полный хаос – т.е. молекулы движутся совершенно хаотично, равновероятно во всех направлениях. Скорость их теплового движения определит внутреннюю энергию тела и его температуру.

В жидком агрегатном состоянии, хотя молекулы по-прежнему продолжают перемещаться равновероятно во всех направлениях, однако в их движении уже наблюдается *ближний порядок*. В каждый данный момент времени любая из молекул движется хаотично вместе с вполне определенным числом других окружающих её молекул. Это число ближайших соседей называется *координационным числом или антуражем*.

В твердотельном агрегатном состоянии молекулы, оставаясь на своих местах, совершают хаотичные колебания, равновероятные во всех направлениях, около некоторых положений равновесия. В твердом агрегатном состоянии молекулы сильнее связаны между собой, поэтому в расположении молекул наблюдается как ближний, так и дальний порядок. *Дальним порядком* называется такое расположение молекул, при котором расстояние между ними в любом направлении всегда имеет вполне определенное значение, постоянное для данного направления. Переходя из жидкого состояния в твердое, вещества реализуются в *кристаллические, аморфные или стеклообразные формы*. Наибольшее значение в жизни и в технике имеют кристаллические тела. Молекулы этих тел при переходе в твердое состояние образуют кристаллическую решетку. Вполне

естественно, по мере уменьшения «беспорядка» во взаимном расположении молекул, резко изменяются их физико-технические свойства. Чтобы оценить степень беспорядка в расположении атомов и молекул физических систем, было введено такое понятие, как *энтропия*. Сам термин происходит от греческого глагола *ἐντροπείν*, означающего преобразовать (превратить) и был введен одним из основоположников термодинамики – Клаузиусом.

Энтропия является функцией состояния системы, поскольку не зависит от пути перехода из одного состояния в другое, и поэтому может служить таким же параметром состояния тела (например газа) как температура, давление, объём, масса, плотность.

Вспомним, как будет изменяться температура твердого тела при нагревании (рисунок 1).

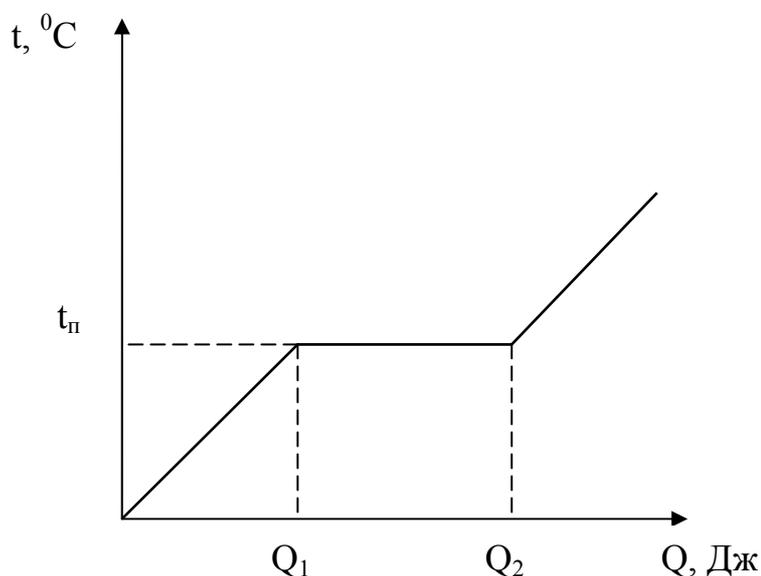


Рисунок 1

При получении тепловой энергии от 0 до Q<sub>1</sub>, температура тела растет практически линейно и Q можно рассчитать по формуле:

$$Q_1 = mc (t_{п} - t_{к}) = cm\Delta t \quad (1)$$

где: m – масса тела,  
 c – его удельная теплоемкость,  
 t<sub>п</sub> – температура плавления,  
 t<sub>к</sub> – комнатная температура.

