

**КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ИНСТИТУТ ФИЗИКИ**

*Кафедра общей физики*

**Р.М. ЕРЁМИНА, А.И. СКВОРЦОВ, А.А. МУТЫГУЛЛИНА,  
О.Б.САЛИХОВА, Д.С.БЛОХИН**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ  
ОБЩЕГО ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА  
ПО МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ И  
ТЕРМОДИНАМИКЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА.  
ТВЕРДЫЕ ТЕЛА И ЖИДКОСТИ.**

Казань – 2015

УДК 530.10  
ББК 22.36  
Э 41

*Принято на заседании кафедры общей физики  
Протокол № 6 от 6 марта 2015 года*

**Рецензент:**

доктор физико-математических наук, профессор кафедры промышленной электроники Казанского государственного энергетического университета  
**В.А.Уланов**

**Ерёмина Р.М., Скворцов А.И., Мутыгуллина А.А., Салихова О.Б., Блохин Д.С.** Экспериментальные задачи общего физического практикума по молекулярной физике и термодинамике. Процессы переноса. Жидкости и твердые тела / **Р.М. Ерёмина, А.И. Скворцов, А.А. Мутыгуллина, О.Б.Салихова, Д.С.Блохин** .-Казань: Казан.ун-т, 2015.-49с.

Методическое пособие «Экспериментальные задачи общего физического практикума по молекулярной физике и термодинамике. Процессы переноса. Жидкости и твердые тела». предназначено для студентов естественно-научных специальностей университетов. Приводятся описания лабораторных работ физического практикума общего курса физики, раздел «Молекулярная физика и термодинамика», по теме «Процессы переноса. Жидкости и твердые тела». В каждой работе даны подробные описания установок, ход выполнения работ и список вопросов для самостоятельной подготовки

© Р.М.Еремина, А.И.Скворцов,  
А.А.Мутыгуллина, О.Б.Салихова,  
Д.С.Блохин, 2015  
© Казанский университет, 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

221. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ ЕДИНИЧНОЙ ПЛАСТИНЫ.....	4
222. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА .....	9
223. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ НА ШАРИКОВОМ ВИСКОЗИМЕТРЕ .....	14
250. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ РАСТВОРОВ .....	22
251. ИЗМЕРЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ МЕТОДОМ ОТРЫВА.....	26
252. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОБЪЕМНОГО РАСШИРЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ...	33
253. ИЗМЕРЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ.....	38
254. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ.....	41
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К РАБОТАМ .....	46

## 221. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ ЕДИНИЧНОЙ ПЛАСТИНЫ

### Введение

Количество теплоты  $\Delta Q$ , которое за время  $\Delta t$  проходит через образец строительного материала, пропорционально разности температур  $\Delta T$  между передней и задней сторонами пластины, площади поверхности пластины  $S$  и обратно пропорционально толщине пластины  $d$ .

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \cdot \frac{S}{d} \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где коэффициент пропорциональности  $\lambda$  называется теплопроводностью. В методе единичной пластины теплопроводность определяется непосредственным измерением теплового потока  $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ :

$$\lambda = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot \frac{d}{S \cdot \Delta T}. \quad (2)$$

При проведении измерений необходимо быть уверенным в том, что тепловой поток проходит только через образец (других причин для утечки количества теплоты нет), и что он является однородным. Для этого по показаниям цифрового температурного датчика и контроллера (666198) необходимо следить за тем, чтобы температура внутри камеры сохраняла свое значение. Следует отметить, что в работе используется калориметрическая камера с теплоизоляционными стенками.

Таким образом, значение электрической энергии  $\Delta W$ , излучаемой нагревателем в течение промежутка времени  $\Delta t$ , равно количеству теплоты  $\Delta Q$ , которое за этот промежуток времени проходит через образец строительного материала:

$$\frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}.$$

Теплопроводность  $\lambda$  может быть вычислена с помощью соотношения:

$$\lambda = \frac{\Delta W}{\Delta t} \cdot \frac{d}{S \cdot \Delta T} . \quad (3)$$

### **Цель работы**

Исследование физического явления теплопроводности и накопления тепла в строительных материалах.

### **Решаемые задачи**

- ✓ Определение теплопроводности для различных строительных материалов.

### **Техника безопасности**

- ✓ Будьте предельно аккуратны при работе с нагревательным элементом  
Экспериментальная установка

### **Экспериментальная установка**

#### Приборы и принадлежности

- Калориметрическая камера с теплоизоляционными стенками.
- Канал для термометра или датчика температуры, измеряющего температуру воздуха в камере.
- Внутренность камеры с отделением из поролонового покрытия для вставки стеновых материалов (9 -13) или образцов строительных материалов.
- Три канала для измерения температуры в экспериментах с набором строительных материалов.
- Розетки для вставки нагревателя (7).
- Пара 4-мм разъемов для напряжения питания нагревателя (7), электрически связанного с (5).
- Нагреватель: трубчатая лампа, 24 В, 10 Вт, на пластине с 4-мм заглушкой для подключения в (5).
- Накопитель для тепла (алюминий вес около. 500 г).
- (9-13) Стеновые материалы для размещения в (3) Размеры: 15 см x 15 см:
- Керамическая плитка, толщиной 11 мм;
- Алюминиевая пластина, толщиной 3 мм;
- Пластина из пенополистирола, толщиной 10 мм;
- Пластина из оргстекла, толщиной 1,5 мм;
- Пластина из оргстекла с прокладками, толщиной 1,5 мм (используется в совокупности с (12) для имитации изолирующего остекления).

- Крючок для удаления стеновых материалов из калориметрической камеры (3). (Хранение: повесить его за кольцо от одного из выступающих шипов (3)).
- Резиновые пробки для канала (2): без скважины; с отверстием диам. 1,5 мм (для температурного датчика 666 193) с отверстием диам. 6 мм (для стеклянного термометра 38234).
- Сенсор NiCr-Ni
- Цифровой термометр с одним входом.
- Цифровой температурный датчик и контроллер.
- Трансформатор 2 - 12 В, 120 Вт.
- Секундомер
- Ноутбук с программой CASSY Lab 2.

В эксперименте используется калориметрическая камера (см. Рис. 1):

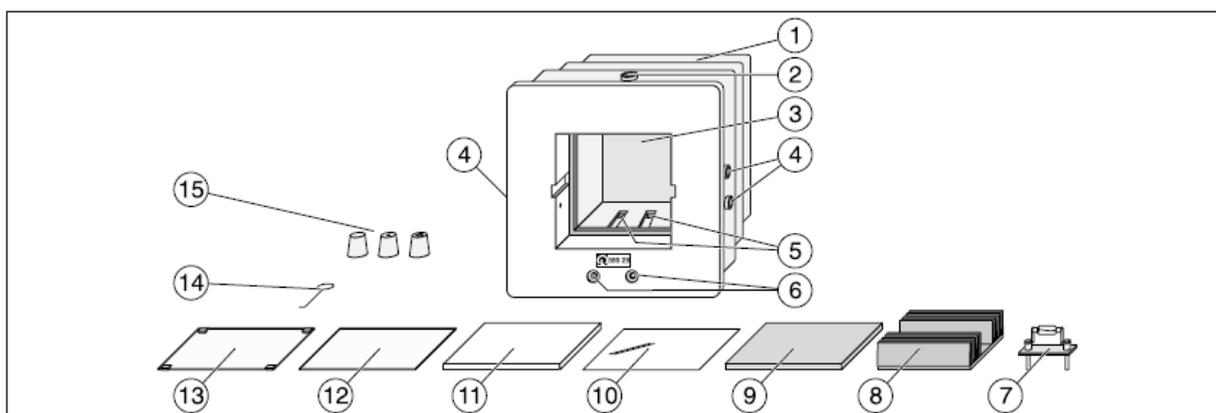




Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки

### Порядок выполнения работы

1. Вставьте накопитель тепла (8) к задней стенке калориметрической камеры и нагреватель (7) в розетку (5).
2. Вставьте образец строительного материала (по выбору преподавателя) в отделение из поролонового покрытия калориметрической камеры.
3. Для измерения температуры перед образцом строительного материала вставьте сенсор температуры NiCr-Ni в канал (4). Для измерения температуры за образцом строительного материала (температуры воздуха в камере) вставьте сенсор температуры NiCr-Ni в канал (2) с помощью подходящей резиновой пробки (15) и сдвиньте его так, чтобы наконечник термометра находился примерно в центре камеры. Для записи температур используется компьютер с программой CASSY.
4. Включите компьютер. Выберите программу D:/эксперимент/221.lab
5. Подключите к нагревателю напряжение питания с трансформатора через разъемы (6). В качестве нагревателя используется трубчатая лампа со следующими характеристиками:  $U=24\text{ В}$ ,  $P=2.68\text{ Вт}$ .

