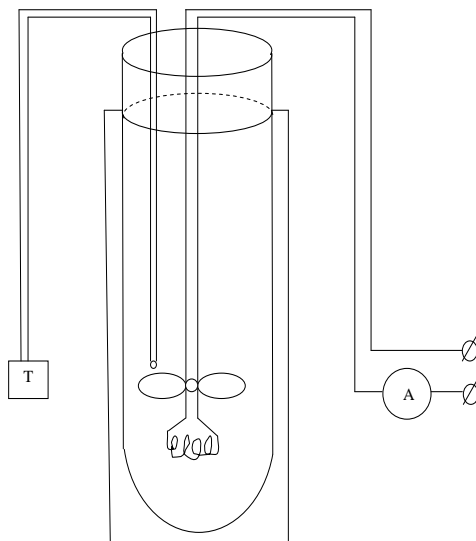


ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ МОЛДОВЫ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

**Определение удельной теплоемкости
жидких и твёрдых тел**

**Методические указания
к лабораторному практикуму по физике**



**Chişinău
2016**

ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ МОЛДОВЫ

**ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРИИ И МЕНЕДЖМЕНТА В
ЭЛЕКТРОНИКЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ
КАФЕДРА ФИЗИКИ**

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Определение удельной теплоемкости жидких и твёрдых тел

**Методические указания
к лабораторному практикуму по физике**

**Chişinău
Editura „Tehnica-UTM”
2016**

Методические указания разработаны в соответствии с учебной программой по физике для Технического университета Молдовы. В каждой лабораторной работе сформулированы цель и задачи работы и последовательно изложен теоретический материал по изучаемой теме. Кроме того, во всех работах сформулированы контрольные вопросы, ответы на которые требуют необходимого минимума знаний для допуска к выполнению лабораторных работ.

Методические указания предназначены для студентов всех специальностей дневной и заочной форм обучения.

Авторы: конф., д-р А.Русу
конф., д-р К.Шербан
ст. преп. К.Пырцак
ст. преп. С.Гутюм
преп. унив. М.Чобану

Рецензент: конф., д-р С.Русу

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 13С

Определение удельной теплоемкости жидких и твёрдых тел

Цель работы: определение удельной теплоемкости жидкого или твёрдого тела.

Задачи: после выполнения этой работы студенты должны уметь:

- определять понятия внутренней энергии, количества теплоты, теплоемкости тела и удельной (молярной) теплоемкости;
- устанавливать связь между теплоемкостями;
- давать определение равновесных (квазистатических) и неравновесных состояний и процессов;
- объяснять суть экспериментального метода определения теплоемкости рассматриваемой системы и выводить формулу (18);
- объяснять, как учитываются тепловые потери при выполнении эксперимента;
- объяснять, как в эксперименте осуществляется процесс квазистатического нагревания;
- накапливать экспериментальные значения температуры системы через равные промежутки времени при её нагревании;
- строить с помощью компьютера график зависимости изменения температуры Δt° от промежутка времени t по экспериментальным точкам;
- определять тангенс угла наклона построенной прямой, используя метод наименьших квадратов для случая нагревания системы;
- определять теплоемкость системы C_c ;
- определять стандартную погрешность $\Delta_c C_c$ теплоемкости системы;

- повторять опыт $n \geq 5$ раз для изучаемого вещества и определять удельную теплоемкость c_x изучаемого жидкого или твёрдого тела, а также её стандартную погрешность для различных значений доверительной вероятности.

Приборы и принадлежности: компьютер, программа для обработки экспериментальных данных, электрокалориметр, цифровой термометр, сопряженный с компьютером, весы, изучаемое жидкое или твёрдое тело, амперметр.

Теоретические расчеты и эксперимент

Внутренней энергией тела U называется сумма кинетических и потенциальных энергий всех его частиц. Существует две формы изменения внутренней энергии тела: 1) совершение над телом механической работы; 2) теплообмен (теплопроводность, конвекция, поглощение и испускание излучения). Мерой изменения внутренней энергии тела в результате теплообмена является количество тепла Q , полученное или отданное этим телом в рассматриваемом процессе. Практически, количество тепла Q , сообщенное телу, можно вычислить, если известны теплоемкости данного тела: теплоемкость тела C_T , удельная теплоемкость, молярная теплоемкость C .