В интервале от Q<sub>1</sub> до Q<sub>2</sub> температура тела остается постоянной, т.к. полученное тепло идет на разрушение кристаллической решетки.

Тепловую энергию, необходимую для того, чтобы полностью расплавить тело массой  $m$  при температуре плавления, можно рассчитать по формуле:

$$Q_2 = m\lambda \quad (2)$$

где  $\lambda$  – удельная теплота плавления.

По графику зависимости температуры тела от подводимой к нему тепловой энергии, можно определить температуру его плавления. Она будет равна температуре, при которой на графике  $t(Q)$  возникает «плато», параллельное оси  $Q$ .

Энтропией Клаузиус назвал такую функцию состояния системы, полный дифференциал которой  $dS$  в обратимом элементарном процессе равен отношению бесконечно малого количества тепла  $dQ$ , сообщенного системе, к абсолютной температуре последней  $T$ :

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (3)$$

Для того, чтобы определить абсолютное значение энтропии  $S$ , необходимо интегрировать выражение (3). Но тогда мы найдем  $S$  с точностью до некоторой аддитивной константы  $C$ , которая будет зависеть от выбора начального состояния системы. В повседневной жизни для проведения расчетов с использованием энтропии, нам необходимо знать не абсолютное её значение, а изменение  $\Delta S$  при переходе из состояния  $a$  в состояние  $b$ :

$$\Delta S = \int_a^b \frac{dQ}{T} \quad (4)$$

Изменение энтропии, которое произойдет при нагревании тела до температуры плавления и дальнейшего перевода тела в жидкое агрегатное состояние при температуре плавления, можно определить следующим образом:

$$\Delta S = \int_{T_k}^{T_n} \frac{\partial Q_1}{T} + \int_1^2 \frac{\partial Q_2}{T} \quad (5)$$

Подставляя значения  $Q_1$  и  $Q_2$  из формул (1) и (2) и интегрируя формулу (5), получим:

$$\Delta S = cm \cdot \ln \frac{T_n}{T_k} + \frac{lm}{T_n}, \quad (6)$$

где:  $c$  – удельная теплоемкость,

$m$  – масса тела,  
 $\lambda$  – удельная теплота плавления,  
 $t_p$  – температура плавления,  
 $t_k$  – комнатная температура.

Таким образом мы определяем изменение энтропии тела при его нагревании.

### Описание экспериментальной установки

Лабораторные исследования проводятся на лабораторном комплексе ЛКТ-8, который состоит из 4 независимых блоков. Для определения изменения энтропии сплава Розе используются два из них (рисунок 2).