6. Получите с помощью программы CASSY графики зависимости температуры от времени передней и задней поверхности образца строительного материала, а также их разности. При этом выберите следующие параметры  $\tau=3000\text{с}$ , скорость записи 1 мм/мин.
7. Подключите цифровой температурный датчик и контроллер (666 198) в канал (2) и убедитесь, что температура внутри камеры сохраняет свое значение.
8. Воспользовавшись формулой (3), определите значение теплопроводности строительного материала. При этом считайте, что значение мощности электрической энергии нагревателя  $\frac{\Delta W}{\Delta t} = P = 2.68\text{Вт}$ .
9. Повторите эксперимент с другими образцами строительных материалов. При этом учтите, что пока нагреватель (7) и накопитель тепла находятся в камере, **нельзя удалять строительные материалы, наклоня камеру.** Используйте для этого монтажный крюк (14). Вставьте монтажный крюк в одну из плоских канавок между строительным материалом и внутренней стенкой камеры, аккуратно нажмите на нее ниже строительного материала и действием рычага вытащите соответствующую пластину. Старайтесь не повредить поронозное покрытие.
10. Можно сравнить результаты измерения с использованием накопителя тепла и без него.

### **Определение теплопроводности строительных материалов с помощью эталона с известной теплопроводностью.**

Теплопроводность какого-либо строительного материала  $\lambda_x$  можно определить с помощью эталонного образца с известной теплопроводностью  $\lambda_0$ . Для этого образцы строительных материалов необходимо подвергнуть одному и тому же испытанию, а именно, чтобы через них проходило одно и тоже количество теплоты  $\Delta Q$  за время  $\Delta t$ . Тогда можно будет применить следующее соотношение

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda_0 \cdot \frac{S_0}{d_0} \cdot \Delta T_0 = \lambda_x \cdot \frac{S_x}{d_x} \cdot \Delta T_x, \quad (2)$$

где величины с индексом "0" относятся к эталонному образцу, а с индексом "x" - к образцу, теплопроводность которого мы хотим найти. Тепловой поток  $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$  может быть вычислен с помощью (2), если известны значения  $\lambda_0$ ,  $S_0$ ,  $d_0$  и  $\Delta T_0$ . Таким образом мы сможем определить неизвестную теплопроводность с помощью соотношения:

$$\lambda_x = \lambda_0 \cdot \frac{S_0}{S_x} \cdot \frac{d_x}{d_0} \cdot \frac{\Delta T_0}{\Delta T_x}. \quad (3)$$

## 222. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА

### Введение

На шарик, падающий в вязкой среде, действует сила тяжести  $mg$ , сила Архимеда  $F_A$  и сила сопротивления среды – сила Стокса  $F_C$ .

$$mg = \rho_s V g, \quad (1)$$

$$F_A = \rho V g, \quad (2)$$

$$F_C = 6\pi\eta r v, \quad (3)$$

где  $V$  – объем шарика,  $v$  – скорость шарика,  $\rho_s$  – плотность шарика,  $\rho$  – плотность среды,  $g$  – ускорение свободного падения. Сумма всех сил действующих на тело равна  $ma$ , при условии, что число  $Re \ll 1$ ; жидкость заполняет все пространство; жидкость смачивает шарик, т.е. прилегающий к шариком слой жидкости движется вместе с ним.

По второму закону Ньютона:

$$V\rho_s \frac{dv}{dt} = Vg(\rho_s - \rho) - 6\pi r_s \eta v \quad (4)$$

Решаем дифференциальное уравнение методом деления переменных:

$$dt = \frac{dv}{g\left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right) - \frac{6\pi r_s \eta v}{V\rho_s}} = \frac{dv}{a - bv} \quad (5)$$

где  $a = g\left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)$ , а  $b = \frac{6\pi r_s \eta}{V\rho_s}$ . После замены переменных  $z = a - bv$ , получаем

выражение:

$$-b dt = dz/z.$$

Проинтегрируем это уравнение, отсчитывая время сначала падения  $t=0$ ,  $v=0$ .

$$-bt = \ln\left(\frac{z(t)}{z(0)}\right) \text{ или } z(t) = z(0)\exp(-bt),$$

или

$$v(t) = \frac{a}{b}(1 - \exp(-bt)) = \frac{gV(\rho - \rho_s)}{6\pi\eta r_s} \left(1 - \exp\left(-\frac{6\pi\eta r_s t}{m}\right)\right) \quad (6)$$

Таким образом, скорость шарика экспоненциально приближается к постоянному предельному значению:

$$v_p = \frac{gV(\rho_s - \rho)}{6\pi\eta r_s} \quad (7)$$

Время, необходимое для достижения равновесного значения скорости, называется временем релаксации:

$$\tau = \frac{V\rho_s}{6\pi\eta r_s} \quad (8)$$

Если время падения в несколько раз больше времени релаксации, то процесс установления скорости можно считать законченным.

Преобразуем формулу (7), выразив коэффициент вязкости  $\eta$ , подставим выражение для объема шарика, получим:

$$\eta = \frac{2gr_s^2(\rho_s - \rho)}{9v_p} \quad (9)$$

При проведении эксперимента необходимо учитывать соотношение между радиусами шарика и сосуда путем введения поправочного множителя:

$$\eta = \frac{2gr_s^2(\rho_s - \rho)}{9v_p \left(1 + 2.4 \frac{r_s}{R}\right)} \quad (10)$$

### **Цель работы**

Измерение вязкости жидкости методом Стокса.

### **Решаемые задачи**

- ✓ Определение коэффициента вязкости глицерина.

### **Техника безопасности**

- ✓ Внимание: в работе используется стекло.
- ✓ Будьте предельно аккуратны при работе со стеклянным сосудом и металлическим шариком;

## **Экспериментальная установка**

### Приборы и принадлежности

- Стекланный сосуд с глицерином.
- Стальной шарик.
- Магнитный держатель со спусковым механизмом.
- Пара цилиндрических магнитов с отверстиями.
- Штангенциркуль.
- Электронные весы.
- Рулетка
- Секундомер



Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки

### **Порядок выполнения работы**

1. Возьмите штангенциркуль, секундомер, рулетку у инженера или преподавателя.
2. Измерьте внутренний радиус цилиндра  $R$  и расстояние между метками.
3. Измерьте с помощью штангенциркуля радиус шарика  $r_s$ .

4. Рассчитайте объем шарика. На электронных весах определите массу шарика и рассчитайте его плотность.
5. Включите секундомер в цепь переменного тока. Закрепите шарик на магнитном держателе с пусковым механизмом.
6. С помощью спускового механизма опустите шарик и определите время прохождения шариком расстояния между двумя отметками на цилиндре.
7. Вычислите скорость падения шарика. Проведите 10 измерений и определите среднюю скорость падения шарика.
8. Определите по формуле (10) вязкость жидкости и оцените погрешность. Сравните полученный результат с табличным значением вязкости глицерина.
9. По формуле (8) вычислить время релаксации скорости шарика.
10. По формуле (3) вычислить силу сопротивления среды.

## 223. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ НА ШАРИКОВОМ ВИСКОЗИМЕТРЕ

### Введение

Рассмотрим протекание жидкости по трубе. В том случае, когда соседние слои жидкости (или газа) перемещаются с различной скоростью, между ними действуют силы трения. Вязкостью называется свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. Слой жидкости, непосредственно прилегающий к неподвижной плоскости, неподвижен. Линия тока жидкости в центре трубы перемещается с максимальной скоростью. В промежуточной области скорость течения жидкости зависит от расстояния.

Основной закон вязкого течения был установлен И. Ньютоном

$$F = -\eta \frac{dv}{dr} S \quad (1)$$

где сила трения  $F$  пропорциональна площади  $S$  плоскостей, перемещающихся относительно друг друга, и градиенту скорости  $dv/dr$ . Градиент  $dv/dr$  характеризует быстроту изменения скорости от слоя к слою. Коэффициент пропорциональности  $\eta$  называется коэффициентом динамической вязкости. Он характеризует сопротивление жидкости (газа) смещению ее слоев. В системе СИ за единицу вязкости принят Паскаль·секунда, сокращенно – Па·с. Жидкость имеет вязкость один Па·с, если для сдвига плоскости площадью  $1 \text{ м}^2$  параллельно другой плоскости, расположенной на расстоянии  $1 \text{ м}$  от первой, со скоростью  $1 \text{ м/с}$  требуется сила  $1 \text{ Н}$ . Если коэффициент динамической вязкости  $\eta$  отнести к плотности жидкости, то получившеюся величину называют коэффициентом кинематической вязкости

$$v = \eta / \rho \quad ; \quad [v] = [\eta] / [\rho] = \text{Па} \cdot \text{с} / (\text{кг} / \text{м}^3) = \text{м}^2 / \text{с}.$$

Когда жидкость (газ) перемещается как бы слоями, упорядоченно, течение жидкости называют ламинарным. Ламинарное течение жидкости наблюдается, например, при достаточно медленном течении жидкости в трубе. С увеличением скорости движения ламинарное течение в некоторый момент переходит в турбулентное течение, возникают вихри, происходит интенсивное перемешивание слоев жидкости, сопротивление жидкости изменяется (рис. 1).

