

Лабораторная работа № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ЖИДКОСТИ И ТВЕРДОГО ТЕЛА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОКАЛОРИМЕТРА

Цель работы: освоение электрокалориметрического способа экспериментального определения удельной теплоемкости жидкостей и твердых тел.

Приборы и принадлежности: выпрямитель, калориметр, термометр, мешалка, секундомер, амперметр, вольтметр, исследуемые жидкости и исследуемые тела.

Основные понятия и определения

Теплоемкостью какого-либо тела называется величина, равная количеству тепла, которое нужно сообщить телу, чтобы повысить его температуру на один Кельвин.

Теплоемкость C зависит от массы тела, его химического состава, термодинамического состояния и вида процесса сообщения тепла. Таким образом, теплоемкость в общем случае не характеризует свойства тела. Она является характеристикой как тела, так и условий, при которых происходит его нагревание. Поэтому она не имеет определенного числового значения. Однако если фиксировать условия нагревания тела, то теплоемкость становится характеристикой свойств тела, приобретает определенное числовое значение. Именно такие показатели теплоемкости приводятся в таблицах. Важнейшие из них – значения теплоемкости газа при постоянном объеме C_v и постоянном давлении C_p . Эти данные являются функциями состояния.

Для твердых тел не различаются теплоемкости C_p и C_v и применяются удельная и молярная теплоемкости. У твердых тел наибольший вклад в теплоемкость дает энергия тепловых колебаний частиц, находящихся в узлах кристаллических решеток.

При плавлении твердых тел относительное увеличение их объема незначительное. Это свидетельствует о том, что расстояния между частицами вещества при его переходе из кристаллического состояния в жидкое изменяются тоже незначительно.

Теплоемкость тел почти не изменяется при их плавлении. Теплоемкость жидкостей обычно характеризуют величиной C_p . Но зависимость теплоемкости жидкости от давления мала, в силу ее несжимаемости. Поэтому для жидкостей и твердых тел можно считать, что $C_p \approx C_v \approx C$.

Если сообщенное телу количество тепла dQ повышает его температуру на dT , то теплоемкость по определению равна:

$$C_{\text{тела}} = \frac{dQ}{dT}. \quad (1)$$

Эта величина измеряется в Дж/К. *Удельной теплоемкостью* вещества называется физическая величина, численно равная количеству тепла Q , которое нужно затратить, чтобы нагреть 1 кг этого вещества на 1К, т.е.

$$c = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)}. \quad (2)$$

Формула (2) справедлива в том случае, если теплоемкость изменяется незначительно с изменением температуры. Если теплоемкость зависит от температуры, то

$$c = \frac{1}{m} \cdot \frac{dQ}{dT}. \quad (3)$$

Формула (3) дает теплоемкость при заданной температуре, а формула (2) – среднюю теплоемкость в интервале температур от T_1 до T_2 . Теплоемкость, отнесенная к одному молю вещества, называется молярной теплоемкостью. Между удельной теплоемкостью c и молярной C_μ существует соотношение:

$$c = \frac{C_\mu}{\mu}, \quad (4)$$

где μ – молярная масса вещества.

У большинства тел с повышением температуры теплоемкость увеличивается, теплоемкость воды понижается с увеличением температуры от 0 до $35,5^{\circ}$, а затем повышается.

Если зависимостью теплоемкости от температуры в определенном температурном интервале можно пренебречь, то

$$Q = cm(T_2 - T_1) . \quad (5)$$

В случае, когда в замкнутой системе происходят только тепловые явления, т.е. если передача энергии от одних тел к другим совершается путем теплообмена, то алгебраическая сумма количеств теплоты, полученных и отданных всеми телами, участвующими в теплообмене, равна нулю:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = 0 . \quad (6)$$

Уравнение (6) – уравнение теплового баланса. Оно выражает закон сохранения энергии для данного частного случая. Уравнения (2), (3), (6), называемые калориметрическими, являются исходными при различных способах измерения количества теплоты или теплоемкостей.

Моделью твердого тела является кристаллическая структура с правильным периодическим расположением составляющих ее частиц, атомы которой колеблются около положений равновесия в узлах кристаллической решетки. Колебание вдоль произвольного направления можно представить как наложения колебаний вдоль трех взаимно перпендикулярных направлений. В соответствии с законом о равномерном распределении энергии по степеням свободы на каждую колебательную степень свободы приходится $kT/2$ кинетической и $kT/2$ потенциальной энергии. Так как осциллятор имеет три степени свободы, то на каждый атом в атомной решетке, ион в ионной или металлической решетке приходится в среднем энергия, равная $3kT$.

Тело, состоящее из n атомов, обладает энергией $U=3nkT$, а теплоемкость этого тела при постоянном объеме равна:

$$C_v = \frac{\partial U}{\partial T} = 3nk .$$

При этом она является постоянной величиной. Для моля вещества n равно числу Авогадро N_A , а $nk = R$ – молярная газовая постоянная. Тогда

$$C_{\mu} = 3R \approx 6 \text{ кал}/(\text{моль} \cdot \text{К}) \approx 25 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) . \quad (7)$$

Формула (7) называется законом Дюлонга–Пти и впервые установлена экспериментальным путем. Закон выполняется с хорошим приближением для многих веществ при комнатной температуре.

