



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
Санкт-Петербургский горный университет
Кафедра общей физики .

Отчет по лабораторной работе №6

По дисциплине: _____ Физика _____
(наименование учебной дисциплины, согласно учебному плану)

Тема работы: _____ Определение теплоемкости твердых тел _____

Выполнил: студент гр. _____ ПЭ-20 _____ Качур В.С. _____
(шифр группы) (подпись) (Ф.И.О)

Оценка: _____

Дата: _____

Проверил
руководитель работы: _____ ассистент _____ Аверин И.А. _____
(должность) (подпись) (Ф.И.О)

Санкт-Петербург
2023

I. Цель работы

Измерение зависимости повышения температуры исследуемого образца в муфельной печи от времени; вычисление по результатам измерений теплоемкости исследуемого образца.

II. Краткое теоретическое содержание:

1. Явление, изучаемое в работе: теплопередача.

2. Определение основных физических понятий, объектов, процессов и величин.

Теплоемкость — физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое необходимо сообщить телу для нагревания его на один градус.

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T},$$

где C – теплоемкость, Дж/К; Q – количество теплоты, Дж; T – температура, К.

Удельная теплоёмкость — количество тепловой энергии, необходимой для повышения температуры одного килограмма вещества на один градус Цельсия.

$$c = \frac{Q}{m\Delta T},$$

где c – удельная теплоёмкость, Дж/кг·К; m – масса тела, кг; T – температура тела, К.

Количество теплоты — энергия, которую получает или теряет тело при теплопередаче.

Температура — физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия макроскопической системы и определяющая направление теплообмена между телами.

Термодинамическая система — совокупность макроскопических тел, которые взаимодействуют и обмениваются энергией как между собой, так и с другими телами.

Напряжение — работа, совершаемая электрическим полем для перемещения заряда напряженностью в 1 Кл (кулон) из одной точки проводника в другую.

$$U = A/q,$$

где U – напряжение, В; A – работа сил электрического поля, Дж; q – электрический заряд.

Сила тока — физическая величина, равная отношению количества заряда, прошедшего через некоторую поверхность за некоторое время, к величине этого промежутка времени.

$$I = \Delta q / \Delta t,$$

где I — сила тока, А; Δq - заряд, переносимый через поперечное сечение проводника, Кл;

Δt - интервал времени, с.

3. Законы и соотношения, описывающие изучаемые процессы, на основании которых получены расчётные формулы.

Основной закон:

Первый закон термодинамики

$$Q = \Delta U + A.$$

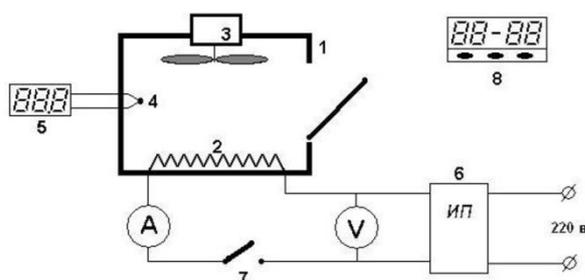
Количество теплоты, полученное системой, идет на изменение ее внутренней энергии и совершение работы над внешними телами.

Закон Ома для участка цепи:

ток прямо пропорционален напряжению и обратно пропорционален сопротивлению.

$$I = U/R,$$

III. Схема экспериментальной установки 1-муфельная печь; 2-электронагреватель; 3-вентилятор обдува; 4-термопара; 5-цифровой термометр; 6- источник питания; 7- выключатель нагрева; 8- таймер.



IV. Основные расчетные формулы

1) Собственная теплоемкость печи

$$C_{п} = \frac{U_1 I_1}{\left(\frac{dT_1}{dt} \right)},$$

U_1 – напряжение на источнике питания при нагревании пустой печи, В;

I_1 – сила тока при нагревании пустой печи, А;

$\frac{dT_1}{dt}$ – скорость изменения температуры при нагревании пустой печи, $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}$.