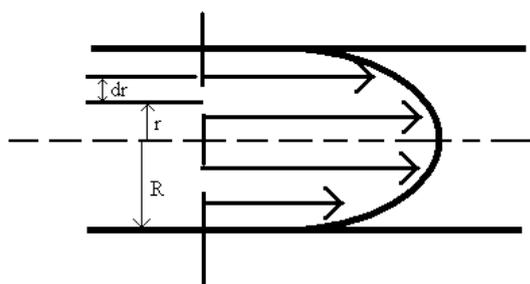


Рис. 1. Распределение скоростей движения жидкости в сечении трубы

Характер течения определяется числом Рейнольдса

$$Re = \rho v L_x / \eta, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости,  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости,  $v$  – скорость шарика,  $L_x$  – характерный размер тела. При рассмотрении течения жидкости в круглой трубе характерный размер имеет смысл радиуса трубы, а  $v$  имеет смысл средней скорости жидкости в сечении трубы. Если число Рейнольдса меньше критического значения  $Re_{кр}$ , то возможно только ламинарное течение. Если  $Re$  больше критического значения, течение может иметь переходный или турбулентный характер. Критическое значение числа Рейнольдса зависит от состояния поверхности и других факторов. Для движения жидкости по трубе, как правило,  $Re_{кр} = 2000 - 2200$ .

В системе СГС вязкость измеряется в дина-секунда на квадратный сантиметр ( $\text{дин} \cdot \text{сек} / \text{см}^2$ ), равная  $1 \text{ г} / (\text{см} \cdot \text{сек})$  и названная пуазом (пз). Применяют дольные единицы пуаза — сантипуаз (спз), миллипуаз (мпз) и микропуаз (мпз).

**Ньютоновская жидкость** (названная так в честь Исаака Ньютона) — вязкая жидкость, подчиняющаяся в своём течении закону вязкого трения Ньютона

Примерами ньютоновской жидкости являются все низкомолекулярные вещества в жидком состоянии, их смеси и истинные растворы в них низкомолекулярных веществ (вода, органические жидкости, расплавленные металлы, соли и стекло при температуре выше температуры стеклования).

Экспериментальное изучение строения жидкостей показало, что в отличие от газов, жидкости обладают определенной структурой, называемой ближним порядком. Это означает, что число ближайших соседей отдельно выбранной молекулы, а также их взаимное расположение в среднем для всех молекул одинаковы. Подобно твердым телам жидкости мало сжимаемы, обладают большой плотностью; подобно газам – принимают форму сосуда, в котором находятся. Такой характер свойств жидкостей связан с особенностями теплового движения их молекул. По теории Я. Френкеля, молекулы жидкости, подобно частицам твердого тела, колеблются около положения равновесия, однако эти положения не являются постоянными. По истечении некоторого времени, называемого временем оседлой жизни, молекула скачком переходит в новое положение равновесия на расстояние, равное среднему расстоянию между соседними молекулами. Для того чтобы молекула жидкости «перескочила» из одного положения равновесия в другое, должны нарушиться связи с окружающими ее молекулами и образоваться связи с новыми соседями. Для разрыва межмолекулярных связей требуется энергия  $E_a$  (энергия активации), выделяемая при образовании новых связей. Такой переход молекулы из одного положения равновесия в другое является переходом через потенциальный барьер высотой  $E_a$ . Энергию для преодоления потенциального барьера молекула получает за счет энергии теплового движения соседних молекул. Зависимость среднего времени свободной жизни молекулы ( $\tau$ ) от температуры жидкости и энергии активации выражается формулой, вытекающей из распределения Больцмана:

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right), \quad (3)$$

где  $\tau_0$  – средний период колебаний молекулы около положения равновесия,  $k$  – постоянная Больцмана. Чем чаще молекулы меняют свои положения равновесия, тем более текуча и менее вязка жидкость, т.е. вязкость прямо пропорциональна  $\tau$ . Учитывая формулу (3), получим выражения для температурной зависимости вязкости:

$$\eta = A \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right), \quad (4)$$

где  $A$  - const. Из графика температурной зависимости вязкости можно определить энергию активации. Для этого удобно прологарифмировать уравнение (3)  $\ln \eta = \ln A + \frac{E_a}{kT}$  и построить график в координатах  $\ln \eta$  и  $1/T$ .

Тангенс угла наклона этого графика будет равен энергии активации, поделенной на постоянную Больцмана.

Вязкость жидкостей и газов измеряют приборами, называемыми вискозиметрами. В представленной работе вязкость жидкостей и газов определяется сравнительным методом, в котором вязкость жидкости определяется по формуле:

$$\eta = K \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot t, \quad (5),$$

где  $\rho_1$  – плотность шарика,  $\rho_2$  – плотность жидкости,  $K$  – коэффициент, зависящей от размеров и плотности конкретного шарик,  $t$  – время падения шарика в жидкости между двумя метками.

## Цель работы

Определение вязкости жидкости и энергии активации

## Решаемые задачи

- ✓ определение динамической вязкости жидкости
- ✓ измерение температурной зависимости вязкости ньтоновской жидкости
- ✓ определение энергии активации внутреннего трения жидкости

## Техника безопасности

- ✓ Внимание: не включайте нагреватель при отсутствии воды в емкости нагревателя.

## Экспериментальная установка

### Приборы и принадлежности

- Вискозиметр Хепплера
- Циркуляционный термостат 20÷+100 °С
- Секундомер
- Силиконовая подводка, 7 мм Ø

Таблица 1.

Масса и диаметр шариков

Номер шарика	Масса (грамм)	Диаметр (мм)	Материал
1	11.6918	14.280	сталь
2	4.45	15.647	стекло
3	4,61	15,81	стекло

Таблица 2.

Вязкость и плотность жидкостей

	Жидкость	Вязкость при 25 <sup>0</sup> С (мПа·сек)	Плотность (кг/м <sup>3</sup> )
1	вода	0.895	998.23
2	глицерин	945	1261



Рис.1. Установка по определению коэффициента вязкости. 1) Вискозиметр; 2) Нагреватель

### Порядок выполнения работы

#### Упражнения №1.

1. Шарик (стальной или стеклянный) с неизвестным коэффициентом  $K$  помещен в измерительную трубку вискозиметра, куда налита жидкость (глицерин или вода). По данным таблицы 1 рассчитайте плотность шарика, который используется в данной установке.
2. Переверните измерительную систему, измерьте время падения шарика в жидкости  $t$  между двумя крайними метками. Для более точного определения времени эксперимент следует проводить 4-6 раз.
3. Рассчитайте коэффициент шарика  $K$  по формуле:

$$K = \frac{\eta}{(\rho_1 - \rho_2) \cdot t},$$

где  $\rho_1$  – плотность шарика;  $\rho_2$  – плотность жидкости;  $\eta$  - динамическая вязкость известной жидкости, приведённая в таблице 2.

### Упражнения №2.

1. Включите нагреватель. Установите на дисплее термостата температуру на 5 градусов выше комнатной. Для этого, используя клавишу «вверх» выделите вторую строчку. Нажмите «Enter» для редактирования. Перемещайте курсор клавишами «вправо» и «влево» и изменяйте цифры с помощью клавиш «вверх» и «вниз». Установите нужное значение температуры. Зафиксируйте установленное значение клавишей «Enter». Далее выделите третью строчку со значком  и включите термостат нажав клавишу «Enter».
2. Дождитесь повышение температуры на 5 градусов и, не выключая термостат, измерьте время падения шарика в жидкости  $t$  между двумя крайними метками. Для более точного определения времени эксперимент следует проводить 4-6 раз.

3. Рассчитайте динамическую вязкость жидкости по формуле:

$$\eta = K(\rho_1 - \rho_2) \cdot t,$$

где  $\rho_1$  – плотность шарика;  $\rho_2$  – плотность жидкости;  $K$  - индивидуальная константа шарика, рассчитанная в первом упражнении.

4. Проведите измерения при различных температурах (5-6 значений) до 60°C. Каждый раз, устанавливая значение температуры как в пункте 1. После каждого увеличения температуры ждите несколько минут, пока полностью прогреется исследуемая жидкость.
5. Постройте график зависимости коэффициента вязкости жидкости от абсолютной температуры в координатах  $\eta$  и  $T$ .

6. Постройте график зависимости коэффициента вязкости жидкости от абсолютной температуры в координатах  $\ln \eta$  и  $1/T$ . По тангенсу угла его наклона определите энергию активации внутреннего трения  $E_a$ .

