



ФИЗИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
Государственное образовательное
учреждение лицей № 1547



Лабораторная работа:
**Исследование теплообмена между двумя
жидкостями**

Под редакцией Богданова Г.С.

Москва 2013

Исследование теплообмена между двумя жидкостями.

Цель работы:

Определение теплоемкости неизвестной жидкости и исследование зависимости мощности теплообмена от разности температур жидкостей, находящихся в тепловом контакте.

Теоретические основы работы

Если два тела с разной температурой привести в контакт, то происходит процесс теплопередачи от более горячего тела к менее горячему. Если при этом обеспечить теплоизоляцию обоих тел от внешней среды, то уменьшение внутренней энергии одного тела равно увеличению внутренней энергии второго. Это отражение закона сохранения энергии системы тел с учетом внутренней энергии вещества называют *уравнением теплового баланса*:

$$-c_2 m_2 \Delta T_2 = c_1 m_1 \Delta T_1 \quad (1),$$

где c_1 , c_2 , m_1 , m_2 , - удельные теплоемкости и массы первого и второго тел, ΔT_1 и ΔT_2 - изменения температур тел (тело 2 остывает, поэтому $\Delta T_2 = T_{2 \text{ конеч}} - T_{2 \text{ нач}} < 0$).

С учетом того, что в теплообмене принимает участие алюминиевый стакан калориметра, а его температура за счет хорошей теплопроводности алюминия равна температуре воды, уравнение (1) следует дополнить членом, отражающем энергию, получаемую алюминиевым стаканом:

$$-c_2 m_2 \Delta T_2 = c_1 m_1 \Delta T_1 + c_3 m_3 \Delta T_1$$

Измеряя в эксперименте массы жидкостей и изменение температур обеих жидкостей можно определить удельную теплоемкость неизвестной жидкости c_2 , по известной теплоемкости другой жидкости (например, воды $c_1 = 4200$ Дж/кг·К) и теплоемкости алюминия $c_3 = 880$ Дж/кг·К.

В данной работе изменение температур жидкостей, находящихся по разные стороны стенки от ампулы, производится одновременно двумя датчиками температуры (рис.1).

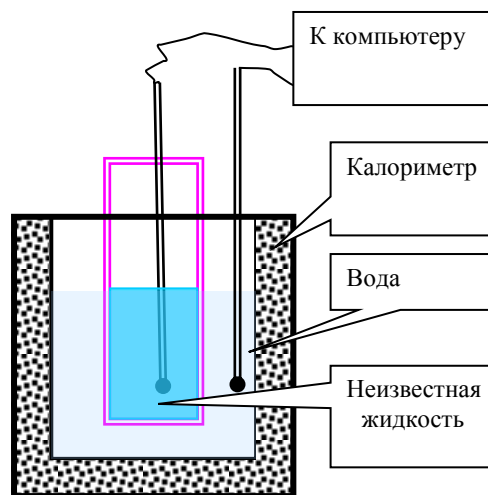


Рис.1

Для корректного расчета количества теплоты, полученного одной жидкостью и отданного другой на любом отрезке времени, необходимо постоянно помешивать жидкости, поскольку при теплообмене через стенки температура жидкости в разных частях сосуда может быть различной. Без помешивания показания датчиков будут отражать температуру жидкости только вблизи чувствительного элемента датчика.

Ампула с неизвестной жидкостью предварительно нагревается в горячей воде и в ходе эксперимента остывает, вода в калориметре нагревается.

Если процесс теплообмена происходит в стационарном режиме, то записанное уравнение (1) выполняется для любого интервала времени Δt . Если при этом стенка между двумя жидкостями достаточно тонкая, то можно полагать, что количество теплоты, поступающее от жидкости с температурой T_2 к жидкости с температурой T_1 пропорционально разности температур

$$-\frac{\Delta Q_2}{\Delta t} = \kappa(T_2 - T_1) \quad (2)$$

или $-\frac{c_2 m_2 \Delta T_2}{\Delta t} = \kappa(T_2 - T_1)$ или

$$\frac{\Delta T_2}{\Delta t} = -\frac{\kappa}{c_2 m_2} (T_2 - T_1) \quad (3)$$

Аналогично для нагревающейся жидкости

$$\frac{\Delta T_1}{\Delta t} = \frac{\kappa}{c_1 m_1} (T_2 - T_1) \quad (4)$$

В работе предполагается проверка гипотезы о линейной зависимости мощности теплообмена от разницы температур в сосудах с жидкостями (уравнение (2)). Если выполняются соотношения (3) и (4), то гипотеза верна, и по отношению скоростей изменения температуры можно судить о соотношении теплоемкостей жидкостей.