Теплоемкостью тела C_T называется величина, равная количеству тепла, которое нужно сообщить телу, чтобы повысить его температуру на 1 кельвин. Таким образом, если для нагревания тела на ΔT расходуется количество тепла Q , то

$$C_T = Q/\Delta T . \quad (1)$$

Количество тепла, необходимое для нагревания единицы массы (1 моля) вещества на 1 К, называется удельной теплоемкостью c (молярной C). По определению:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T}; \quad C = \frac{Q}{\nu\Delta T} = \frac{Q}{m/M\Delta T}, \quad (2)$$

где: ν – количество молей;

M – молярная масса вещества;

C_T , c , и C в СИ измеряются в

$\text{Джс} / \text{К}$, $\text{Джс} / \text{кг} \cdot \text{К}$ и $\text{Джс} / \text{моль} \cdot \text{К}$, соответственно.

Как видно из формул (1) и (2), количество тепла, полученное или отданное телом, может быть вычислено по одной из формул:

$$Q = C_T\Delta T; \quad Q = cm\Delta T; \quad Q = C\nu\Delta T. \quad (3)$$

Из этих соотношений видно, что все теплоемкости связаны между собой:

$$c = C/M; \quad C_T = cm; \quad C_T = C\nu/M. \quad (4)$$

Необходимо подчеркнуть, что любой реальный процесс нагревания или охлаждения состоит из последовательности неравновесных состояний. Неравновесным состоянием системы называется состояние, которое не может быть охарактеризовано определенными значениями термодинамических параметров (давления, температуры, объёма). Неравновесный процесс нельзя выполнить в обратном направлении, проходя через те же состояния, что и в прямом процессе. Такие процессы называются *необратимыми*. Для того, чтобы процесс был равновесным, т.е. состоял из последовательности равновесных состояний, которые могут быть охарактеризованы определенными термодинамическими параметрами, необходимо, чтобы процесс был очень медленным, т.е. протекал с очень малой скоростью, в пределе бесконечно малой. Такой процесс является приблизительно равновесным, он называется *квазистатическим*.

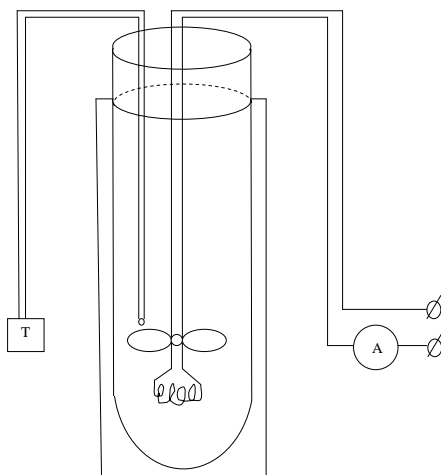


Рис. 1

Для определения удельной теплоемкости жидкого или твёрдого вещества можно использовать электрокалориметр (*рис.1*), состоящий из термоса, в который помещен электронагреватель. В термос наливается вода или другая жидкость, температура которой измеряется термометром. Если через нагреватель пропускать электрический ток I , то за промежуток времени t выделится количество тепла Q , которое, согласно закону Джоуля-Ленца, равно:

$$Q = I^2 R t, \quad (5)$$

где R – электрическое сопротивление нагревателя. Допуская, что это количество тепла расходуется для нагревания воды на Δt° , можно выразить:

$$Q = c m_0 \Delta t^\circ, \quad (6)$$

где c – удельная теплоемкость воды, а m_0 – её масса.

Однако формула (6) может быть написана, только если весь объём воды имеет одинаковую температуру, т.е. вода после нагревания в течение t сек. находится в состоянии термодинамического равновесия. Оно обеспечивается непрерывным перемешиванием нагреваемой воды мешалкой (рис.1).