## 250. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ РАСТВОРОВ

### Введение

Раствором называют физически однородные (гомогенные) смеси двух или нескольких веществ в конденсированном состоянии. Физическая однородность достигается равномерным перемешиванием молекул. В этом отношении растворы отличаются от механических смесей мелких частиц вещества. Но растворы нельзя читать механическими смесями молекул, как это имеет место в газах, из-за выраженного межмолекулярного взаимодействия. В частности оно проявляется в том, что при растворении ряда веществ объем раствора не равен сумме объемов смешиваемых веществ. Кроме того, молекулы в растворе могут диссоциировать (распадаться) на ионы. То есть исходных молекул вещества может и не существовать в растворе. Например, хлориды натрия и калия в воде находятся в виде ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{Cl}^-$ . Этим обусловлена электропроводность электролитов. При растворении различных веществ может выделяться или поглощаться теплота.

Количественно растворы характеризуются концентрацией, определяющей содержание той или иной части раствора. Концентрацию можно выразить в различных единицах, например в массовой и молярной долях. При изучении свойств растворов концентрация, наряду с температурой и давлением, является параметром состояния. От концентрации раствора зависит давление насыщенных паров над его поверхностью, температуры кипения и кристаллизации, плотность, поверхностное натяжение и многие другие свойства.

### Цель работы

Измерение плотности жидкости ареометром.

### Решаемые задачи

- ✓ Знакомство с устройством ареометра
- ✓ Измерение плотности жидкости с помощью ареометра
- ✓ Определение концентрации соли в растворах

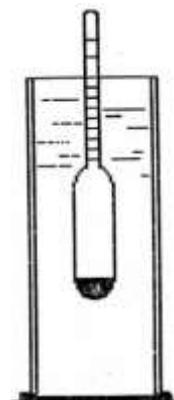
## Техника безопасности

- ✓ Внимание в работе используется стекло.

## Экспериментальная установка

### Приборы и принадлежности

- Ареометр
- Стеклянные банки
- Колбы с растворами солей



Плотности растворов в работе измеряются ареометром, представляющим собой стеклянную ампулу со шкалой в узкой верхней части и грузом в широкой нижней части (см. рис.). Его действие основано на законе Архимеда, согласно которому на тело, погруженное в жидкости, действует выталкивающая сила  $F_A$ , численно равная весу вытесненного погружной частью тела количества жидкости:

$$F_A = \rho g V_{\text{пч}}$$

где  $\rho$  - плотность жидкости,  $g$  - ускорение свободного падения,  $V_{\text{пч}}$  – объем погруженной части тела. Величина силы  $F_A$  возрастает с увеличением плотности жидкости. Таким образом, ареометр, опущенный в менее плотную жидкость, погружается больше, чем в более плотной жидкости. Уровень погружения, отмечается по шкале ареометра, проградуированной в единицах плотности.

## Порядок выполнения работы

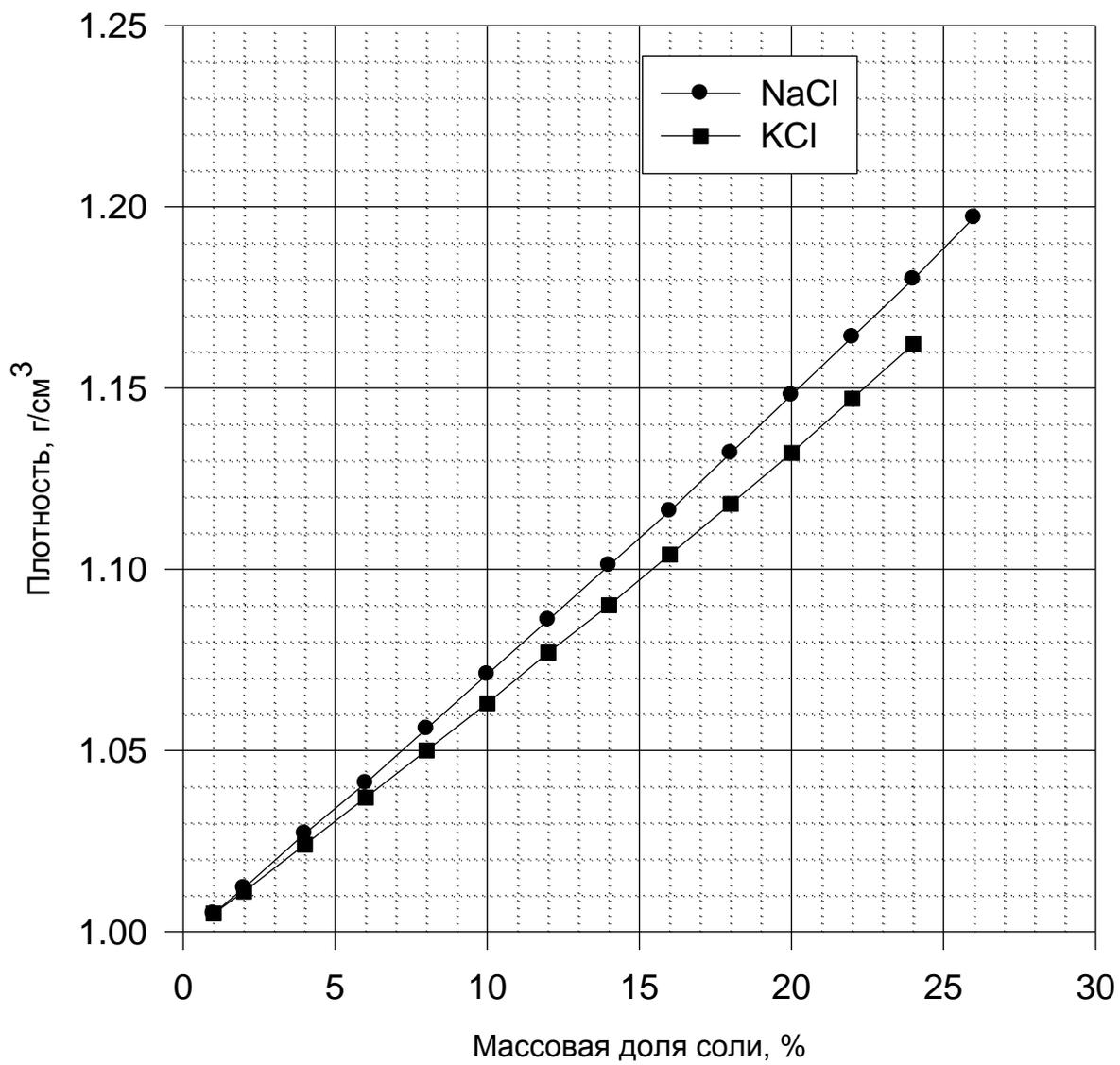
1. Налить исследуемый раствор соли в специальную банку для измерения плотности.
2. Опустить в нее ареометр и измерить плотность.
3. Используя справочные данные, определить концентрацию соли в растворах.

4. Представить полученные концентрации солей в различных единицах измерения: а) % б) моль/л, в) г/л.
5. Вычислить относительную разницу между суммой объемов воды и кристаллической соли, взятых для приготовления наиболее концентрированного раствора, и объемом полученного раствора. Для расчета удобно выразить объемы веществ через их массы и плотности:

$$\frac{V_{\text{воды}} + V_{\text{соли}}}{V_{\text{раствора}}} = \frac{\frac{m_{\text{воды}}}{\rho_{\text{воды}}} + \frac{m_{\text{соли}}}{\rho_{\text{соли}}}}{\frac{m_{\text{воды}} + m_{\text{соли}}}{\rho_{\text{раствора}}}}$$

6. Объяснить причину возникновения этой разницы.
7. Повторить п. 1-6 для других растворов солей.

Зависимость плотности водных растворов NaCl и KCl от их массовой доли в растворе



## 251. ИЗМЕРЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ МЕТОДОМ ОТРЫВА

### Введение

Явление поверхностного натяжения связано с тем, что на молекулы на поверхности жидкости действует сила притяжения от соседних молекул, находящихся в толще жидкости (см. рис.1). Результирующая сила складывается и направлена перпендикулярно к поверхности жидкости.

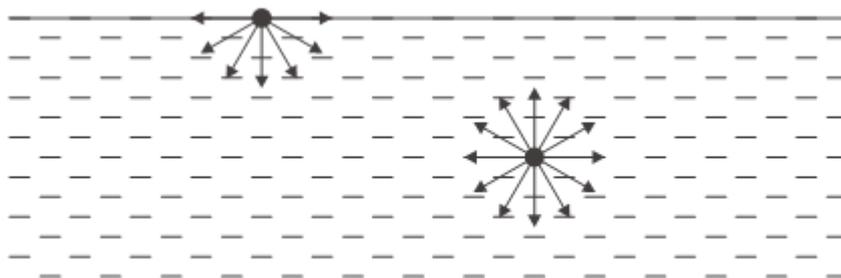


Рис. 1. Действие сил притяжения на молекулы в толще и на поверхности жидкости.