$$c_2 = c_1 \frac{m_1 (\Delta T_1 / \Delta t)}{m_2 (\Delta T_2 / \Delta t)} \quad (5).$$

Знание коэффициента κ в уравнении (2) позволяет также оценить коэффициент теплопроводности для материала пластиковой ампулы.

При стационарном потоке энергии через пластину площадью S и толщиной h поток энергии от одной грани пластины к другой выражается соотношением

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -\chi \frac{S}{h} \Delta T$$

Где ΔT — перепад температур граней, χ - коэффициент теплопроводности, который связан с коэффициентом κ , получаемым в эксперименте, соотношением

$$\chi = \frac{\kappa h}{S} \quad (6)$$

и измеряется в СИ Вт/м·К.

Оборудование:

1. штатив,
2. датчик температуры №1
3. капсула с крышкой и датчиком температуры №2
4. калориметр
5. стакан с холодной водой 200 г
6. электрочайник с горячей водой 0,5 л
7. стакан для приготовления воды нужной температуры 400 г
8. глицерин в пузырьке с плотно закрытой крышкой
9. весы электронные (погрешность 0,1 г)
10. салфетка
11. регистратор данных
12. компьютер

Подготовка эксперимента

1. Соберите пластиковую ампулу и датчик температуры №1 в одну деталь (рис.2). Для этого предварительно соедините датчик температуры с крышкой ампулы: снимается зажимное кольцо (1); датчик температуры (2) аккуратно просовывается сквозь

лепестки зажимного устройства (3); одевается зажимное кольцо; регулируется длина корпуса датчика, входящего внутрь пластиковой ампулы (4).

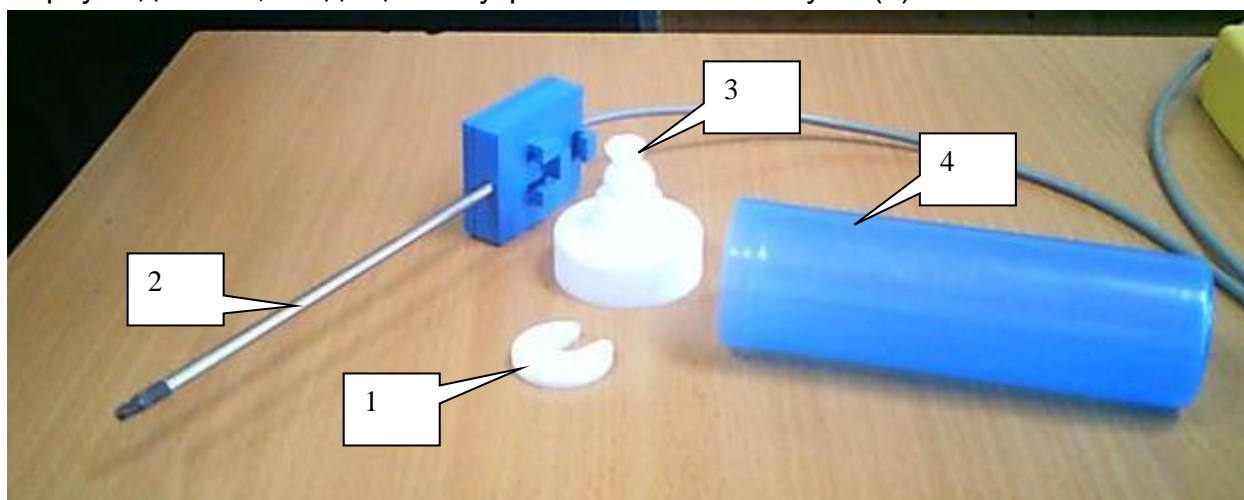


Рис.2

Датчик температуры №2 крепится так, чтобы он мог измерять температуру воды в калориметре (рис.3). Датчик №1 с ампулой будет в ходе эксперимента перемещаться в сосуд с горячей водой

