

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Цель работы: проверка закона Дюлонга и Пти для некоторых металлов при комнатной температуре.

Литература: [4] гл. 10 §§ 10.8–10.10; [11] гл. V §§ 68, 69; [19] гл. 4 § 4.5.

Приборы и принадлежности: калориметр, выпрямитель типа ВСА-5К, амперметр, миллиамперметр, цифровой вольтметр, стабилизатор напряжения.

ВВЕДЕНИЕ

В твердых кристаллических телах атомы или положительно заряженные ионы, находящиеся в узлах кристаллической решетки, совершают малые колебания около некоторого положения равновесия с частотой ν_0 . Считая колебания отдельных атомов независимыми друг от друга и принимая, что $kT \gg h\nu_0$ определим теплоемкость кристалла.

Каждый атом можно считать осциллятором, имеющим три колебательные степени свободы. При сделанных предположениях можно применить классическую теорему о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Средняя энергия, приходящаяся на одну колебательную степень свободы, равна kT (k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура). Каждый атом обладает тремя степенями свободы, а один моль вещества содержит N_A (число Авогадро) атомов. Следовательно, внутренняя энергия одного моля вещества $U = 3N_A kT$. Тогда молярная теплоемкость при постоянном объеме равна:

$$C_V = \frac{dU}{dT} = 3N_A k = 3R,$$

где R – универсальная газовая постоянная. Это соотношение носит название закона Дюлонга и Пти.

Эксперименты показали, что при высоких температурах (порядка комнатной и выше) большинство твердых тел достаточно хорошо подчиняется этому закону. Однако в области низких температур теплоемкость убывает с понижением температуры, причем $C \rightarrow 0$ при $T \rightarrow 0$, что удается объяснить только методами квантовой механики.

Целью данной работы является измерение теплоемкости твердых тел при высоких температурах. Методика проведения эксперимента заключается в следующем. Исследуемое тело нагревается электрическим способом в калориметре. Сначала определяется зависимость приращения температуры от времени для пустого калориметра, затем для калориметра с исследуемым телом. При этом ток I_H в обмотке нагревательной спирали калориметра неизменен. В отсутствие теплообмена с окружающей средой эти зависимости были бы линейными. В реальных условиях графики этих зависимостей имеют вид, изображенный на рисунке 5.14.1.

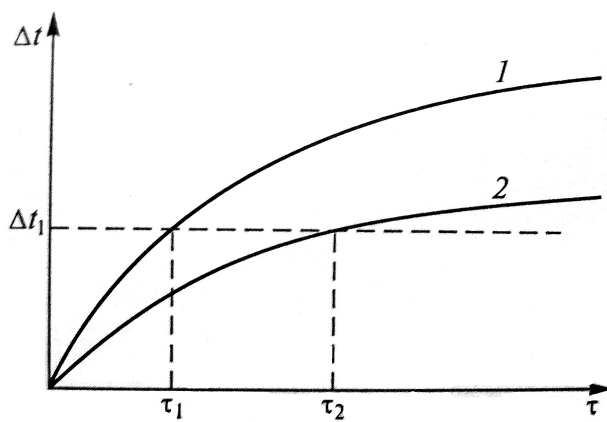


Рис. 5.14.1

Для нагревания пустого калориметра на Δt градусов, потребуется отрезок времени τ_1 , а для нагревания калориметра с телом на те же Δt градусов потребуется больший промежуток времени τ_2 . Удельная теплоемкость исследуемого вещества может быть

определена из уравнения теплового баланса (различием в тепловых потерях в окружающее пространство пренебрегаем):

$$I_H^2 R_H (\tau_2 - \tau_1) = cm \Delta t,$$

откуда

$$c = \frac{I_H^2 R_H \Delta \tau}{m \Delta t}. \quad (1)$$

Здесь c – удельная теплоемкость тела, m – масса исследуемого тела, R_H – сопротивление спирали нагревателя, $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

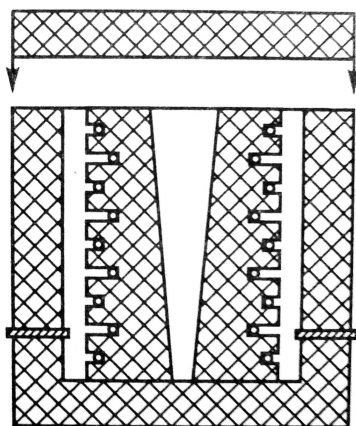


Рис. 5.14.2

Для измерения теплоемкости металлов используется калориметр, конструкция которого показана на рисунке 5.14.2. Калориметр представляет собой латунный корпус с коническим отверстием, куда вставляются исследуемые тела, имеющие форму усеченного конуса. Для медного тела $m=2,50$ кг, для стального $m=2,17$ кг. В корпусе калориметра уложена нагревательная спираль (печка) из константана и спираль термометра сопротивления, выполненная из медной проволоки. Снаружи корпус калориметра закрыт теплоизолирующим кожухом. Тела помещаются в калориметр и вынимаются из него только с помощью специального приспособления.