Отношение изменения свободной энергии к изменению площади поверхности при постоянной температуре называется поверхностным натяжением жидкости.

$$\sigma = \Delta E / \Delta S \quad (1)$$

Поверхностное натяжение можно измерить с помощью металлического кольца с острыми краями, полностью погруженными в жидкость. Если кольцо медленно вынимать из жидкости, то тонкий слой жидкости вытягивается за кольцом (см. рис.2). Изменяется площадь внешней и внутренней поверхности слоя жидкости:

$$\Delta S = 4 \cdot \pi \cdot R \cdot \Delta x, \quad (2)$$

где  $R$  – радиус металлического кольца.



Рис.2. Иллюстрация принципа измерений

Когда металлическое кольцо поднимается на расстояние  $\Delta x$ , то сила натяжения определяется формулой:

$$F = \Delta E / \Delta x \quad (3)$$

Если сила натяжения увеличивается, то кольцо отрывается от жидкости. Исходя из (1-3) поверхностное натяжение можно рассчитать как:

$$\sigma = F / (4\pi R) \quad (4)$$

В данном эксперименте для определения поверхностного натяжения используется метод отрыва, когда металлическое кольцо помещается на поверхность жидкости. Этот слой жидкости притягивает кольцо к жидкости за счёт поверхностного натяжения жидкости.

### Цель работы

Определение коэффициента поверхностного натяжения.

### Решаемые задачи

- ✓ Измерение силы натяжения в момент отрыва кольца от жидкости
- ✓ Определение коэффициента поверхностного натяжения воды
- ✓ Выявления зависимости коэффициента поверхностного натяжения воды от температуры
- ✓ Выявления зависимости коэффициента поверхностного натяжения воды от концентрации ПАВ

### Техника безопасности

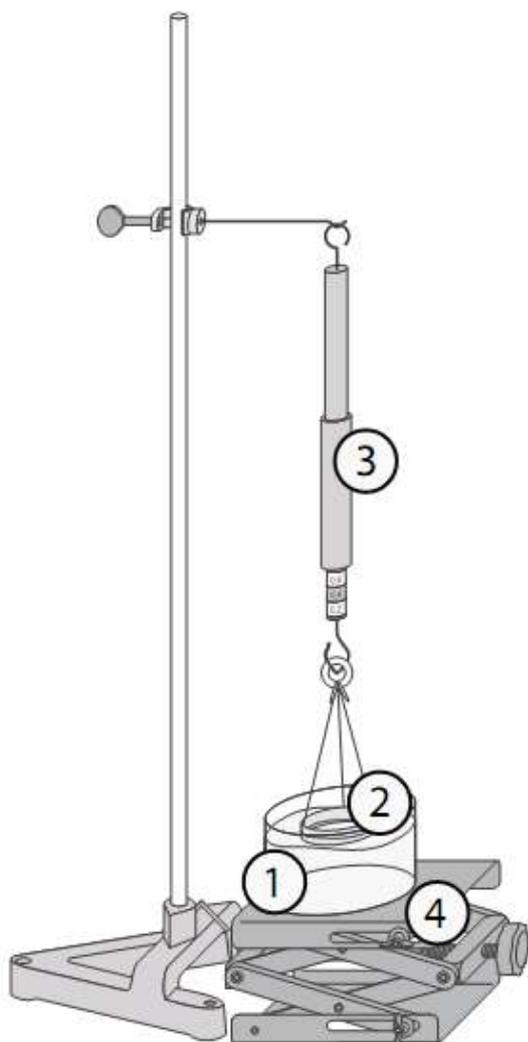
- ✓ Внимание в работе используется стекло.
- ✓ Будьте предельно внимательны при работе с горячей водой

Упражнение 1. Измерение поверхностного натяжения с помощью  
прецизионного динамометра

**Экспериментальная установка**

Приборы и принадлежности

- Стекло́нное блюдо́ (1)
- Ме́таллическое ко́льцо (2)
- Прецизио́нный динамоме́тр (3)
- Лабо́раторная сто́йка (4)

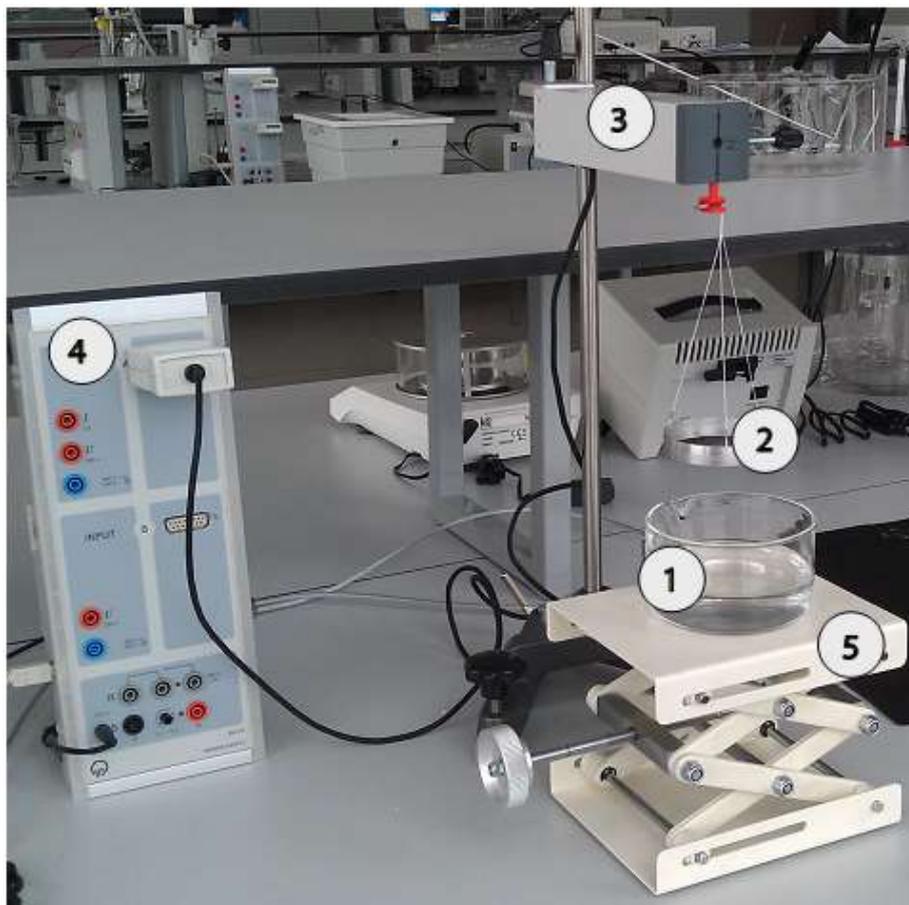


## Порядок выполнения работы

8. Измерить с помощью штангенциркуля диаметр металлического кольца.
9. Подвесьте металлическое кольцо на прецизионный динамометр.
10. Поставьте внизу блюдце с дистиллированной водой.
11. Выставьте показания на ноль, передвигая подвижную трубку.
12. Медленно поднимайте винтом стойку, чтобы кольцо погрузилось в воду в блюдце. Затем медленно опускайте винтом стойку, пока кольцо полностью не выйдет из воды.
13. Необходимо зафиксировать показание динамометра, когда кольцо отрывается от поверхности воды, по показаниям динамометра определите силу поверхностного натяжения.
14. Определите коэффициент поверхностного натяжения воды по формуле (4).
15. Налейте горячую ( $60-70^{\circ}\text{C}$ ) дистиллированную воду в блюдце, опустите в воду термометр. Проведите измерения коэффициента поверхностного натяжения, выполняя пункты 4-7 при различных температурах по мере остывания горячей воды каждые 5-10 градусов. Измерения провести для 5-6 температур.
16. Постройте график зависимости коэффициента поверхностного натяжения от температуры.
17. В остывшую воду добавьте одну каплю моющего средства (ПАВ). Проведите измерения коэффициента поверхностного натяжения, выполняя пункты 4-7. Меняя концентрацию моющего средства ( одну, две, три, четыре, пять и т.д. капель) измерьте коэффициент поверхностного натяжения.
18. Постройте график зависимости коэффициента поверхностного натяжения от относительной концентрации моющего средства, откладывая по оси абсцисс количество капель.
19. В выводах объясните физические причины температурной и концентрационной зависимостей коэффициента поверхностного натяжения.

20. Сравните измеренные коэффициенты поверхностного натяжения между собой и с табличными значениями. Объясните обнаруженные различия.

### Упражнение 2. Измерение поверхностного натяжения с помощью CASSY Lab



### **Экспериментальная установка**

#### Приборы и принадлежности

- Стеклоанное блюдо (1)
- Металлическое кольцо (2)
- Цифровой динамометр (3)
- Консоль (4)
- Лабораторная стойка (5)

### **Порядок выполнения работы**

1. Измерить с помощью штангенциркуля диаметр металлического кольца.