Удельную теплоемкость c легко найти из формул (5) и (6), поскольку величины $I, R, t, m_0, \Delta t^\circ$ могут быть измерены непосредственно. Однако этот метод может быть применен только для оценки значения удельной теплоемкости воды c , так как часть количества (5) поглощается термосом, нагревателем, сенсором термометра и пробкой калориметра. Количества теплоты (5) и (6) можно считать равными, если эта часть пренебрежимо мала. Если же ею нельзя пренебречь по сравнению с $cm_0\Delta t^\circ$, то это должно быть принято во внимание. Для решения этой задачи представим количество тепла, поглощенное системой, в виде:

$$Q = cm_0\Delta t^\circ + \Delta Q, \quad (7)$$

где ΔQ – это количество тепла, поглощенное термосом, нагревателем, сенсором термометра и пробкой калориметра:

$$I^2 Rt = cm_0\Delta t^\circ + \Delta Q. \quad (8)$$

Отсюда видно, что для определения удельной теплоемкости c нужно либо знать ΔQ , либо каким-то образом исключить эту величину. Ставить вопрос определения ΔQ бессмысленно. В самом деле, ΔQ можно представить так:

$$\Delta Q = c_1 m_1 \Delta t^\circ + c_2 m_2 \Delta t^\circ + \dots,$$

где c_1 и m_1 , c_2 и m_2 и т.д. – удельные теплоемкости и, соответственно, массы термоса, нагревателя и т.д., которые не известны. Поэтому остаётся только исключить величину ΔQ .

Для этого одного уравнения (8) недостаточно, необходимы два уравнения. Они могут быть получены, рассматривая различные массы жидкости в электрокалориметре. Допустим, в термосе имеется масса m_0 воды или другой жидкости. При пропускании через нагреватель тока силой I система получит количество тепла (5), которое будет израсходовано для её нагревания на Δt° :

$$Q = C_c \Delta t^\circ, \quad (9)$$

где C_c – теплоемкость системы. Поскольку система теплоизолирована, то:

$$I^2 R t = C_c \Delta t^\circ. \quad (10)$$

Отсюда можно определить C_c . Но как? Если станем определять непосредственно из (10), то рискуем получить ошибочный результат, так как первые изменения температуры системы будут зафиксированы только через промежуток времени t_0 , необходимый для того, чтобы в системе стал происходить квазистатический процесс нагревания благодаря перемешиванию жидкости в калориметре. Таким образом, система обладает некоторой инерционностью, что приведет к определенной систематической погрешности измерения промежутка времени t , которая может сказаться на определении значения C_c . Следовательно, нужен метод, позволяющий исключить влияние систематической погрешности. Он существует и состоит в следующем. Проведем ряд измерений изменения температуры системы на Δt^0 и промежутка времени t , за который это изменение происходит. Согласно формуле (10), изменение температуры равно:

$$\Delta t^\circ = \frac{I^2 R}{C_c} t, \quad (11)$$

если система не обладает инерцией, т.е. запаздыванием измерения значений Δt° . Но инерция существует, поэтому выражение (11) принимает вид:

$$\Delta t^\circ = \frac{I^2 R}{C_c} t + b_0, \quad (12)$$

где b_0 – константа, соответствующая промежутку времени t_0 запаздывания появления показаний изменения температуры из-за термической инерционности системы и из-за возможных систематических погрешностей, допускаемых при измерении величин Δt° и t (рис. 2). Соотношение (12) представляет собой линейную зависимость вида:

$$Y = p_0 X + b_0, \quad (13)$$

где $Y = \Delta t^\circ$, $p_0 = I^2 R / C_c$ и $X = t$.

Таким образом, построив график зависимости (13) (рис. 2) и определив тангенс угла её наклона p_0 , можно определить теплоемкость системы:

$$C_c = I^2 R / p_0. \quad (14)$$

На величину теплоемкости системы C_c , определенной таким образом, не влияет инерционность системы, чего нельзя сказать о теплоемкости, вычисленной по формуле (11). Влияние инерции системы можно исключить и по-другому, например, сместив начало отсчета времени. Для этого запустим нагревание системы и только через 40-60 сек. начнем измерение температуры, когда устанавливается квазистатический процесс нагревания системы. В результате должен получиться график, подобный тому, что изображен на рисунке 3, если при измерении изменения температуры и времени не допускаются систематические ошибки. Так как этот аспект эксперимента не известен заранее, будем считать $b_0 \neq 0$.

