

16. Измерить удельную теплоту растворения гипосульфита.

При растворении гипосульфита температура раствора сильно понижается. Измерьте удельную теплоту растворения данного вещества.

Под удельной теплотой растворения понимают количество теплоты, необходимое для растворения единицы массы вещества.

Оборудование: 1) калориметр; 2) мензурка или мерный стакан; 3) термометр; 4) гипосульфит кристаллический; 5) теплая вода.

Выполнение работы.

Пренебрегая теплоемкостями калориметра и гипосульфита, уравнение теплового баланса при растворении можно записать в виде

$$cm(t_0 - t_1) = \lambda m_0, \quad (1)$$

где c - удельная теплоемкость воды, m -ее масса, m_0 -масса гипосульфита, λ - искомая удельная теплота растворения, t_0 -температура воды в калориметре до растворения, t_1 -температура раствора после полного растворения. Из уравнения (1) следует расчетная формула

$$\lambda = \frac{cm(t_0 - t_1)}{m_0},$$

из которой видно какие величины необходимо измерить.

Наливаем в калориметр отмеренное мензуркой определенное количество теплой воды. После установления теплового равновесия измеряем установившуюся температуру t_0 , после чего, засыпаем гипосульфит и размешиваем до полного растворения. После чего измеряем температуру раствора t_1 .

Данные измерений.

$$\begin{aligned} m &= (150 \pm 2) \text{г}; & m_0 &= (30,0 \pm 0,5) \text{г}; \\ t_0 &= (54,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}; & t_1 &= (43,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}; \end{aligned}$$

Вычисления приводят к результату

$$\boxed{\lambda = (2,3 \pm 0,3) \cdot 10^5 \text{ Дж / кг}}$$

с относительной погрешностью $\varepsilon = 13\%$.

Дополнение. Теплоемкостями калориметра и гипосульфита действительно можно пренебречь, так как их величина на порядок меньше теплоемкости воды. Кроме того, в уравнение теплового баланса они входят с противоположными знаками. Нами проведены оценки - так количество теплоты, отданное калориметром, приблизительно равно 540 Дж, а количество теплоты, полученное кристаллическим гипосульфитом, приблизительно равно 480 Дж. Таким образом, пренебрежение этими количествами теплоты вносит погрешность менее 1%.

17. Оцените температуру пламени горящего спирта.

Оборудование. Железная гайка массой 10 грамм, калориметр, термометр лабораторный ($C = 1^{\circ}\text{C}/\text{дел}$), сухое горючее, подставка для сжигания спирта, штатив с лапкой или кольцом, медная проволока ($l = 0,5 \text{ м}$, $d = 1 \text{ мм}$), спички, теплая вода, таблица удельных теплоемкостей веществ.

Выполнение работы.

Для определения температуры пламени в данной работе используется калориметрический метод.

Железная гайка, подвешенная на медной проволоке, нагревается в пламени горящего спирта, после чего быстро опускается в калориметр с водой, температура которой известна. Нагревать следует 4 - 5 минут, при этом гайка должна полностью находиться в пламени спиртовки.

Из уравнения теплового баланса следует:

$$t_2 = \frac{cm_1(\theta - t_k) + C_k(\theta - t_k) + c_2m_2\theta}{c_2m_2}$$

где t_2 - температура горячей гайки, равная температуре пламени, c - удельная теплоемкость воды, m_1 - масса воды в калориметре, c_2 - удельная теплоемкость железа, m_2 - масса гайки, C_k - теплоемкость калориметра t_k - температура воды и калориметра перед опусканием в неё гайки, θ - конечная температура воды, калориметра и тела.

Таким образом для определения температуры нагретого тела необходимо знать теплоемкость калориметра - C_k . Её определяем на первом этапе эксперимента.