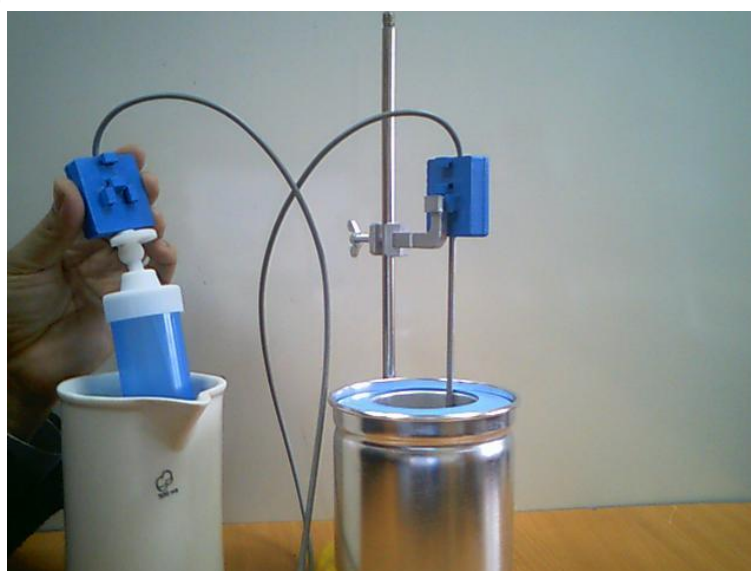


Рис.3

2. Приготовьте холодную и горячую воду.
3. Подключите датчики к концентратору (регистратору данных), а концентратор к USB выходу компьютера, откройте на компьютере программу L-физика и найдите в дереве содержания работу «Исследование теплообмена между двумя жидкостями».

Запустите регистрацию данных. Установите, соответствие между номером датчика и кривой датчика на экране компьютера.

Внимание! Регистрация данных о показаниях датчика температуры ведется с усреднением показаний в течение 20 с, поэтому первые точки на кривой появятся только через 20 с после начала регистрации.

4. Взвесьте ампулу для неизвестной жидкости, налейте в нее $m_2 = 50-60$ г этой жидкости, выданной учителем, запишите точное значение m_2 . Закройте ампулу крышкой с укрепленным в ней датчиком температуры №2. Проверьте, что крышка ампулы надежно закреплена на ней, и что Вы, удерживая в руках датчик температуры можете помешивать жидкость внутри ампулы, покачивая ампулу вокруг точки крепления датчика в крышке.
5. Взвесьте алюминиевый стакан калориметра и налейте в него около $m_1 = 80-90$ г воды при комнатной температуре, запишите точное значение массы m_1 . Установите стакан с водой в калориметр. Укрепите датчик температуры №1 в лапке штатива так, чтобы его кончик находился в алюминиевом стакане калориметра с водой под поверхностью воды (рис.1).
6. Приготовьте в стакане объемом 0,5-1 литра не менее полстакана теплой воды ($45-50^\circ\text{C}$), смешав около воду при комнатной температуре с кипятком из электрочайника в соотношении $\approx 5:3$. Запустите регистрацию данных с датчиков на компьютере и нагрейте пластиковую ампулу с неизвестной жидкостью до $40-45^\circ\text{C}$, опустив примерно в стакан с теплой водой, помешивая жидкость в ампуле и наблюдая за температурой жидкости в ампуле по показаниям датчика №2.
7. После того, как температура жидкости в ампуле вышла на стационарное значение около 40°C , остановите регистрацию показаний на компьютере, вновь запустите ее и начинайте эксперимент.

Проведение эксперимента

1. Быстро выньте нагретую ампулу с неизвестной жидкостью из стакана с горячей водой, оботрите ее салфеткой и опустите ампулу во внутренний стакан калориметра с водой при комнатной температуре.
2. Сразу начинайте интенсивное перемешивание воды в стакане калориметра и глицерина в ампуле. Следите, чтобы вода не выплескивалась из калориметра, а уровень глицерина в ампуле был на уровне поверхности воды в калориметре.
3. Ведите регистрацию показаний датчиков, не прекращая помешивания в течение 6-7 минут (разница температур жидкостей в сосудах приближается к $1-2^\circ\text{C}$) (рис.4).