2. Подвесить металлическое кольцо на цифровой динамометр. Подставить снизу блюдце с дистиллированной водой.
3. Запустить CASSY Lab 2. Подключить измерения силы F.
4. Справа в окошке настроек зайти в Input  $A_1$  – Force  $FA_1$ . Обнулить показания динамометра (нажать на кнопки [->0<-])
5. Запустить эксперимент в CASSY Lab (F9).
6. Медленно поднять винтом стойку, чтобы кольцо погрузилось в воду. Потом медленно опускаете стойку до тех пор, пока кольцо полностью не оторвется от поверхности воды.
7. Остановите эксперимент в CASSY Lab (F9). Из полученного графика определите коэффициент поверхностного натяжения.
8. Нажмите правой кнопкой мыши по диаграмме, выберите пункт меню Other evaluation-Max- min, удерживая левую кнопку мыши, выделите график. Нажмите Alt-T и определите значения минимума и максимума на силы натяжения на диаграмме.
9. По формуле (4) определите коэффициент поверхностного натяжения воды. Проанализируйте зависимость силы натяжения от времени при погружении кольца в воду и при извлечении его.
10. Налейте горячую (60-70 °С) дистиллированную воду в блюдце, опустите в воду термометр. Проведите измерения коэффициента поверхностного натяжения, выполняя пункты 4-9 при различных температурах по мере остывания горячей воды через 5-10 градусов. Измерения провести для 5-6 температур.
11. Постройте график зависимости коэффициента поверхностного натяжения от температуры.
12. В остывшую воду добавьте одну каплю моющего средства (ПАВ). Проведите измерения коэффициента поверхностного натяжения, выполняя пункты 4-9. Меняя концентрацию моющего средства ( одну, две, три , четыре, пять и т.д. капель) измерьте коэффициент поверхностного натяжения.

13. Постройте график зависимости коэффициента поверхностного натяжения от относительной концентрации моющего средства, откладывая по оси абсцисс количество капель.
14. В выводах объясните физические причины температурной и концентрационной зависимостей коэффициента поверхностного натяжения.
15. Сравните измеренные коэффициенты поверхностного натяжения между собой и с табличными значениями.

## 252. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОБЪЕМНОГО РАСШИРЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ

### Введение

Если температура  $\vartheta$  жидкости объемом  $V_0$  изменяется на  $\Delta\vartheta$ , то объем будет (как в случае твердых тел) определяться:

$$\Delta V_0 = \gamma * V_0 * \Delta \theta \quad (1)$$

Коэффициент объемного расширения  $\gamma$  практически независим от температуры  $\vartheta$ , но зависит от типа жидкости.

Коэффициент объемного расширения может быть определен с помощью дилатометра. Дилатометр состоит из стеклянной колбы и капилляра известного радиуса  $r$ , прикрепленного сверху колбы. Уровень жидкости в измерительном капилляре измеряется в миллиметрах. Он увеличивается при объемном расширении жидкости, которое происходит при постоянном нагревании стеклянной колбы на водяной бане.

Изменение уровня жидкости  $h$  соответствует изменению объема:

$$\Delta V = \pi r^2 * \Delta h, \quad (2)$$

где  $r = (1.5 \pm 0.08)$  мм

Однако, нужно взять в расчет тепловое расширение самого дилатометра. Это расширение противодействует изменению уровня жидкости. Таким образом, изменение объема жидкости будет:

$$\Delta V_0 = \Delta V + \Delta V_D \quad (3)$$

где изменение объема  $\Delta V_D$ :

$$\Delta V_D = \gamma_D * V_0 * \Delta \theta, \quad \gamma_D = 0.84 * 10^{-4} \text{ K}^{-1} \quad (4)$$

Учитывая соотношения (1), (3) и (4), получаем, что коэффициент объемного расширения определяется выражением:

$$\gamma = (1/V_0) * (\Delta V / \Delta \theta) + \gamma_D \quad (5)$$

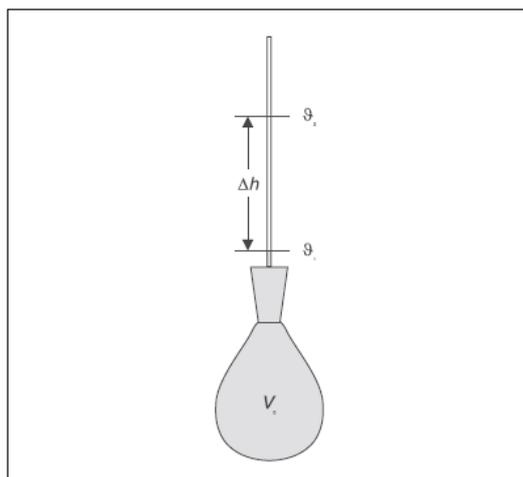


Рис.1. Принцип эксперимента

### **Цель работы**

Изучить явление объемного расширения жидкостей

### **Решаемые задачи**

- ✓ Определить объем  $V_0$  дилатометра.
- ✓ Измерить коэффициент объемного  $\gamma$  расширения воды и этанола (этилового спирта) в зависимости от температуры.
- ✓ Сравнить коэффициенты объемного расширения воды и этилового спирта.

### **Техника безопасности**

- ✓ Внимание: в работе используется стекло.
- ✓ Будьте предельно внимательны при работе с горячей водой.

Экспериментальная установка

### **Приборы и принадлежности**

- дилатометр
- термометр, -10 до 110  $^{\circ}\text{C}$ .
- датчик температуры, NiCr-Ni
- цифровой термометр с одним входом
- плитка, 150 мм., 1500 Вт

- стакан, 400 мл, термостойкое стекло
- подставки, V-образной формы
- штатив, 47 см(8)
- универсальный зажим, 0 ... 80 мм

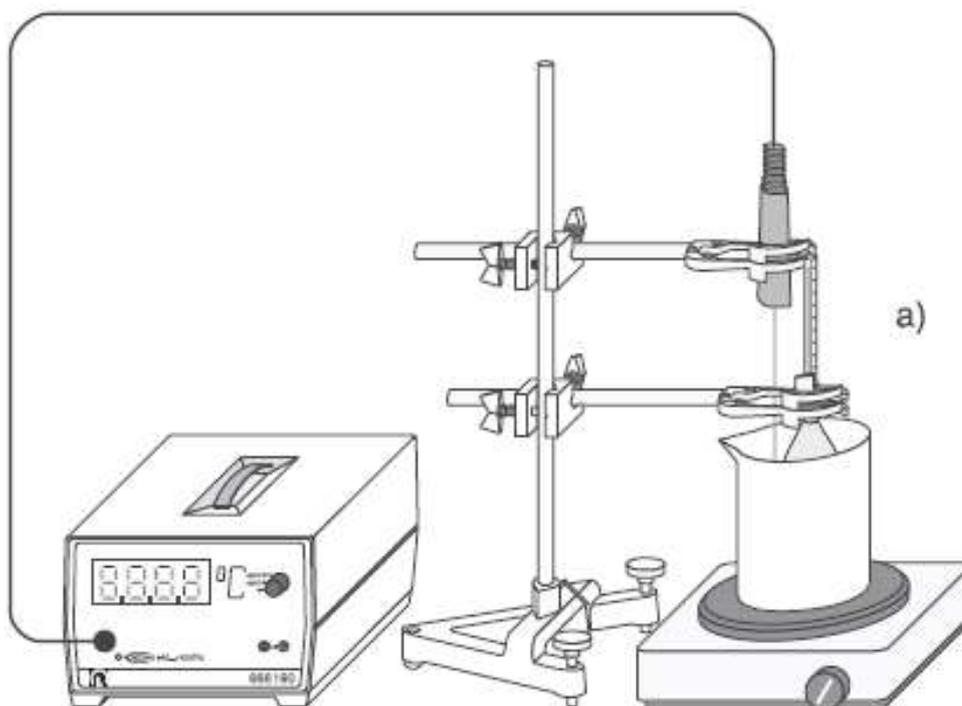


Рис. 2 Внешний вид установки

Примечание: Измерение уровня жидкости  $h$  может быть сильно искажено воздействием капиллярных сил. Держите капилляр чистым, и, если необходимо, протрите его и промойте дистиллированной водой перед использованием.

### Порядок выполнения работы

#### Упражнения №1. Определение объема дилатометра $V_0$

Объем дилатометра  $V_0$  можно определить, измерив массы  $m_1$  пустого, сухого дилатометра и  $m_2$  дилатометра, заполненного дистиллированной водой до нижней части измерительного капилляра. Плотность  $\rho$  воды при известной температуре  $\theta$  можно определить по таблице 1:

Таблица 1.

Зависимость плотности воды от температуры.