Определение удельной теплоемкости жидкости

Прибор для измерения теплоемкости состоит из калориметра, мешалки и термометра. Калориметр представляет собой стеклянный стакан, помещенный в пенопластовый футляр. В калориметр наливается жидкость с неизвестной удельной теплоемкостью C_1 . Внутри калориметра находится спираль нагревателя. Источником тока служит селеновый выпрямитель.

Тепловое действие тока количественно определяется законом Джоуля–Ленца, который гласит: количество теплоты, выделяющейся в проводнике при прохождении тока, прямо пропорционально силе тока, напряжению на концах проводника и времени прохождения тока:

$$Q = I \cdot U \cdot t , \quad (8)$$

где Q – количество теплоты, I – сила тока, U – напряжение, t – время.

Количество теплоты, получаемое калориметром и жидкостью, содержащейся в нем, будет равно

$$Q = cm \cdot (T_2 - T_1) + W \cdot (T_2 - T_1) , \quad (9)$$

где m – масса воды, c – удельная теплоемкость воды, T_1 и T_2 – начальная и конечная температуры жидкости, W – водяной эквивалент калориметра, т.е. количество теплоты, которое надо сообщить калориметру, чтобы повысить его температуру на 1К. Водяной эквивалент определяется расчетным способом. Для калориметра, изготовленного из однородного материала тепловой (водяной) эквивалент равен массе калориметра, умноженной на удельную теплоемкость материала калориметра:

$$W = m_k c_k , \quad (10)$$

где m_k – масса калориметра, c_k – удельная теплоемкость материала калориметра ($c_k = 880$ Дж/(кг·К)).

Количество теплоты, выделяющейся за счет прохождения электрического тока, идет на нагревание калориметра и исследуемой жидкости:

$$Q = m_1 c_1 + W (T_2 - T_1) , \quad (11)$$

где m_1 – масса жидкости в калориметре, T_1 и T_2 – начальная и конечная температуры жидкости. Приравняв правые части уравнения (8) и (11), будем иметь: $IUt = (m_1 c_1 + W)(T_2 - T_1)$, откуда находим:

$$c_1 = \frac{IUt}{m_1 (T_2 - T_1)} - \frac{W}{m_1} . \quad (12)$$

Масса исследуемой жидкости определяется по формуле: $m = \rho V$, где V – объем жидкости, измеряемый с помощью мензурки, ρ – плотность жидкости (согласно справочным таблицам).

Определение удельной теплоемкости твердого тела.

Чтобы определить удельную теплоемкость C_v твердого тела, его погружают в калориметр с жидкостью, удельная теплоемкость c_1 и масса m_1 которой известны. Массу твердого тела обозначим m_2 . В этом случае количество теплоты $Q = IUt$, выделяемое электрическим током, расходуется на нагревание жидкости, калориметра и твердого тела от температуры T_1 до T_2 . Уравнение теплового баланса будет иметь вид:

$$IUt = (c_1 m_1 + W)(T_2 - T_1) + c_2 m_2 (T_2 - T_1) .$$

Отсюда

$$c_2 = \frac{IUt - (c_1 m_1 + W)(T_2 - T_1)}{m_2 (T_2 - T_1)} . \quad (13)$$

Задание и порядок выполнения работы

1. Определить массу m_1 используемой жидкости (глицерина).
 2. Измерить начальную температуру жидкости T_1 .
 3. Установить по амперметру величину силы тока в пределах от 0,5 до 0,8А.
- Определить величину напряжения по вольтметру.
4. Следить за сохранением постоянной силы тока по амперметру, периодически перемешивая жидкость мешалкой.
 5. Через 12-13 минут выключить ток и, перемешав жидкость мешалкой, измерить конечную температуру жидкости T_2 . Опыт повторить 3 раза, каждый раз заносая данные в таблицу.
 6. Определить водяной эквивалент калориметра W .
 7. По формуле (12) рассчитать c_1 .
 8. Погрузить в калориметр с жидкостью твердое тело, предварительно определив его массу m_2 и температуру жидкости T_1 .
 9. Затем проделать работу в том же порядке, что и в п.п. 3, 4, 5. Конечная температура жидкости в данном случае будет T_2 .

10. По формуле (13) определить c_2 .
11. Аналогичным образом определить удельную теплоемкость другого твердого тела c_3 .
12. Сравнить экспериментально полученные значения c_1 , c_2 , c_3 с данными, приведенными в таблицах.
13. Проверить выполнимость закона Дюлонга–Пти, используя формулу (7).
14. Результаты измерений занести в таблицу. Таблица составляется для каждого вещества отдельно.

№	J , А	U , В	t , с	W , Дж/ К	T_1 , К	T_2 , К	C , Дж/ кг* К	ΔC , Дж/ кг* К	ε , %
1									
2									
3									
Ср.									

15. Сформулировать выводы, следующие из работы.

Контрольные вопросы

1. Что называется теплоемкостью, удельной теплоемкостью, молярной теплоемкостью? В каких единицах они измеряются?
2. Какие существуют методы определения количества теплоты, затраченной на нагревание жидкости?
3. Сформулируйте закон Дюлонга–Пти.

Литература

1. Кортнев А.В., Рублев Ю.В. Практикум по физике. – М.: Высшая школа, 1961.
2. Физический практикум /Под редакцией В.И. Ивероновой. – М.: Наука, 1967.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. – Т. 1. – М.: Наука, 1986.
4. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. – М.: Высшая школа, 1981.
5. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Молекулярная физика. – М., 1963.