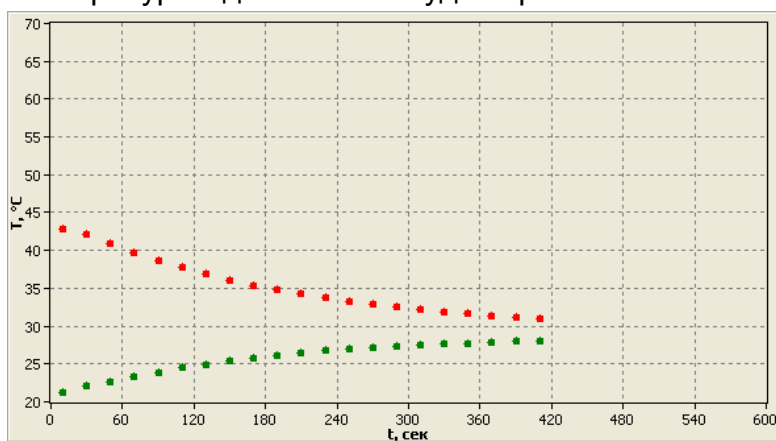



Рис.4

4. Остановите регистрацию. Приведите кривые показаний датчиков к масштабу, позволяющему видеть ее на экране полностью (кнопка «Ось X» или обведение участка кривой при нажатой левой клавиши мыши с одновременным нажатием клавиши **Alt**). Возврат к исходному масштабу осуществляется двойным кликом левой кнопки мыши.

Обработка и анализ результатов

1. Выделите зеленым и желтым маркерами (клик в нужном месте зарегистрированной кривой правой и левой кнопками мыши, соответственно) участок экспериментальной зависимости (t_0-t_N), на котором теплообмен между жидкостью в ампуле и водой в калориметре вышел на стационар, то есть количество теплоты отданной жидкостью равно количеству теплоты полученной водой (промежуток примерно от начала первой до конца пятой минуты от начала регистрации). После этого нажав на кнопку  отправьте данные этого промежутка времени (t_0, t_N) в **Таблицу** окна **Обработка данных**.
2. В окне **Обработка данных** перейдите на вкладку **Исходные данные** (рис.5) внесите массу воды (m_1), неизвестной жидкости (m_2), алюминиевого стакана калориметра (m_3) в граммах, теплоемкость воды и алюминия в Дж/кг·К.

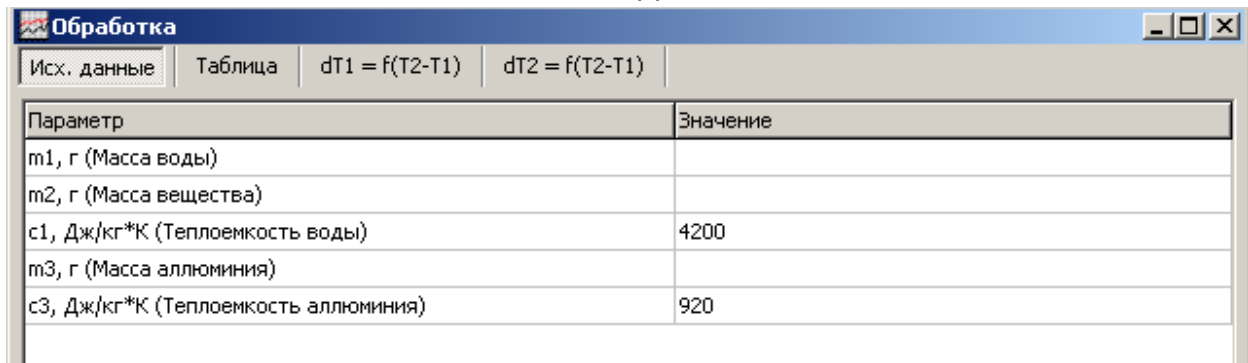


Рис.5

3. Перейдите к вкладке **Таблица** (рис.6)