Измерение температуры системы t° будет производиться через последовательные равные промежутки времени Δt , цифровой термометр это позволяет.

Таким образом:

$$Y = \Delta t^\circ = t_{N_0}^\circ - t_0^\circ, \text{ а } X = t = N_0 \Delta t,$$

где N_0 – количество измерений температуры. Чтобы иметь возможность определить среднее значение величины C_c и её стандартную погрешность, опыт следует повторить не менее ($N \geq 5$) раз в одинаковых условиях.

Следующим этапом выполнения работы является определение удельной теплоемкости изучаемого вещества. Проводим его в тех же условиях. Для этого заменяем уже теплую воду массой m_0 водой массой $m_0 + m$ или водой массой m_0 и веществом массой m , удельная теплоемкость которого c_x измеряется. Пропуская через нагреватель ток той же силы I , как и в предыдущем случае, вместо (10) получим:

$$I^2 R t = C_x \Delta t^\circ + c_x m \Delta t^\circ. \quad (15)$$

где c_x – удельная теплоемкость изучаемого вещества.

Отсюда, с учетом термической инерционности системы и возможных систематических погрешностей измерения величин Δt° и t ,

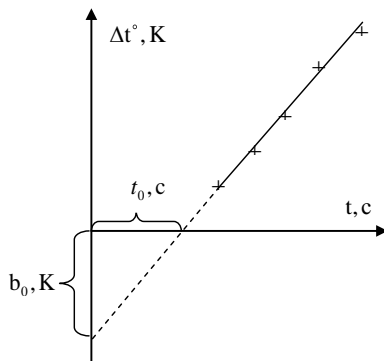


Рис. 2

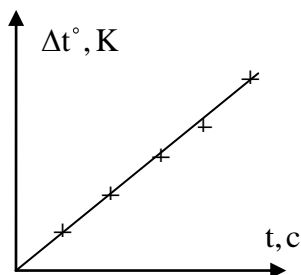


Рис. 3

вместо формулы (12) получаем выражение:

$$\Delta t^\circ = \frac{I^2 R}{C_c + c_x m} t + b. \quad (16)$$

Построив график линейной зависимости изменения температуры Δt° от величины $X = t$, мы можем найти тангенс угла наклона этой прямой p , который, согласно (16), равен C_c . Удельная теплоемкость c_x определяется из соотношения:

$$p = \frac{I^2 R}{C_c + c_x m}. \quad (17)$$

Приняв во внимание что $p_0 = \frac{I^2 R}{C_c}$, получаем:

$$c_x = \frac{I^2 R}{m} \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{p_0} \right). \quad (18)$$

График зависимости (16) нужно строить несколько раз ($n \geq 5$) в одинаковых условиях выполнения измерений, чтобы иметь возможность определить среднее значение величины c_x , а также её стандартной погрешности.

Проанализируем подробнее предположения, сделанные при выводе формулы для вычисления удельной теплоемкости c_x :

1. Прежде всего, мы предположили, что в соотношениях (12) и (16) теплоемкости C_c и $C_c + c_x m$ не зависят от температуры t° . В противном случае зависимость Δt° от t не будет линейной и приведенные выше доводы будут неприменимы. Вопреки факту, что удельная теплоемкость c_x зависит от температуры, использованный метод позволяет определять её, более того, устанавливать зависимость c_x от