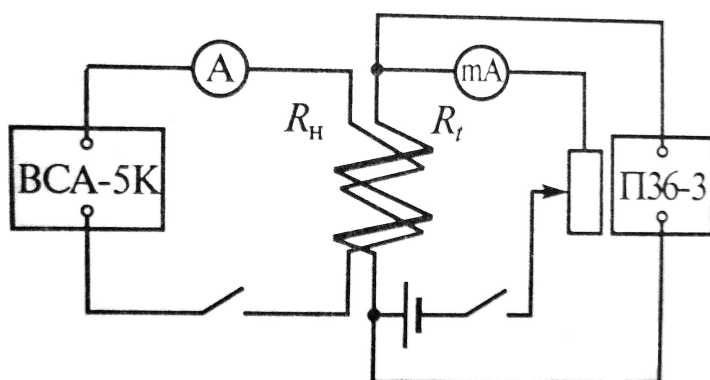


Рис. 5.14.3

Электрическая схема калориметра представлена на рисунке 5.14.3. Нагреватель сопротивлением $R_H=100$ Ом питается от выпрямителя типа ВСА-5К. При включенном нагревателе температура калориметра с течением времени повышается. Для измерения температуры используется зависимость сопротивления медной проволоки от температуры (термометр сопротивления). В качестве источника постоянного тока в измерительной цепи термосопротивления используется стабилизатор напряжения ПЗ6-3.

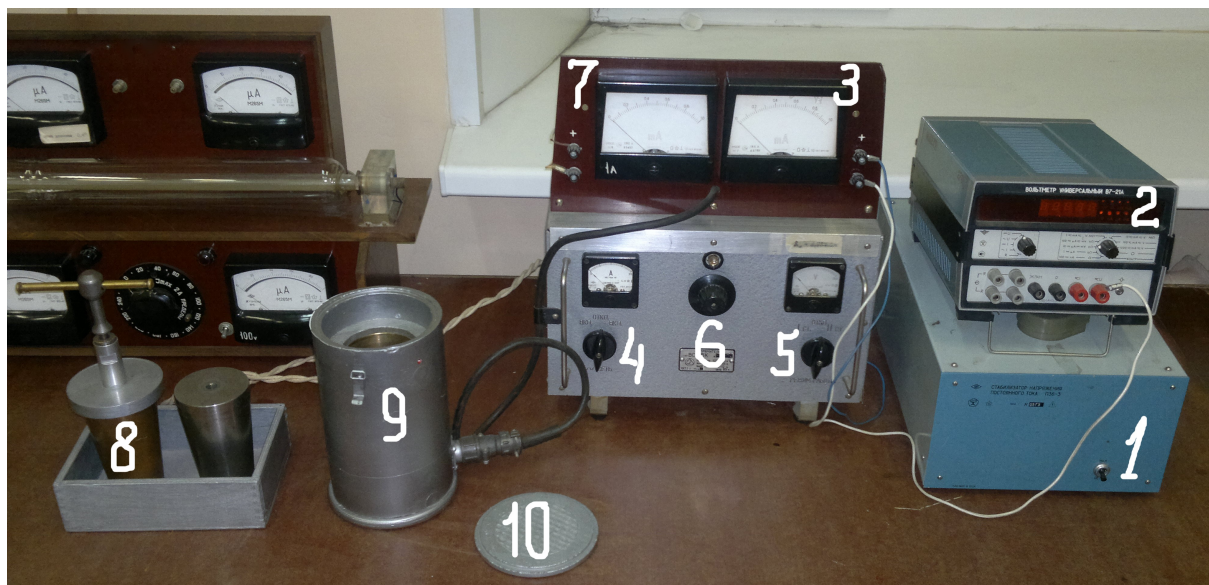
Сопротивление спирали термометра при разных температурах может быть рассчитано на основании показаний U_t цифрового вольтметра и миллиамперметра “mA”, включенных в измерительную цепь: $R_t = \frac{U_t}{I_t}$ (для удобства расчетов значение тока I_t в измерительной цепи устанавливается равным 1 mA). Зная, что сопротивление металла изменяется с температурой по закону

$$R_t = R_0(1 + \alpha \cdot t),$$

можно найти температуру t исследуемого образца (здесь $R_0 = 2,967$ Ом – сопротивление при 0°C , R_t – сопротивление при температуре t , α – температурный коэффициент сопротивления*).

ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Электрическая схема собрана в соответствии с рисунком 5.14.3.



Включите стабилизатор напряжения 1 и цифровой вольтметр 2 (фото сверху). При этом миллиамперметр 3 покажет ток в измерительной цепи $I_t = 1$ mA. Запишите начальное показание цифрового вольтметра U_t – оно соответствует комнатной температуре.

Задание 1. Измерение временной зависимости температуры калориметра с образцом.

С помощью держателя поместите исследуемый образец 8 в калориметр 9, отвинтите держатель и закройте калориметр с образцом крышкой 10.

КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ ПРИКАСАТЬСЯ РУКАМИ К ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КАЛОРИМЕТРА И К ПОВЕРХНОСТИ ИССЛЕДУЕМОГО ТЕЛА.

Замкните цепь нагревателя поворотом ручки 4 выпрямителя ВСА-5К. Установите режим работы поворотом ручки 5 в положение “II ст”. Вращением ручки потенциометра 6 подайте на спираль нагревателя напряжение 60 В (подаваемое напряжение контролируется с помощью вольтметра на панели выпрямителя, а ток I_H в цепи нагревателя измеряется амперметром 7).

Когда напряжение U_t , измеряемое цифровым вольтметром, достигнет значения 3,300 mV, включите секундомер. Снимите зависимость U_t от времени с шагом 0,020 mV до конечного значения 3,700 mV (всего 20 точек). В процессе измерений поддерживайте постоянным ток нагревателя. Для каждого значения U_t рассчитайте соответствующую температуру t . Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

U_t , mV	R_t , Ом	t , °C	Калориметр с образцом		Пустой калориметр	
			τ , мин. сек	τ , с	τ , мин.сек	τ , с
3,300						
3,320						
...						
3,700						

После окончания измерений выключите нагреватель (ручка 4), откройте крышку калориметра и с помощью держателя извлеките тело. Охлаждайте калориметр до тех пор, пока значение U_t не станет чуть ниже 3,300 mV.

Задание 2. Измерение временной зависимости температуры пустого калориметра.

Пустой калориметр закройте крышкой и проведите те же измерения, что и в задании 1. После проведения измерений выключите установку и откройте крышку калориметра.

Задание 3. Определение теплоемкости образца.

Постройте графики зависимости температуры калориметра с образцом и пустого калориметра от времени. По графикам найдите удельную и молярную теплоемкость исследуемого образца. Для расчетов используйте 5 различных значений Δt . Оцените погрешность результатов. Сравните полученные значения теплоемкостей с табличными значениями и с предсказаниями закона Дюлонга и Пти.

ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Чему равна молярная теплоемкость твердого диэлектрического кристалла, согласно классической теории теплоемкостей? Рассчитайте молярную теплоемкость C_V поваренной соли NaCl в классическом приближении.
2. Может ли классическая физика объяснить, почему электроны проводимости в металлах не дают вклада в теплоемкость при комнатной температуре?
3. Как меняется теплоемкость кристалла при понижении температуры? Объясняет ли это изменение классическая теория?
5. Каковы основные положения дебаевской теории теплоемкости кристаллической решетки?
6. Дебаевская температура углерода (алмаз) $\Theta = 200$ К. Какова его молярная и удельная теплоемкости при 300 К?
7. При $T=20$ К молярная теплоемкость меди $C=0,9836$ Дж/(моль·К).

Пользуясь графиком $\frac{C_V}{3R} = f\left(\frac{T}{\Theta}\right)$, данным в Приложении к работе, найдите дебаевскую температуру меди.

8. Каким статистическим распределением описывается электронный газ в металле? От чего зависит температура Ферми?

9. Как оценить вклад в теплоемкость металла электронов проводимости: а) исходя из классической теории; б) исходя из квантовой теории? Как теплоемкость электронного газа зависит от температуры?
10. Вычислите энергию Ферми и температуру Ферми для меди. Примите число свободных электронов равным числу атомов. Плотность меди $\rho=8,94 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.