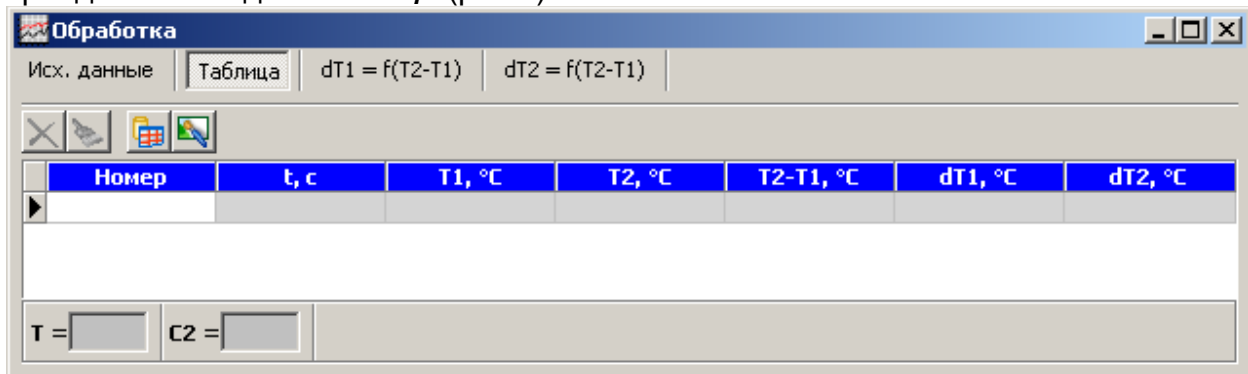



Рис.6

Сравнив изменения температур жидкостей $T_{1N} - T_{10}$ и $T_{20} - T_{2N}$ на интервале (t_0, t_N) и используя уравнение теплового баланса, определите теплоемкость неизвестной жидкости с учетом нагрева алюминиевого стакана. Данные о теплоемкостях веществ имеются в **Теоретические основы работы**. Введите это значение, округлив его до целых (!), в окно ввода $C = \square$ в нижней части вкладки **Таблица** или **Исходные данные**. Теплоемкостью пластиковой ампулы пренебречь. Если расчеты выполнены верно, то окно для ввода окрасится зеленым (рис.6).

4. Считая ошибку в определении температуры T_{10} равной половине разницы температур между точкой под номером 0 и 1, а ошибку в определении температуры T_{1N} равной половине разницы температур между точкой под номером N и $(N-1)$, рассчитайте относительную ошибку измерения теплоемкости жидкости. Погрешность измерения масс 0,1 г, погрешность табличного значения теплоемкости воды 0,2%. Укажите в отчете иные возможные причины ошибок измерения теплоемкости.
5. Используя уравнение теплового баланса, по значениям температур жидкостей T_{10}, T_{20}, T_{1N} и T_{2N} в начале и конце интервала (t_0, t_N) рассчитайте температуру теплового равновесия T_∞ , к которой должны были бы прийти обе жидкости при длительном теплообмене. Внесите ее в соответствующее окно в нижней части вкладки **Таблица** (рис.6). В расчетную формулу теплоемкости веществ участвующих в теплообмене

входить не должны. Приведите формулу в отчете, а также отметьте в отчете, насколько расчетное значение согласуется с реальным ходом экспериментальных кривых в конце интервала наблюдения

6. Перейдите на вкладки с графиками зависимости изменения температуры жидкостей от перепада температур по обе стороны от стенок ампулы (вкладки $dT_1 = f(T_2 - T_1)$ и $dT_2 = f(T_2 - T_1)$) и проанализируйте ход этих зависимостей. Используя выпадающие списки с набором типов функций, для описания экспериментальных данных в верхнем левом углу вкладки (рис.8), выясните, выполняется ли гипотеза о пропорциональности мощности теплообмена между жидкостями разнице температур жидкостей по разные стороны от стенки пластиковой ампулы. Использование кнопки  инициирует компьютерный подбор таких коэффициентов A и B для выбранного вами вида функции, чтобы график функции наилучшим образом¹ описывал экспериментальную зависимость (рис.7). Числовые значения подобранных коэффициентов отразятся в верхнем левом углу окна с графиком.