температуры. Для этого нужно выбрать такой интервал температур, чтобы ни одна из зависимостей (12) и (16) не была затронута. У некоторых веществ зависимость удельной теплоемкости от температуры настолько мала (например, у воды), что изменение удельной теплоемкости при изменении температуры находится в пределах ошибок эксперимента. Тем не менее, даже в таком случае интервал температур Δt° должен быть как можно меньше, так как кроме жидкости в систему входят термос, нагреватель, сенсор термометра и пробка, теплоемкости которых могут сильнее зависеть от температуры. Таким образом, чем меньше интервал температур Δt° , тем меньше будет изменение теплоемкостей C_c , $C_c + c_x m$, тем ближе к линейным будут зависимости (12) и (16). В измерительной установке используется цифровой термометр, сопряженный с компьютером, что позволяет измерять температуру с точностью до 0,04К. Поэтому можно измерять достаточно малые интервалы температур, например, 1-2К. Теперь ясно, что для установления зависимости удельной теплоемкости от температуры исследуемый интервал температур нужно разделить на несколько малых, определив c_x для каждого из них. Количество интервалов выбирается, исходя из условия линейной зависимости (12) и (16) в пределах ошибок эксперимента для каждого из этих интервалов.

2. Во вторых, мы предположили, что система идеально теплоизолирована. Однако добиться этого практически почти невозможно. При выполнении эксперимента происходят потери тепла, которые должны быть приняты во внимание. Это может быть сделано внесением поправок в значения тангенсов углов наклона прямых (12) и (16). Если потери не будут учтены, то это может привести к недооценке значений тангенсов углов наклона p_0 и p . Тепловые потери пропорциональны температуре, они должны зависеть от массы вещества в термосе. Упомянутые обстоятельства показывают,

что эти поправки различны. Обозначим поправки через δp_0 и δp , соответственно. Теперь формула (18) принимает вид:

$$c_x = \frac{I^2 R}{m} \left(\frac{1}{p + \delta p} - \frac{1}{p_0 + \delta p_0} \right). \quad (19)$$

Поправки δp_0 и δp могут быть определены следующим образом. После окончания процесса нагревания системы изучается процесс её охлаждения: измеряя температуру системы через последовательные равные промежутки времени Δt , затем строится график зависимости $Y = \Delta t^\circ = t_0^\circ - t_{N_0}^\circ$ от $X = t = N_0 \Delta t$, где t° – начальная температура системы. Тангенс угла наклона этой прямой будет δp_0 или δp , в зависимости от случая. В случае, если опыт производится с водой при температурах, близких к лабораторной, то тепловыми потерями можно пренебречь в силу их малости. Наличие или отсутствие тепловых потерь может быть замечено при измерении температуры системы после окончания процесса нагревания.

Если температура нагревания воды в термосе к концу эксперимента не превышает комнатную, более чем на 20°C , при этом термос хорошо теплоизолирован, то тепловые потери несущественны и ими можно пренебречь. Для такой ситуации измерения производятся согласно Варианту I (см. Ход работы).

В случае, когда температура нагретой воды в термосе превышает комнатную, более чем на 20°C , появляются тепловые потери, которые могут быть значительными, а поэтому могут существенно влиять на результаты измерений. В этой ситуации измерения производят по Варианту II (см. Ход работы).

3. В третьих, мы предположили, что температура в любой точке жидкости в любой момент времени такая же, как и в том месте, где находится сенсор термометра. Это означает,

что жидкость нагревается равномерно. Это может быть достигнуто только при очень медленном нагревании, сопровождаемом непрерывным перемешиванием жидкости. Только в этом случае времени будет достаточно, чтобы тепло поглощалось не отдельными частями, а всей системой. Равномерное нагревание может быть осуществлено, если будет выбрана адекватная величина силы тока I , протекающего через нагреватель. Таким образом, мы приходим к выводу, что в измерительной установке процесс нагревания должен быть квазистатическим. Однако нагреватель, являясь источником тепла, не может излучить теплоту мгновенно. Необходим определенный промежуток времени. Кроме того, тепло, отдаваемое нагревателем, пропорционально его температуре. Вначале эта температура равна температуре среды, поэтому нагреватель не отдаёт теплоту. Со временем его температура возрастает и нагреватель начинает выделять теплоту, но она пока не равна $I^2 Rt$. В это время идёт нагревание вещества нагревателя. И только после того, как температура нагревателя достигнет определенной величины (она зависит от размеров и формы нагревателя, а также его сопротивления), в системе установится динамическое равновесие: количество тепла, выделяемое сопротивлением $R(I^2 Rt)$, равно количеству тепла, отдаваемому нагревателем системе. Кроме того, существует ещё и инерционность других частей системы. Полная инерция системы проявляется во временном запаздывании показаний термометра. Математически это отражается появлением в формулах (12) и (16) свободных членов b_0 и b , которые и являются показателем отмеченного запаздывания. Но тангенсы углов наклона прямых (12) и (16) и, как следствие, значения теплоемкостей C_c , $C_c + c_x m$ и c_x не зависят от b_0 и b . Тем не менее, для того, чтобы процесс нагревания был достаточно медленным (квазистатическим), а рабочая формула (18) была применима, эксперимент должен проводиться только после установления квазистатического процесса нагревания (рис.3).