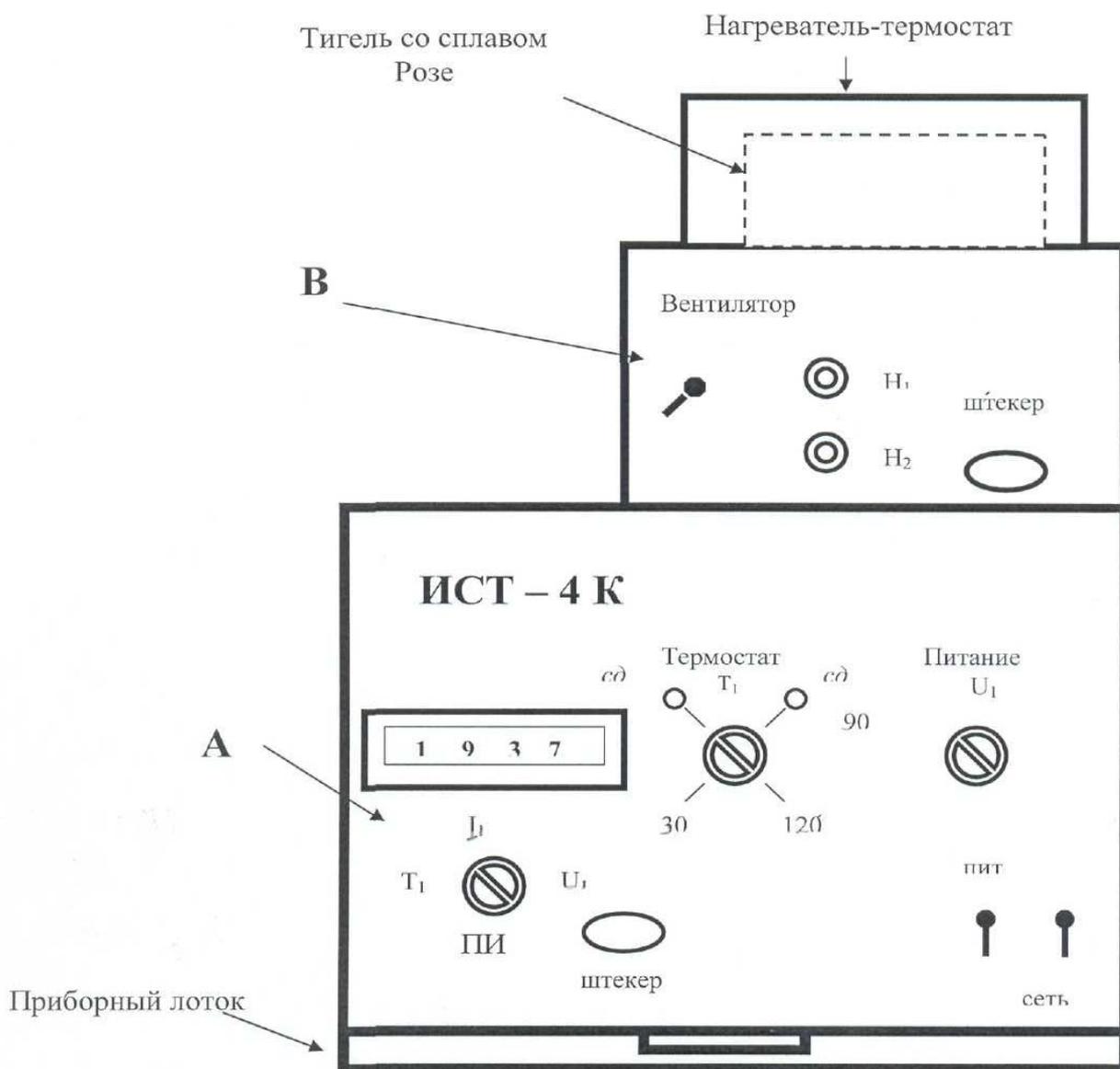


Рисунок 2 - Блок – схема экспериментальной установки ЛКТ-8

Блок А содержит регулируемый блок питания, измеритель температуры тигля, напряжения и тока тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ), режимы индикации которого регулируются курбильем ПИ ( $T_1$ ,  $I_1$ ,  $U_1$ ). Напряжение на тепловыделяющих элементах (ТВЭЛ) регулируется курбильем «Питание  $U_1$ ».

Температура тигля со сплавом регулируется и контролируется блоком В, принципиальная схема которого приведена на рисунке 3. Блок смонтирован на общей плите 1. Содержит нагреватель, состоящий из двух ТВЭЛов, теплоизолированный от окружающей среды разъемным экраном, обе половины которого прижимаются двумя друг к другу двумя наружными пружинами (на рисунке не показаны). Для интенсивного охлаждения нагревателя используется вентилятор, который включается и выключается тумблером «Вентилятор». Для дополнительного контроля напряжения на клеммах нагревателя и для измерения электросопротивления ТВЭЛов (при разъединенном штекере кабеля, соединяющего блоки А и В) имеются клеммы «Н<sub>1</sub>» и «Н<sub>2</sub>».

