

# Отчет о выполнении лабораторной работы 2.1.4

## Определение теплоемкости твердых тел

Костылев Влад, Б01-208

17 мая 2023 г.

### Аннотация

**Цель работы:** измерение количества подведённого тепла и вызванного им нагрева твёрдого тела; 2) определение теплоёмкости по экстраполяции отношения  $\Delta Q/\Delta T$  к нулевым потерям тепла.

**В работе используются:** калориметр с нагревателем и термометром сопротивления; амперметр; вольтметр; мост постоянного тока; источник питания 36 В.

## 1 Теоретическая справка

Запишем формулу, по которой можно найти теплоемкость тела. Если  $Q$  - тепло, подведенное к телу за какое-то время  $\Delta t$ , а  $\Delta T$  - температура, на которую нагрелось тело, то:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (1)$$

Чтобы увеличить точность, нужно учитывать тепловые потери. Тогда закон сохранения энергии примет вид:

$$C\Delta t = P\Delta t - \lambda(T - T_{\kappa})\Delta t \quad (2)$$

где  $P$  - мощность нагревателя,  $\lambda$  - коэффициент теплоотдачи стенок калориметра.

В дифференциальной форме оно примет вид (для случаев нагревания и охлаждения):

$$Cdt = Pdt - \lambda(T_{heat}(t) - T_{\kappa}(t))dt \quad (3)$$

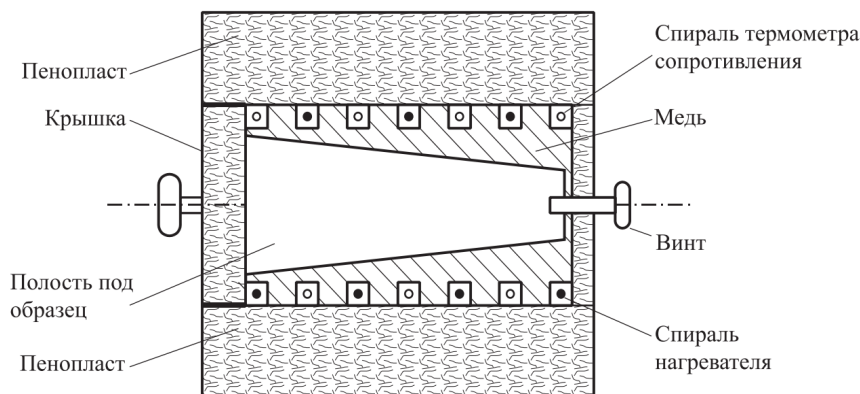
$$Cdt = -\lambda(T_{cool}(t) - T_{\kappa}(t))dt \quad (4)$$

Итого, в этой работе нам нужно измерить 3 зависимости:

1.  $R_{heat}(t)$  - зависимость показаний термометра сопротивления от температуры при постоянной мощности нагревателя.
2.  $R_{cool}(t)$  - зависимость показаний термометра сопротивления от температуры при выключенном нагревателе.
3.  $T_{\kappa}(t)$  - фиксирование изменений температуры воздуха в течение эксперимента.

## 2 Методика эксперимента

Нам представлены 3 металла: латунь, железо и алюминий.



Поочередно помещая их в калориметр, схема устройства которого представлена выше, проходимся по пунктам и нужные нам данные вносим в таблицу для дальнейшей обработки.

Я не буду приводить выкладки по получению формул (очень долго писать), но справедливо следующее:

$$T(R) = 273 + \frac{R}{\alpha R_{\kappa}} [1 + \alpha(T_{\kappa} - 273)] - \frac{1}{\alpha} \quad (5)$$

$$T_{cool}(t) = (T_0 - T_{\kappa})e^{-\lambda t/C} + T_{\kappa} \quad (6)$$

$$T_{heat}(t) = \frac{P}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t/C}) + T_{\kappa} \quad (7)$$

Это был описан интегральный способ нахождения теплоемкостей.

Так же можно использовать другой способ. Возьмем точки на кривых нагревания и охлаждения при одинаковой температуре. Тогда обозначим за  $A = (\frac{\partial T}{\partial t})_{heat}$  и за  $B = (\frac{\partial T}{\partial t})_{cool}$ . Тогда, используя два уравнения, которые мы получим через дифференцирование (6) и (7), получим следующее:

$$\lambda = \frac{P}{(T - T_{\kappa})(1 - \frac{A}{B})} \quad (8)$$

$$C = \frac{P}{A - B} \quad (9)$$

И так, нам предстоит изобразить на графике зависимость  $T_{cool}(t)$  в координатах  $y = \ln(T_{cool} - T_{\kappa})/(T_0 - T_{\kappa})$ ,  $x = t$ , чтобы получить прямую с коэффициентом  $-\frac{\lambda}{C}$ . Затем найдем из уравнения (7) теплоемкость исследуемой системы. Отсюда находим теплоемкости материалов. Эти результаты надо сравнить с результатами, полученными по дифференциальному методу, описанному выше.