Случайные погрешности

Если графики зависимостей (12) и (16) строятся с помощью компьютера, используя метод наименьших квадратов, то и стандартные погрешности тангенсов углов наклона прямых $\Delta_c p_0$ и $\Delta_c p$, а также свободных членов $\Delta_c b_0$ и $\Delta_c b$, будут определяться тем же методом. Стандартная погрешность теплоемкости системы C_c $\Delta_c C_c$ вычисляется по формуле:

$$\Delta_c C_c = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (C_{c_i} - \bar{C}_c)^2} \quad (20)$$

В случае удельной теплоемкости c_x выполняется $n \geq 5$ её косвенных измерений. Поэтому стандартная погрешность удельной теплоемкости вычисляется по общей формуле для стандартной погрешности среднего арифметического:

$$\Delta_c c_x = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^n (c_{x_i} - \bar{c}_x)^2} \quad (21)$$

Ход работы

Вариант I

1. Взвесьте массу m_0 воды, находившейся при комнатной температуре, и влейте в термос, при этом вода должна покрывать нагреватель, сенсор термометра и мешалку и ещё должно остаться место для добавления 100-150г воды.
2. Подключите цифровой термометр к компьютеру, амперметр (вольтметр) – к измерительной установке и включите компьютер.
3. Подключите измерительную установку к источнику питания и запустите мешалку.
4. Запустите программу накопления и обработки данных, в окошке **Foia de titlu** введите требуемую информацию, затем активируйте кнопку **Continuare**.
5. Открыв окошко **Caracteristicile experienței**, заполните пункты **1. Scopul experienței** (Цель эксперимента) и **2. Aparate și accesorii** (Приборы и принадлежности), согласно методическим указаниям к работе. Внимательно прочитайте пункт **3. Dependența studiată** (Исследуемая зависимость), затем активируйте кнопку **Continuare** и откройте окошко **Efectuarea lucrării** (Выполнение работы).
6. В этом окошке введите требуемые величины: **число серий** измерений $N \geq 5$, **число подсерий** $n = 2$ (нагревание – охлаждение), **массу изучаемого вещества** m , **сопротивление нагревателя** R , измеренное заранее. Отметьте опцию **încălzitorul cu puterea 100%**, активируйте кнопку **On** и введите измеренное значение силы тока I . Если в измерительной установке используется вольтметр, то сила тока вычисляется по закону Ома: $I = U/R$. Кнопкой **Off** отключите нагреватель.
7. Нажмите на кнопку **Setings Com**, затем в открывшемся окошке **Setup** выберите опцию **Port Com3** и **OK**. Активируйте кнопку **OpenCom**, подключите термометр к компьютеру.