$\theta$	$\rho$ , гр/см <sup>3</sup>	$\theta$	$\rho$ , гр/см <sup>3</sup>
15 °С	0.999099	23 °С	0.997540
16 °С	0.988943	24 °С	0.997299
17 °С	0.998775	25 °С	0.997047
18 °С	0.998596	26 °С	0.996785
19 °С	0.998406	27 °С	0.996515
20 °С	0.998205	28 °С	0.996235
21 °С	0.997994	29 °С	0.995946
22 °С	0.997772	30 °С	0.995649

$$V_0 = (m_2 - m_1) / \rho$$

### Упражнение №2. Измерение объемного расширения воды

Примечание: После выключения нагревательной плитки, жидкость продолжает нагреваться некоторое время, поэтому вода из дилатометра может перелиться. Выключите плитку заранее.

1. Заполните колбу дистиллированной водой.
2. Опустите дилатометр в водяную баню так, чтобы измерительный капилляр остался наверху.
3. Включите нагревательную плитку на минимальное значение и нагревайте жидкость.
4. Определите уровень воды  $h$  в зависимости от температуры.
5. Постройте график зависимости изменения объема  $\Delta V$  от разницы температур  $\Delta\theta = \theta - \theta_0$  вычисленных по формуле (2), зная изменение  $\Delta h = h - h_0$ . Вычислите наклон прямой, проведенной через начало координат  $\Delta V /$

$\Delta\theta$ .

6. По формуле 5 вычислите коэффициент объемного расширения воды и сравните с табличным значением.

$$\gamma_{\text{вода}} = 4.9 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$$

В случае воды присутствует систематическое отклонение в измерениях от прямой, проходящей через начало координат, так как объемный коэффициент расширения воды увеличивается в диапазоне от 30°C до 60°C.

## 253. ИЗМЕРЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

### Введение

Длина  $S$  твердого тела линейно зависит от его температуры:

$$S=S_0(1+\alpha*\theta) \quad (1)$$

где  $S_0$  - длина при комнатной температуре,  $\theta$  - температура при  $0^\circ\text{C}$ ,  $\alpha$  - коэффициент линейного расширения тела. Коэффициент линейного расширения зависит от материала твердого тела. В данной работе циркуляционный термостат используется для нагрева воды, которая протекает сквозь различные образцы трубок. Измеритель с градуировкой шкалой 0,01 используется для измерения изменения длины  $\Delta S = S - S_0$  в зависимости от температуры  $\theta$ .

Для данной температуры разность между комнатной температурой  $\theta_1$  и температурой  $\theta_2$ , изменение длины  $\Delta S$  пропорционально общей длине  $S_1$  при комнатной температуре

$$\Delta S \sim S_1 \quad (2)$$

В частности мы можем сказать:

$$\alpha = \frac{\Delta S}{S_1} \cdot \frac{1}{(\theta_2 - \theta_1)} \quad (3)$$

### Цель работы

Измерить коэффициент линейного теплового расширения латунной, стальной и стеклянной трубок.

### Решаемые задачи

- ✓ пронаблюдать линейное расширение твердых тел.
- ✓ измерить коэффициенты линейного расширения стекла, стали и латунных трубок.

## Техника безопасности

- ✓ Внимание: в работе используется стекло.
- ✓
- ✓ Будьте предельно внимательны при работе с горячей водой.

## Экспериментальная установка

### Приборы и принадлежности

- Аппарат для демонстрации теплового расширения
- Держатель для стрелочного индикатора
- Измеритель
- Термостат
- Силиконовые трубки, диам.  $7 \times 1,5$  мм, 1 м.



## Порядок выполнения работы

1. Определите комнатную температуру и запишите ее.
2. Установите латунную трубку.
3. Вращая шкалу индикатора за кожух, установите его в нулевое положение.
4. Включите термостат. Установите на дисплее термостата температуру 30

градусов. Для этого, используя клавишу «вверх» выделите вторую строчку. Нажмите «Enter» для редактирования. Перемещайте курсор клавишами «вправо» и «влево» и изменяйте цифры с помощью клавиш «вверх» и «вниз». Установите нужное значение температуры. Зафиксируйте установленное значение клавишей «Enter». Далее выделите третью строчку со значком и включите термостат нажав клавишу «Enter».

5. Дождитесь повышения температуры.
6. Запишите максимальное отклонение стрелочного индикатора.
7. Повышайте температуру на дисплее термостата температуру на 5 градусов, записывайте отклонение стрелочного индикатора, при нагревании трубки. Максимальное значение температуры  $90^{\circ}\text{C}$ .
8. Дождитесь остывания латунной трубки до комнатной температуры.
9. Из парового генератора откачайте горячую воду, налейте холодную воду.
10. Замените латунную трубку стальной.
11. Проверьте нулевую позицию прибора с круговой шкалой.
12. Проведите измерения для стальной трубки, выполнив пункты 4-9.
13. Замените стальную трубку стеклянной, проведите измерения, выполнив пункты 4-9.
14. Вычислите коэффициенты линейного расширения латунной, стальной, стеклянной трубок. Сравните полученные результаты с табличными.

## 254. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

### Введение

Количество теплоты  $\Delta Q$ , которое поглощается или выделяется телом при нагреве или охлаждении пропорционально изменению температуры  $\Delta T$  и массе  $m$ :

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где коэффициент пропорциональности  $c$  называется удельной теплоемкостью и является величиной, зависящей от материала.

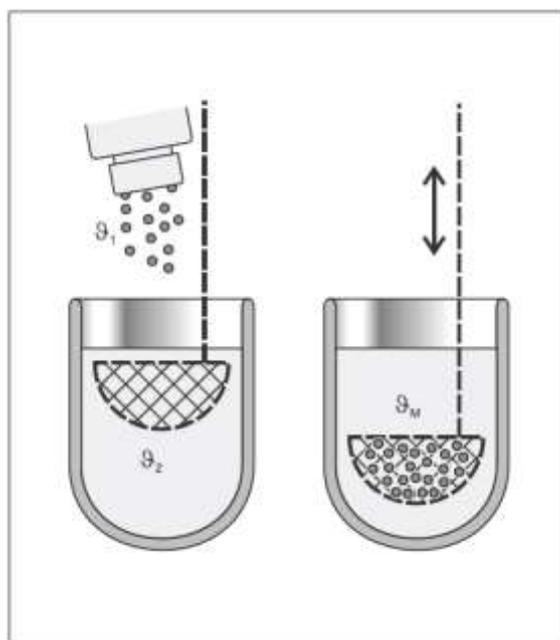


Рис.1. Принцип эксперимента

В этом эксперименте определяются теплоемкости различных веществ. В каждом случае дробь взвешивается, нагревается паром до температуры  $t_1$ , а затем погружается в некоторое количество воды, которое предварительно взвешивается и температура  $t_2$  которой определяется. Затем систему тщательно перемешивают. Благодаря тепловому обмену, температура окатышей и воды становится одинаковой и равной  $t_c$ . Количество теплоты  $\Delta Q_1$ , выделяемого дробью при этом процессе, определяется следующим соотношением

$$\Delta Q_1 = c_1 \cdot m_1 \cdot (t_1 - t_c), \quad (2)$$

где  $m_1$  - масса дроби,  $c_1$  - удельная теплоемкость дроби. Количество теплоты  $\Delta Q_2$ , поглощаемое водой:

$$\Delta Q_2 = c_2 \cdot m_2 \cdot (t_c - t_2), \quad (3)$$

где  $m_2$  - масса воды,  $c_2$  - удельная теплоемкость воды. Емкость калориметра также поглощает часть тепла, выделяемого дробью. Теплоемкость калориметра можно представить в следующем виде

$$C_K = c_2 \cdot m_K, \quad (4)$$

где  $m_K$  является водным эквивалентом массы емкости калориметра. Тогда количество теплоты, поглощаемое калориметром в этом процессе:

$$\Delta Q_K = c_2 \cdot m_K \cdot (t_c - t_2)$$

и из закона сохранения энергии следует, что

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2 + \Delta Q_K.$$

Удельная теплоемкость воды  $c_2$  и водный эквивалент массы калориметра  $m_K$  предполагаются известными. Температура  $t_1$  равна температуре водяного пара. После измерения величин  $t_2$ ,  $t_c$ ,  $m_1$  и  $m_2$  можно будет вычислить неизвестную величину  $c_1$  с помощью следующего соотношения

$$c_1 = c_2 \cdot \frac{(m_2 + m_K) \cdot (t_c - t_2)}{m_1 \cdot (t_1 - t_c)}. \quad (5)$$

## Цель работы

Изучение первого начала термодинамики и методов определения теплоемкости

## Решаемые задачи

- ✓ Определение температуры системы, которая устанавливается при соединении холодной воды с подогретой медной, свинцовой или стеклянной дробью.
- ✓ Определение удельной теплоемкости меди, свинца и стекла

## Техника безопасности

- ✓ Внимание: в работе используется стекло.
- ✓ Внимание: не включайте парогенератор при отсутствии воды.