Для того, чтобы определить изменение энтропии сплава Розе при нагревании, необходимо снять зависимость изменения его температуры от количества сообщаемой ему тепловой энергии. Если в процессе нагревания тепловая мощность источника тепла остается неизменной, то согласно закону Джоля-Ленца, количество тепловой энергии будет пропорционально времени прохождения по ТВЭЛу электрического тока. Поэтому нам необходимо знать, как изменяется температура исследуемого сплава во времени, т.е. снять график зависимости  $T$  °С от  $t$  (секунд).

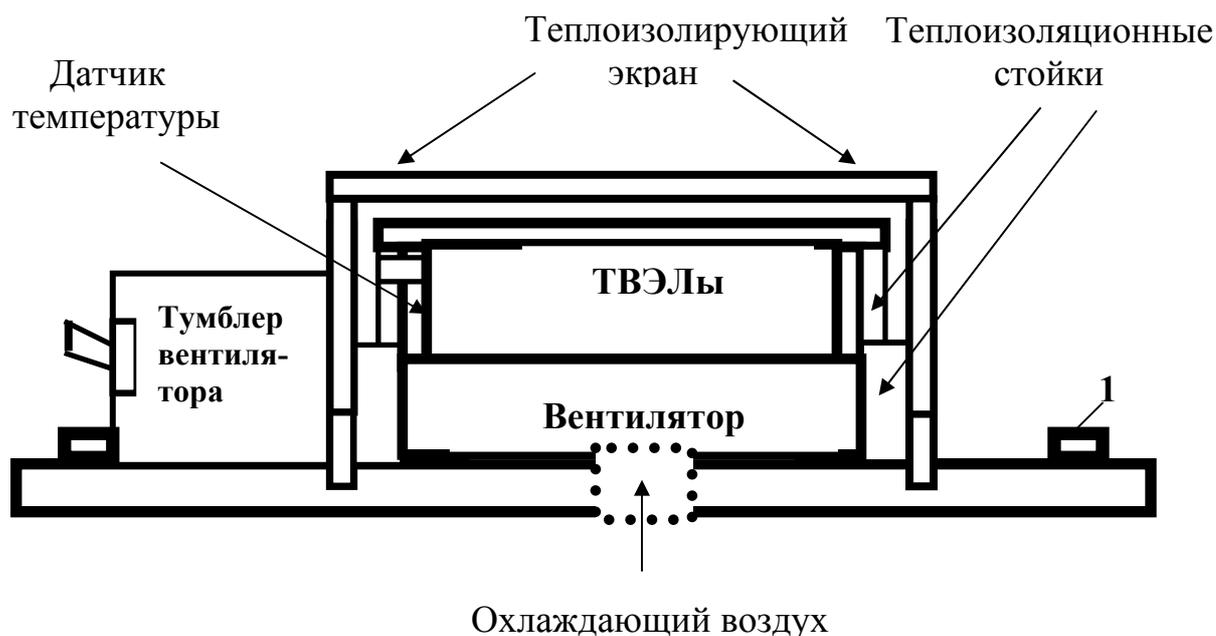


Рисунок 3 - Принципиальная схема блока В (вид сбоку).

## Порядок выполнения работы

Перед началом измерений убедитесь, что блоки **A** и **B** соединены с помощью разъёмов «Штекер» между собой.

1 Нанесите на плиту нагревателя (печи) 2-3 капли глицерина, сняв предварительно верхнюю часть теплоизолирующей рубашки. На плиту поместите тигель со сплавом Розе, накройте его верхней частью теплоизолятора и прижмите с помощью пружин.

2 Включить тумблер «Сеть». Регулятор «Термостат» повернуть по часовой стрелке до упора. Тумблером «Вентилятор» отключить вентилятор печи. Регулятор «Питание» повернуть против часовой стрелки до упора .