2) Суммарная теплоемкость печи и образца, $[C] = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$:

$$C_{п} = \frac{U_2 I_2}{\left(\frac{dT_2}{dt} \right)},$$

U_2 – напряжение на источнике питания при нагревании печи с образцом, В;

I_2 – сила тока при нагревании печи с образцом, A ;

$\frac{dT_2}{dt}$ – скорость изменения температуры при нагревании печи с образцом, $\frac{^\circ C}{c}$.

3) Теплоемкость образца, $[C_0] = \frac{Дж}{К}$:

$$C_0 = C - C_n,$$

C_n – теплоемкость печи, $\frac{Дж}{К}$;

C – суммарная теплоемкость печи и образца, $\frac{Дж}{К}$.

4) Удельная теплоемкость образца, $[c_0] = \frac{Дж}{К}$:

$$c_0 = \frac{C_0}{m},$$

C_0 – теплоемкость образца, $\frac{Дж}{К}$;

m – масса образца, кг.

V. Формулы для измерения косвенных погрешностей.

$$\Delta C_n = \left(\left(\frac{1,8}{180} + \frac{0,036}{3,6} + \frac{1}{30} + \frac{0,1}{11,05} \right) + \left(\frac{1,8}{180} + \frac{0,036}{3,6} + \frac{1}{30} + \frac{0,1}{6,24} \right) \right) * 100\% = 12,5\%$$

$$\Delta C_n' = C_n' \cdot \varepsilon_{C_n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{ni} \cdot \left(\frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} - \frac{\Delta d T_1}{d T_1} + \frac{\Delta dt}{dt} \right) - \text{абсолютная погрешность}$$

косвенных измерений собственной теплоемкости печи

$$\Delta C' = C' \cdot \varepsilon_C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \cdot \left(\frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta d T_2}{d T_2} + \frac{\Delta dt}{dt} \right) - \text{абсолютная погрешность косвенных}$$

измерений суммарной теплоемкости печи и образца

$|\Delta C_0'| = |\Delta C'| + \Delta C_n'$ – абсолютная погрешность косвенных измерений теплоемкости образца

$$\Delta c_0' = c_0' \cdot \varepsilon_{c_0} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_{0i} \cdot \left(\frac{\Delta C_0}{C_0} + \frac{\Delta m}{m} \right) - \text{абсолютная погрешность косвенных}$$

измерений удельной теплоемкости образца.

VI. Таблицы с результатами измерений и вычислений

Физическая величина	δt	T_1	$\ln \ln \frac{\delta T}{\delta t}$	T_2	$\ln \ln \frac{\delta}{\delta}$	C_n	C_0	c_0	C
размерность номер оп	с	К	К\с	с	К\с	Дж\К	Дж\К	Дж\ (К*кг)	Дж\К
1	30	304,2	-0,77	297,2	-1,91	536,19	892,48	446,24	1428,67
2	30	312,6	-0,78	300,9	-1,91				
3	30	319	-0,79	304,3	-1,91				
4	30	324,2	-0,8	307,4	-1,91				
5	30	328,2	-0,8	310,3	-1,92				
6	30	331,4	-0,82	313	-1,92				
7	30	333,8	-0,82	315,4	-1,92				
8	30	335,8	-0,83	317,6	-1,93				
9	30	337,3	-0,84	319,7	-1,93				

VII. Пример вычисления:

1) **Исходные данные:**

$m = 2 \text{ кг}$ (масса железного бруска);

$T_0 = 20^\circ\text{C}$ (начальное значение температуры);

$I_1 = 2 \text{ А}$ (сила тока при нагревании пустой печи);

$I_2 = 2 \text{ А}$ (сила тока при нагревании печи с образцом);

$U_1 = 100 \text{ В}$ (напряжение на источнике питания при нагревании пустой печи);

$U_2 = 100 \text{ В}$ (напряжение на источнике питания при нагревании печи с образцом);

$dt = 30 \text{ с}$ (интервал измерений температуры)

2) Погрешности прямых измерений

$$\Delta t = 1 \text{ с}$$

$$\Delta T = 0,1 \text{ К}$$

$$\Delta I = 0,02 \text{ А}$$

$$\Delta U = 1 \text{ В}$$

3) Вычисления (в соответствии с опытом №1):