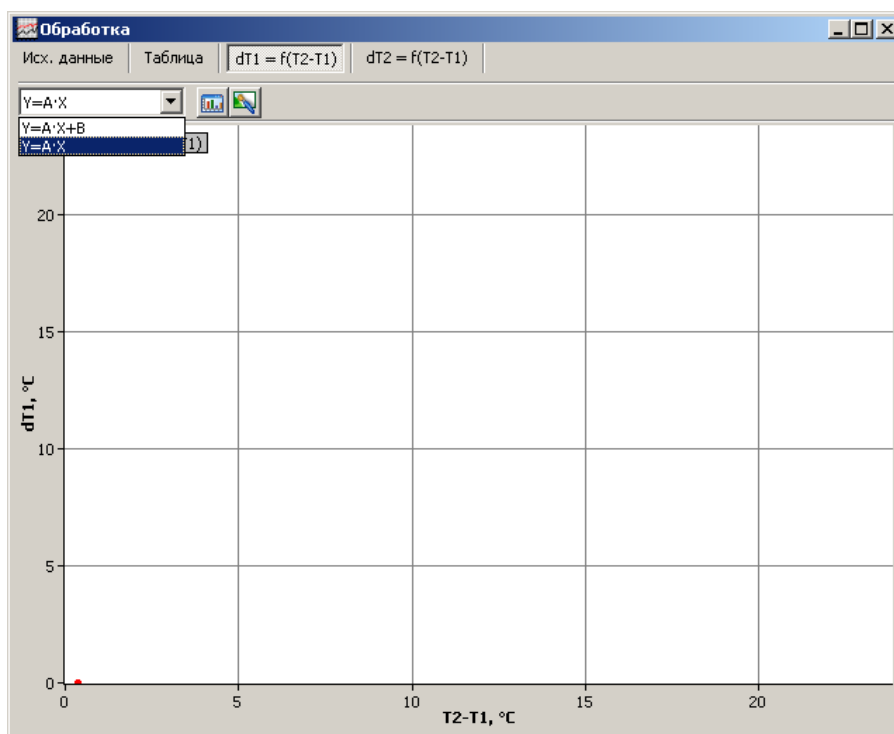



Рис7.

7. Сфотографируйте свою установку с помощью ВЭБ-камеры компьютера для включения фото в отчет.

Отчет по работе

1. Перейдите в окно формирования отчета (кнопка ). Отчет формируется в виде ttf – файла с использованием заложенного в этом разделе инструментарий. Вставьте в отчет рисунки, таблицы, используя меню появляющееся на рабочем поле по нажатию правой кнопки мыши (рис.8).

¹ По методу наименьших квадратов

Обработка полученных данных.

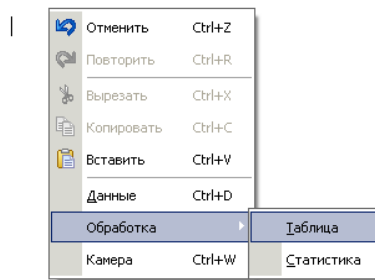


Рис.8

Дополните вставки фрагментами данного описания работы и текстовыми комментариями с клавиатуры.

Отчет должен содержать:

- дату, фамилию и имя исполнителей, название работы, фотографию установки с исполнителями (ем), сделанную с помощью ВЭБ камеры компьютера.
- экспериментальный график изменения температуры жидкостей в ходе теплообмена, качественное его описание, расчетное значение равновесной температуры жидкостей в конце теплообмена;
- формулу для расчета и значение теплоемкости неизвестной жидкости по уравнению теплового баланса на выбранном интервале, обоснование выбранного интервала, оценку ошибки измерения теплоемкости;
- графики зависимости скорости изменения температур жидкостей от перепада температур по разные стороны ампулы с неизвестной жидкостью, обсуждение графиков.

Контрольные вопросы.

1. Что такое теплоемкость вещества? Какие способы ее измерения Вы знаете?
2. Почему не всегда теплоемкость жидкости можно измерить смешивая ее с жидкостью, теплоемкость которой известна?
3. Как используя уравнение теплового баланса рассчитать температуру теплового равновесия, если начальные условия и теплоемкости и массы тел заданы?
4. Как скорость теплообмена зависит от разницы температур между телами?