3 Подготовить к работе секундомер, который расположен в выдвижном приборном лотке блока **A**. Для этого, нажмите кнопку **D** и, убедившись, что секундомер отсчитывает время, остановите его. Обнулите показания секундомера кнопкой **S**. Секундомер к работе готов.

4 Тумблер «Питание» поставить в положение отключено (ручка вниз). Переключив ПИ в положение  $U_1$ , установить регулятором «Питание» напряжение на печи 16,2 – 16,5 вольт (показание индикатора). Включить тумблер «Питание». Переключив ПИ в положение  $I_1$ , измерить величину тока, идущего по нагревателю. Значение напряжения и тока записать и при дальнейших измерениях поддерживать их неизменными. Переключив ПИ в положение  $T_1$ , следить за изменением температуры тигля.

5 В момент, когда температура станет равной  $40^{\circ}\text{C}$ , кнопкой **D** запустить секундомер. При достижении температуры  $50^{\circ}\text{C}$ , нажать кнопку **S** и определить время  $t$ , за которое система нагрелась до  $T$  градусов (в нашем случае до  $T = 50^{\circ}\text{C}$  ). Нажатием кнопки **S** вновь запустить секундомер. **В дальнейшем для остановки и пуска секундомера вплоть до температуры  $124^{\circ}\text{C}$  пользоваться только кнопкой **S**.** Снять показания  $T$  для температур, указанных в таблице, и занести в неё соответствующие значения времени  $t$ .

Таблица 1

Нагрев			Охлаждение	
T, °C	t, с	Q, Дж	T, °C	t, с
40			40	
50			50	
60			60	
70			70	
80			80	
90			90	
92			92	
94			94	
96			96	
98			98	
100			100	
101			101	
102			102	
103			103	
104			104	
105			105	
106			106	
107			107	
108			108	
110			110	
112			112	
114			114	
116			116	
118			118	
120			120	
122			122	
124			124	

6 После того, как тигель был прогрет до 124 °C, остановить секундомер кнопкой D. Кнопкой S обнулить показания секундомера.

7 Тумблером «Питание» обесточить нагреватель (ручка тумблера вниз).

Когда температура тигля опустится до 122 °C, кнопкой D запустить секундомер и снять кривую остывания тигля со сплавом, используя для пуска и остановки секундомера только кнопку S. При остывании до 80 °C, включить вентилятор. Результаты измерений занести в таблицу в её часть «Охлаждение»

8 По данным графика, построенного по таблице (нагрев), определить температуру плавления сплава Розе. Сопоставьте кривые «нагрев» и «охлаждение».

9 По формуле (6) найдите приращение энтропии сплава Розе, которое произошло при изменении температуры от  $40^{\circ}\text{C}$  до полного плавления сплава. Масса сплава  $m = 0,1$  кг, удельная теплота плавления  $\lambda = 28 \cdot 10^3$  Дж/кг.

10 После окончания измерений регулятором «Питание» убрать напряжение на нагревателе (повернуть его против часовой стрелки до упора). Отключить прибор тумблером «Сеть».

### **Контрольные вопросы**

- 1 Какие агрегатные состояния вещества Вы знаете и их основные отличия?
- 2 Что такое энтропия и в каких единицах она измеряется?
- 3 Второе начало термодинамики. Каков его физический смысл?
- 4 Почему на графике изменения температуры при нагревании твердого тела возникает «плато» ?
- 5 Как объяснить разную крутизну графика  $T = f(t)$  до плавления (твердая фаза) и после плавления (жидкая фаза)?

### **Список использованных источников**

- 1 **Савельев, И.В.** Курс физики: учебник / И.В.Савельев. – М.: Наука, 1992. – 304 с.
- 2 **Трофимова, Т.И.** Курс физики: учебник / Т.И.Трофимова. – М.: Высшая школа, 1990. – 478 с.
- 3 **Яворский Б.М.** Справочное руководство по физике / Б.М.Яворский, Ю.А.Селезнев. – М.: Наука, 1989. – 575 с.