1. Собственная теплоемкость печи, $[C_n] = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$:

$$C_n = \frac{U_1 I_1}{\left(\frac{T_1 - T_0}{dt_1} \right)} = \frac{100 \text{ В} \cdot 2 \text{ А}}{0,46 \text{ К}} = 434,78 \frac{\text{Дж}}{\text{К}};$$

2. Суммарная теплоемкость печи и образца, $[C] = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$:

$$C = \frac{U_2 I_2}{\left(\frac{T_2 - T_0}{dt_2} \right)} = \frac{100 \text{ В} \cdot 2 \text{ А}}{0,15 \text{ К}} = 1333,3 \frac{\text{Дж}}{\text{К}};$$

3. Теплоемкость образца, $[C_0] = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$:

$$C_0 = C - C_n = 1428,57 \frac{\text{Дж}}{\text{К}} - 535,71 \frac{\text{Дж}}{\text{К}} = 898,55 \frac{\text{Дж}}{\text{К}};$$

4. Удельная теплоемкость образца, $[c_0] = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$:

$$c_0 = \frac{C_0}{m} = \frac{898,55 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}}{2 \text{ кг}} = 449,28 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{кг}};$$

Расчет погрешностей:

$$\Delta C_n = \left(\left(\frac{1}{100} + \frac{0,02}{2} + \frac{1}{30} + \frac{0,1}{11,2} \right) + \left(\frac{1}{100} + \frac{0,02}{2} + \frac{1}{30} + \frac{0,1}{4,2} \right) \right) * 100\% = 13,9\%$$