## 3 Используемое оборудование

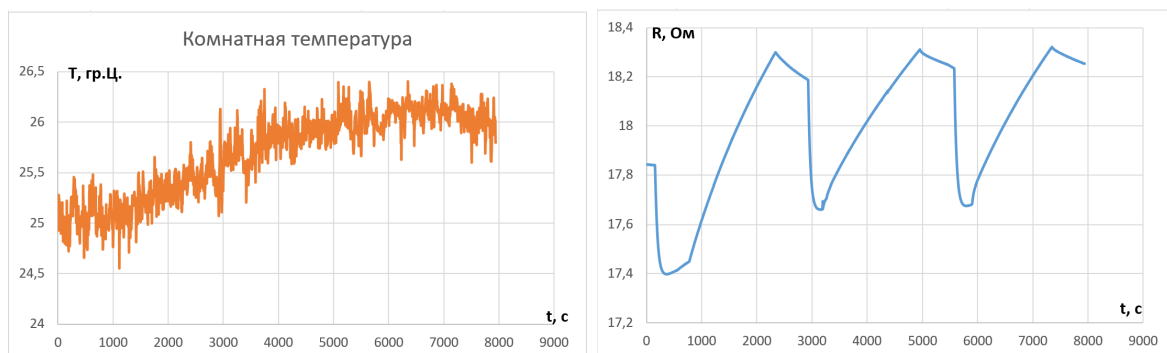
**В работе используются:** калориметр с нагревателем и термометром сопротивления; амперметр; вольтметр; мост постоянного тока; источник питания 36 В.

## 4 Результаты измерений и обработка данных

После всех измерений, давайте внесем наши данные в одну таблицу (так как данных очень много, то ниже показана только часть):

t	R, Ом	t	T, гр.Ц.
14:20:36	17,8422966	14:20:36	24,9662952
14:20:37	17,8427906	14:20:37	24,9824123
14:20:38	17,8422107	14:20:38	24,9276142
14:20:39	17,8422355	14:20:39	24,9450855
14:20:40	17,8422737	14:20:40	24,9550895
14:20:41	17,8422966	14:20:41	24,9795799
14:20:42	17,8423976	14:20:42	24,9769172
14:20:43	17,8424129	14:20:43	24,970499
14:20:44	17,8418922	14:20:44	24,970005
14:20:45	17,8423843	14:20:45	24,981224
14:20:46	17,8424873	14:20:46	25,0262851
...			

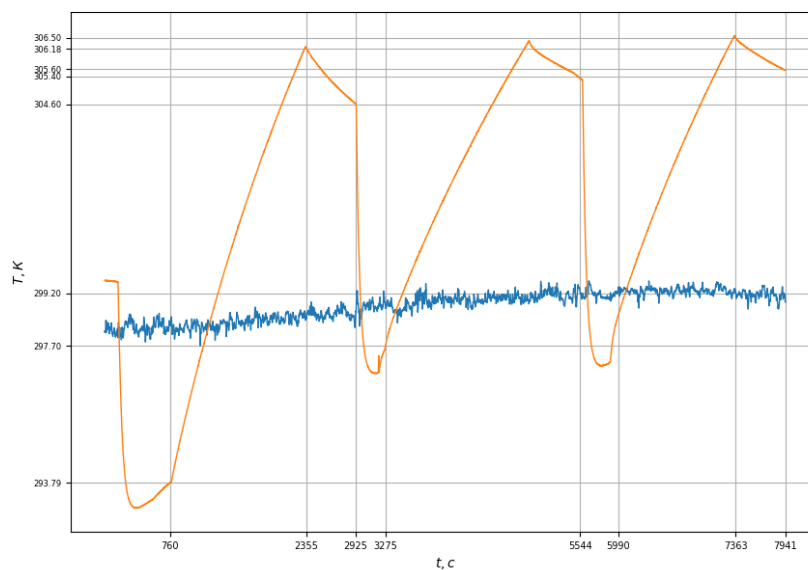
Теперь давайте изобразим графики представленных величин от времени:



Теперь переведем наши результаты в градусы по Кельвину. Для сопротивления, формула:

$$T = 14.5839550 \times R + 39.3551401K$$

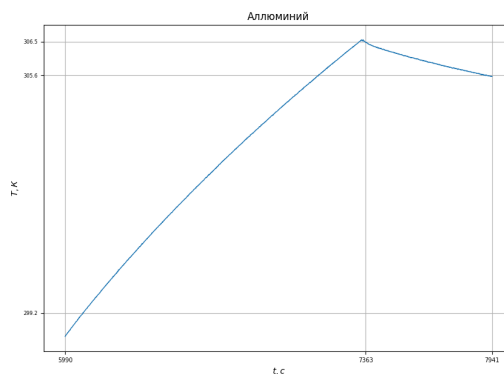
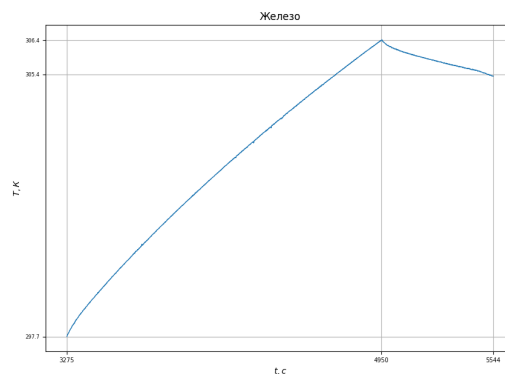
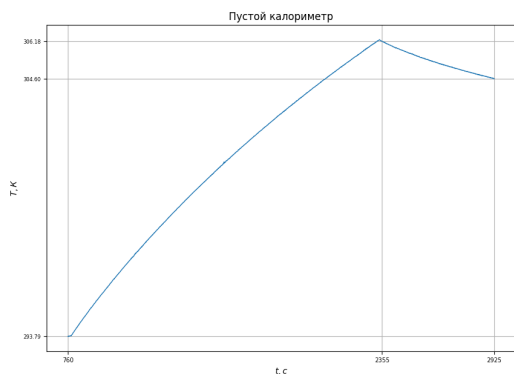
Внесем их в новую таблицу и построим соответствующий график:



Ниже представлен ход нашей работы:

14:21	начало	15:13	достаем латунный
14:23	охлаждаем	15:15	вставили железный и output
14:26	выравниваем	15:42	нагреваем
14:30	вынимаем	15:52	достаем железный
14:33	возвращаем в воду, output	16:00	охлаждаем и вставляем алюминий
15:00	выключаем output при 18.2	16:23	нагреваем
15:08	охлаждаем на 1 градус	16:33	стоп
15:09	охлаждаем		

Разделим наш цельный график на части, руководствуясь приведенной выше таблице:



## 4.1 Интегральный метод

Итого, у меня получилось:

Система	$\lambda/C, \text{ c}^{-1}$
Пустой калориметр	$0,380 \cdot 10^{-3}$
Калориметр + железо	$0,178 \cdot 10^{-3}$
Калориметр + алюминий	$0,189 \cdot 10^{-3}$

Теперь найдем  $\lambda$ .  $\lambda = (1 - e^{-\frac{\lambda t}{C}}) \frac{P}{T_{heat} - T_{\kappa}} = 0.17 \pm 0.02 \Rightarrow C_{\kappa ал} = 662 \pm 27 \frac{\text{Дж}}{\text{K}}$   
Итого, получились следующие теплоемкости:

Материал	$C, \frac{\text{Дж}}{\text{K}}$	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{K} \cdot \text{кг}}$
Калориметр	662	-
Железо	280	350
Алюминий	163	815

## 4.2 Дифференциальный метод

В этих таблицах находятся значения производных  $A$  и  $B$ , а также значения теплоемкостей материалов.

Производная	калориметр	калориметр + железо	калориметр + алюминий
A	0,0023	0,003	0,005
B	-0,004	-0,0025	-0,003

материал	$C, \frac{Дж}{К}$	$c, \frac{Дж}{К \cdot кг}$
калориметр	$825 \pm 78$	-
железо	$150 \pm 21$	$375 \pm 45$
алюминий	$175 \pm 30$	$875 \pm 53$

## 5 Заключение

В данной работе мы научились точно измерять теплоемкости различных металлов, а также оценивать тепловые потери в калориметре в ходе выполнения лабораторной.