8. Установите **промежуток времени** $\Delta t = 2-5$ с, через который цифровой термометр будет фиксировать температуру системы, выберите опцию **încălzire** (нагревание) и с помощью кнопки **On** включите ток через нагреватель.
9. Активировав кнопку **Start**, можно наблюдать в левой части экрана компьютера возрастание температуры воды. Не прекращая нагревания воды, после того, как её температура увеличится на $2-3^{\circ}\text{C}$, активируйте кнопку **Restart**.
10. Установите тот же выбранный **промежуток времени** Δt , через который цифровой термометр будет фиксировать температуру системы, выберите опцию **încălzire** и активируйте кнопку **Start**.
11. Накопите 15-20 значений температуры, активируйте кнопку **Stop**, затем **Calcule** (вычисления). Получите в компьютере график зависимости (12), вычислите тангенс угла наклона полученной прямой p_0 , а также его стандартную погрешность Δp_0 методом наименьших квадратов.
12. Повторите пункты 10, 11 ещё $2N-1$ раз, следя за тем, чтобы мощность нагревателя (сила тока или падение напряжения на сопротивлении нагревателя) оставалась неизменной на протяжении эксперимента.
13. После получения результатов последнего измерения, выключите нагреватель, активируя кнопку **Off** в окошке компьютера, и нажмите на кнопку **Continuare**.
14. Остановите мешалку и замените нагретую воду в термосе другой водой известной массы $(m_0 + m)$ комнатной температуры или другой водой массы m_0 и веществом массой m , удельную теплоемкость которого мы хотим определить.
15. Активируйте кнопку **OpenCom** и повторите пункты 6,8-13. Отключите мешалку и нажмите кнопку **Continuare**.
16. В окошке **Procesarea datelor** проанализируйте данные из **4. Tabelul valorilor medii** (Таблица средних значений). Если результаты удовлетворительны, активируйте кнопку **Accept**

- из **5. Prelucrarea datelor experimentale** и вычислите по формулам (14) и (18) средние значения величин C_c и c_x .
17. Активируйте кнопку **Accept** из **6. Calculul erorilor** и по формулам (19) и (20) вычислите стандартные погрешности $\Delta_c C_c$ и $\Delta_s c_x$ величин C_c и c_x , соответствующие доверительной вероятности 68%. По указанию преподавателя проанализируйте другие значения доверительной вероятности.
 18. Запишите полученное значение удельной теплоемкости и её стандартной погрешности в **7. Rezultatul final** и сравните с табличным значением.
 19. Активируйте кнопку **Concluzii** и сформулируйте выводы по результатам исследований.
 20. Активируйте кнопку **Referat**, чтобы сохранить отчёт по выполненной работе, после чего выйдите из программы, нажав кнопку **Finiş**.

Вариант II

1. Выполните пункты 1-9 варианта I.
2. Установите тот же выбранный **промежуток времени Δt** , через который цифровой термометр будет фиксировать температуру при нагревании системы, выберите опцию **încălzire** (нагревание) и активируйте кнопку **Start**.
3. Накопите 15-20 значений температуры, активируйте кнопку **Stop**, затем отключите нагреватель, активируя кнопку **Off** на экране компьютера, при этом мешалка продолжает работать. Активируйте кнопку **Calcule** и постройте в компьютере график зависимости (12), вычислите тангенс угла наклона p_0 полученной прямой, а также её стандартную погрешность $\Delta_s p_0$, используя метод наименьших квадратов.
4. Введите промежуток времени $\Delta t = 10c$, через который цифровой термометр будет фиксировать температуру при охлаждении системы, выберите опцию **răcire** (охлаждение) и через 2-3 минуты после отключения нагревателя активируйте кнопку **Start**.
5. Накопите 10-12 значений температуры, активируйте кнопку **Stop**, затем **Calcule**. Если температура понизилась, постройте в компьютере новый график зависимости модуля изменения температуры системы от времени в процессе охлаждения системы. Определите тангенс угла наклона этой прямой δp_0 , являющейся поправкой к величине p_0 , определенной в пункте 3 этого варианта, а также стандартную погрешность $\Delta \delta p_0$.
6. Вновь активируйте кнопку **On** нагревателя на экране компьютера, включите ток через нагреватель, подождите 1-2 мин., чтобы установился равномерный рост температуры.
7. Повторите пункты 2-5 настоящего варианта ещё $N-1$ раз, следя за постоянством мощности (силы тока или напряжения) нагревателя на протяжении эксперимента.