## Экспериментальная установка

### Приборы и принадлежности

- Крышка для сосуда Дьюара (1)
- Сосуд Дьюара (2)
- Mobile-CASSY® (3)
- NiCr-Ni температурный сенсор 1,5 мм (4)
- Нагреватель (5)
- Свинцовая (медная, стеклянная) дробь
- Парогенератор (7)
- стакан, 400 мл, низкий (8)
- Силиконовая подводка, 7 мм Ø (9)
- Школьные и лабораторные весы (10)
- Теплозащитные рукавицы

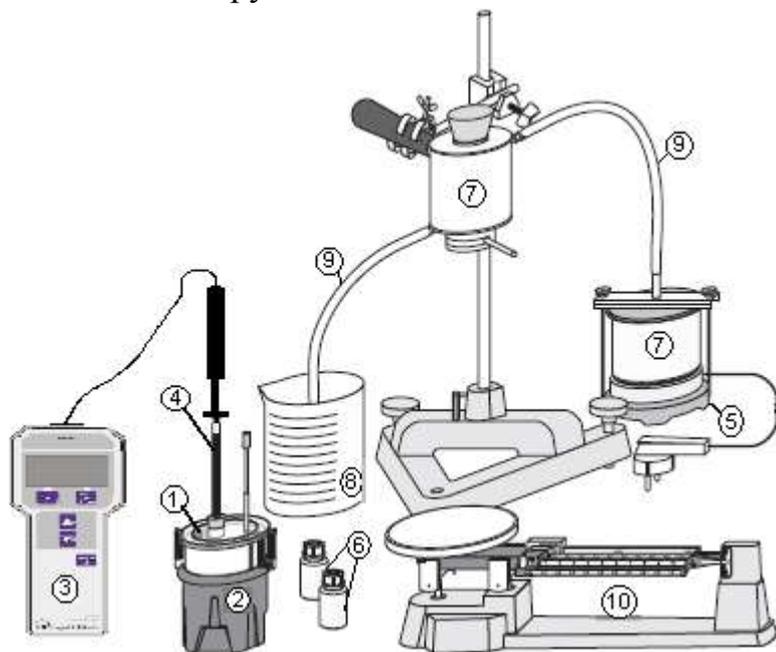


Рис.1 Внешний вид установки

## Порядок выполнения работы

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1.

1. Заполните водой парогенератор, осторожно закройте устройство, и подключите его с помощью силиконовой трубки к верхней части парогенератора (вход для пара).
2. Надежно соедините также силиконовую трубку с нижним шлангом нагревательного прибора (пара на выходе), и повесьте другой конец в стакан.
3. Открыв пробку, засыпьте свинцовую дробь в верхнюю часть парогенератора полностью, насколько возможно, и скрепите пробкой.
4. Подключите парогенератор к электрической сети, и нагревайте дробь в течение приблизительно 20-25 минут паром.
5. Измерьте массу пустого сосуда Дьюара и заполните его водой массы около 180 г. Определите  $m_1$ .
6. Закройте крышкой сосуд Дьюара и вставьте датчик температуры (NiCr-Ni температурный сенсор).
7. Измерьте температуру воды  $t_2$ .
8. Откройте крышку сосуда Дьюара и положите ее в сторону, вставьте сетку для образцов в сосуд Дьюара.
9. Засыпьте дробь, температура которой  $t_1=100^\circ\text{C}$  в сетку для образцов, закройте крышку и тщательно перемешайте воду с дробью.
10. Определите температуру системы  $t_c$  дождавшись момента, когда температура воды перестает расти.
11. Измерьте массу  $m_2$  дроби.
12. Повторите эксперимент с медной и стеклянной дробью.
13. Основные результаты

1. Представьте экспериментальные данные в виде таблицы:

масса воды  $m_1 = \dots$  кг, температура дроби  $t_1 = 100^\circ\text{C}$ .

материал	$m_2, \text{кг}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_c, ^\circ\text{C}$
свинец			
медь			
стекло			

2. Вычислите по формуле (5) удельные теплоемкости твердых тел и сравните полученные значения с табличными. Используйте при этом следующие данные водный эквивалент массы калориметра:  $m_k = 30$  г.

удельная теплоемкость воды:  $c_2 = 4.19$  кДж/(К·кг)

материал	$c, \text{кДж}/(\text{К}\cdot\text{кг})$	
	из эксперимента	табличное значение
свинец		0.1295
медь		0.385
стекло		0.746

## Выводы

Проанализируйте полученные результаты и сделайте вывод.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К РАБОТАМ

### №221 «Исследование теплопроводности»

- 1) Явления переноса (диффузия, теплопроводность, вязкость).
- 2) Какие связи называются ковалентными и ионными?
- 3) Период кристаллической решетки и его зависимость от температуры.
- 4) Сколько степеней свободы приходится на одну колебательную связь?
- 5) Линейный и объемные коэффициенты расширения твердых тел. Связь между ними.

### №222 «Определение вязкости жидкости с помощью шарикового вискозиметра»

- 1) Явления переноса (диффузия, теплопроводность, вязкость)
- 2) Какие течения жидкости называют ламинарными и турбулентными?  
Число Рейнольдса.
- 3) Какая физическая природа вязкости жидкости и газов? Как изменяется вязкость газа и жидкости при повышении температуры?
- 4) Вывод формулы зависимости скорости ламинарного течения в трубе от расстояния до центра трубы. (Закон Пуазейля).
- 5) Движение шарика в жидкости. Закон Стокса.
- 6) Как следует изменить массу и размер шарика для того, чтобы проводить измерения для более (менее) вязких жидкостей (газов)?

### №223 "Исследование зависимости вязкости жидкости от температуры и концентрации на шариковом вискозиметре"

- 1) Явления переноса (диффузия, теплопроводность, вязкость)
- 2) Какие течения жидкости называют ламинарными и турбулентными?  
Число Рейнольдса.
- 3) Какая физическая природа вязкости жидкости и газов? Как изменяется вязкость газа и жидкости при повышении температуры?
- 4) Вывод формулы зависимости скорости ламинарного течения в трубе от расстояния до центра трубы. (Закон Пуазейля).

- 5) Движение шарика в жидкости.
- 6) Как следует изменить массу и размер шарика для того, чтобы проводить измерения для более (менее) вязких жидкостей (газов)?

### **№250 «Определение плотности растворов»**

- 1) Устройство и принцип работы ареометра.
- 2) Почему верхняя часть ареометра узкая и имеет постоянное сечение, а нижняя широкая и может иметь ряд утолщений и сужений?
- 3) Как зависит глубина погружения цилиндрического ареометра от плотности жидкости? Какие ограничения накладывает эта зависимость на изготовление ареометров?
- 4) Что такое раствор и насыщенный раствор? Механизм растворения. Чем определяется степень насыщения растворов?
- 5) Единицы концентрации растворов и их соотношение.
- 6) Ареометр отградуирован при комнатной температуре. Каковы погрешности при использовании его при повышенных температурах?

### **№251 «Измерение поверхностного натяжения методом отрыва»**

- 1) Что такое сила поверхностного натяжения?
- 2) Как определяется коэффициент поверхностного натяжения при динамическом и энергетическом рассмотрении этого явления?
- 3) Как зависит коэффициент поверхностного натяжения от температуры и наличия примесей.
- 4) Явление смачивания. Что такое краевой угол?
- 5) Условия динамического равновесия капли жидкости на поверхности твердого тела, на поверхности другой жидкости.
- 6) Капиллярные явления. Давление под изогнутой поверхностью. Формула Лапласа.

**№252 «Определение коэффициента объемного расширения жидкостей»**

- 1) Свойства жидкостей.
- 2) Объемные коэффициенты расширения жидкости.

**№253 «Исследование зависимости линейного расширения твердых тел от температуры»**

- 1) Какие связи называются ковалентными и ионными?
- 2) Период кристаллической решетки и его зависимость от температуры.
- 3) Сколько степеней свободы приходится на одну колебательную связь?
- 4) Линейный и объемные коэффициенты расширения твердых тел. Связь между ними.

**№254 «Определение удельной теплоемкости твердых тел»**

- 1) Строение твердых тел
- 2) Понятие удельной теплоемкости для твердых тел.
- 3) Законы Эйнштейна, Дебая, Дюлонга – Пти.

*Учебное издание*

**Еремина Рушана Михайловна, Скворцов Андрей Иванович,  
Мутыгуллина Айгуль Ахмадулловна, Салихова Олеся Борисовна,  
Блохин Дмитрий Сергеевич**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ОБЩЕГО ФИЗИЧЕСКОГО  
ПРАКТИКУМА ПО МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ И  
ТЕРМОДИНАМИКЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА.  
ТВЕРДЫЕ ТЕЛА И ЖИДКОСТИ.**

Дизайн обложки

Подписано в печать.

Бумага офсетная. Печать цифровая.

Формат 60x84 1/16. Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. .

Тираж      экз. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета  
в типографии Издательства Казанского университета

420008, г. Казань, ул. Профессора Нужи́на, 1/37  
тел. (843) 233-73-59, 233-73-28