$$\Delta C_{0_1} = \frac{13,9}{100} * 446,43 = 62,05 \text{ Дж / К}$$

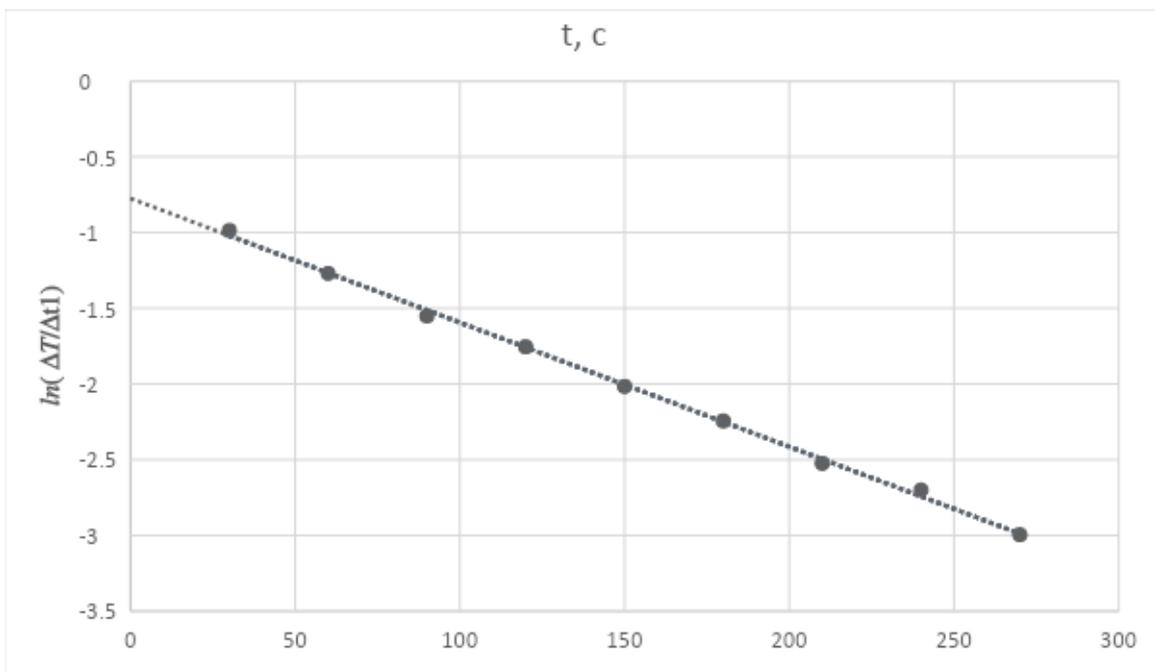
5) Окончательный результат

$$6) c_0 = 400 \pm 60 \frac{\text{Дж}}{\text{К} * \text{кг}}$$

VIII. Графический материал

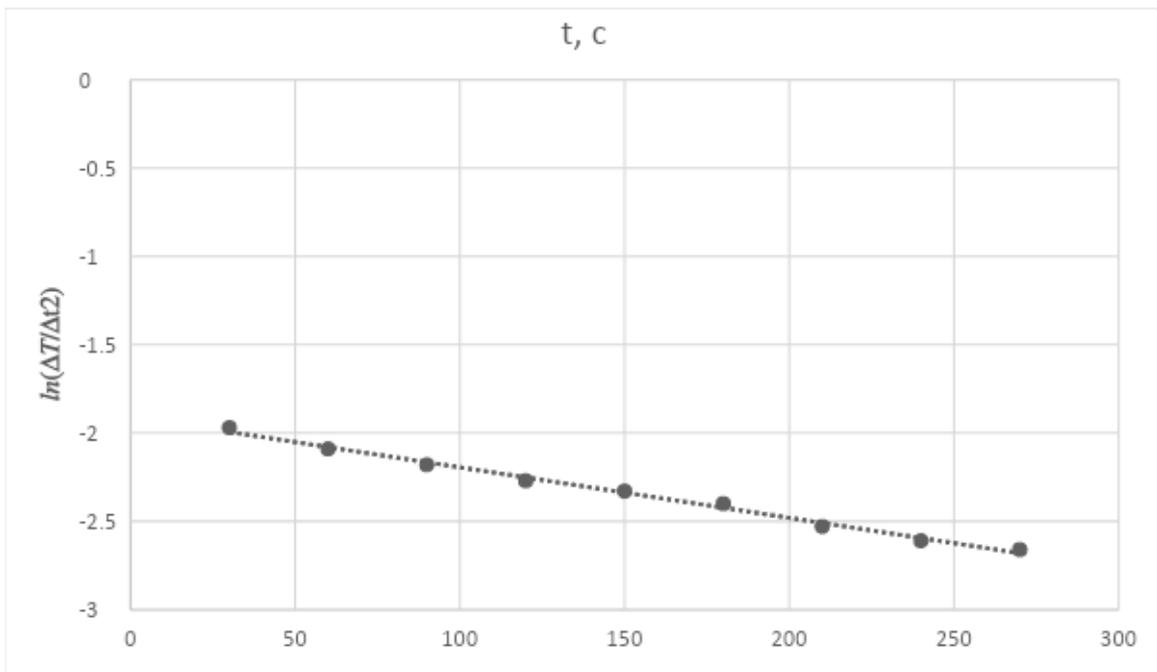
Печь с образцом:

$$y = \ln(\Delta T / \Delta t_1)$$



Печь без образца:

$$y = \ln(\Delta T / \Delta t_2)$$



Из графиков видно, что при $t=0$ $\ln(\Delta T_1/\Delta t_1)=-0,7741$; $\Delta T_1/\Delta t_1=0,46$

$\ln(\Delta T_2/\Delta t_2)=-1,9086$; $\Delta T_2/\Delta t_2=0,15$

IX. Вывод

На основании сравнительной оценки получившегося результата ($400 \text{ Дж/К}\cdot\text{кг}$) можно сказать о том, что определить удельную теплоемкость вещества можно способом, рассматриваемым в данной лабораторной работе, так как расхождение с табличной величиной ($450 \text{ Дж/К}\cdot\text{кг}$) составляет около $0,84\%$. Возникновение такой погрешности обусловлено потерей тепла в теплоизоляцию калориметра и в окружающее пространство, то есть несовершенством методов измерений. Расхождение экспериментального значения удельной теплоемкости вещества с справочным значением могло быть вызвано и субъективными погрешностями, т.к. в некоторых случаях происходило завышение или занижение результатов (округление).

$$\frac{|C_{\text{экс}} - C_{\text{теор}}|}{C_{\text{теор}}} \cdot 100\% = 11\%$$