8. После вычисления результатов последнего измерения отключите нагреватель, активируя кнопку **Off** на экране компьютера, а затем кнопку **Continuare**.
9. Остановите мешалку и замените нагретую воду в термосе другой водой комнатной температуры известной массы ($m_0 + m$) или водой массой m_0 и веществом массой m , удельную теплоемкость которого мы хотим определить.
10. Активируйте кнопку **Open Com** и повторите пункты 6 (варианта I) и 2-8 (варианта II).
11. Далее выполните пункты 16-20 Варианта I.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятий внутренней энергии, количества тепла, теплоемкости тела, удельной и молярной теплоемкости.
2. Установите связь между теплоемкостями, исходя из их определения.
3. Чем отличается удельная теплоемкость вещества от молярной теплоемкости?
4. Дайте определение неравновесного состояния и неравновесного процесса.
5. Дайте определение равновесного состояния и квазистатического процесса.
6. Почему неравновесный процесс необратим?
7. Из чего состоит электрокалориметр?
8. Как измеряется в данной работе количество тепла, полученное водой? Сформулируйте закон Джоуля-Ленца.
9. Почему удельная теплоемкость воды c в калориметре не может быть определена из выражения $cm_0\Delta t^\circ = I^2Rt$?
10. Что представляет собой ΔQ в уравнении $Q = cm_0\Delta t^\circ + \Delta Q$?
11. Что представляет собой выражение $I^2Rt = C_c\Delta t^\circ$, в каких условиях оно справедливо?
12. Почему теплоемкость системы C_c нельзя определить непосредственно из соотношения $I^2Rt = C_c\Delta t^\circ$?
13. Как можно определить C_c ?
14. Как можно исключить возможные систематические погрешности при определении C_c ?
15. Как можно объяснить, что график зависимости изменения температуры от времени не проходит через начало координат?
16. Почему необходимо заменить нагретую воду в термосе водой известной массы, находящейся при комнатной температуре?

17. Объясните метод, с помощью которого определяется удельная теплоемкость изучаемого вещества c_x .
18. Как изменятся тангенсы углов наклона прямых p_0 и p при наличии тепловых потерь?
19. Как определяются поправки δp_0 и δp к тангенсам углов наклона прямых p_0 и p , соответственно?
20. При каких условиях можно пренебречь тепловыми потерями системы вода-термос?
21. Какие превращения энергии происходят в системе вода-термос в эксперименте? А в системе нагреватель-вода-термос?
22. При перемешивании воды происходит трение лопастей мешалки о воду. Какое тепловое воздействие оказывает этот процесс на систему вода-термос?
23. Почему для измерения тепловых потерь необходим промежуток времени, больший чем время, нужное для измерения роста температуры системы?
24. Используемый в эксперименте цифровой термометр имеет малую инерцию и высокую точность. Почему недопустим больший рост температуры за более короткий промежуток времени?
25. При измерении удельной теплоемкости некоторых твёрдых тел описанным методом, лучше использовать их в целом или раздробленном виде. Почему?
26. Как можно измерить удельную теплоемкость подсолнечного масла?

Литература

1. Няга А. *Механика, молекулярная физика и термодинамика*. Курс лекций. – Кишинэу: ТУМ, 2008 (перевод с румынского языка Е.Перепелица, К.Шербан).
2. Русу А., Русу С., Пырцак К. *Обработка экспериментальных данных*. Методические указания к лабораторному практикуму по физике. – Chişinău: Editura «Tehnică-UTM», 2013 (перевод с румынского языка К.Шербан, Э.Бурдужан).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Определение удельной теплоемкости жидких и твёрдых тел

Методические указания к лабораторному практикуму по физике

Авторы: А.Русу
К.Шербан
К.Пырцак
С.Гутюм
М.Чобану

Редактор: Т. Олиниченко

Bun de tipar 05.05.16	Formatul hârtiei 60x84 1/16
Hârtie ofset. Tipar RISO	Tirajul 50 ex.
Coli de tipar 1,5	Comanda nr. 43

MD-2004, UTM, Chişinău, bd. Ştefan cel Mare și Sfânt, 168
Editura „Tehnica-UTM”
MD-2068, Chişinău, str. Studenţilor, 9/9