Поскольку калориметр достаточно долго находился в комнате, то его температура равна температуре воздуха в помещении (как и температура термометра). Наливаем в калориметр теплую воду известной температуры и измеряем температуру воды в калориметре, после чего, с помощью мензурки, определяем массу воды, налитой в калориметр. Из уравнения теплового баланса для данного случая определяем теплоемкость калориметра.

$$C_k = \frac{cm_1(t_1 - \theta_1)}{\theta_1 - t_k};$$

Здесь C_k - теплоемкость калориметра, m_1 - масса воды в калориметре, t_1 - начальная температура воды, θ_1 - температура, установившаяся в калориметре после заливания в него воды, t_k - начальная температура калориметра.

По результатам наших измерений получается:

$$1. m_1 = (93 \pm 1) \text{ г}; t_1 = (98,0 \pm 0,5)^{\circ}\text{C}; \theta_1 = (79,0 \pm 0,5)^{\circ}\text{C};$$

$$t_k = (17,0 \pm 0,5)^{\circ}\text{C};$$

$$C_k = (120 \pm 17) \text{ Дж/K}; \varepsilon = 14\%.$$

$$2. m = (10,00 \pm 0,02) \text{ г}; t_k = (48,0 \pm 0,5)^{\circ}\text{C};$$

$$\theta = (56,0 \pm 0,5)^{\circ}\text{C}.$$

Подстановка численных данных эксперимента дает значение температуры пламени:

$$t_2 = (950 \pm 130) {}^{\circ}\text{C}; \quad \varepsilon = 13,8 \%$$

Довольно большая погрешность и отличие от приведенных в справочнике значений температуры пламени ($t = 1000 {}^{\circ}\text{C}$) связана с тем, что размеры гайки достаточно велики и оказываются в участках пламени с разной температурой. Но брать тело с меньшей массой не следует, так как при этом уменьшается изменение температуры воды при охлаждении гайки, что ведет к увеличению погрешности измерений.



18. Движение границы раздела двух жидкостей.

Задание 1. Если трубку заполнить водой и опустить ее вертикально в раствор йода, то вверх по трубке начнет подниматься окрашенная граница йода. Исследуйте подъем границы. Определите закон ее движения.

Задание 2. Заполните трубку чистой водой, установите ее вертикально, открытым концом вверх. Аккуратно капните небольшое количество (каплю) чернильного раствора в трубу. Исследуйте опускание границы в этом случае. Определите закон ее движения.

Оборудование. Штатив с лапкой, стеклянная трубка, линейка, часы, раствор йода, чернильный раствор.

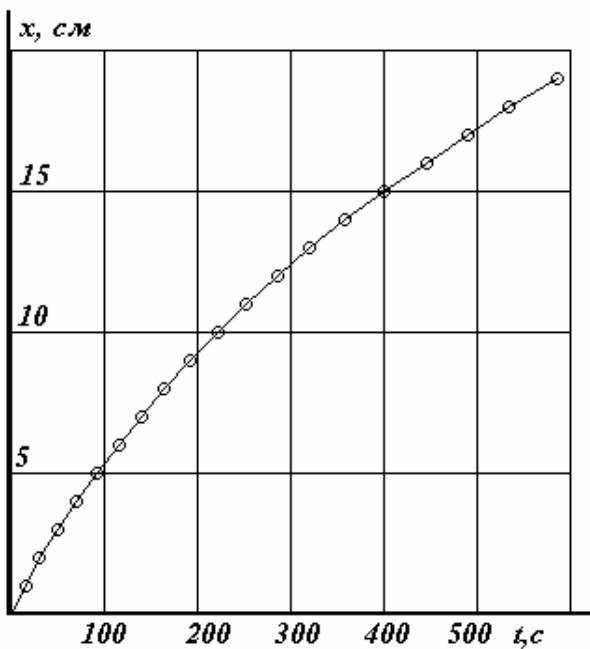
Выполнение работы.

Измеряем время опускания и подъема границы раздела жидкостей.. Результаты измерений приведены в таблицах 1 и 2

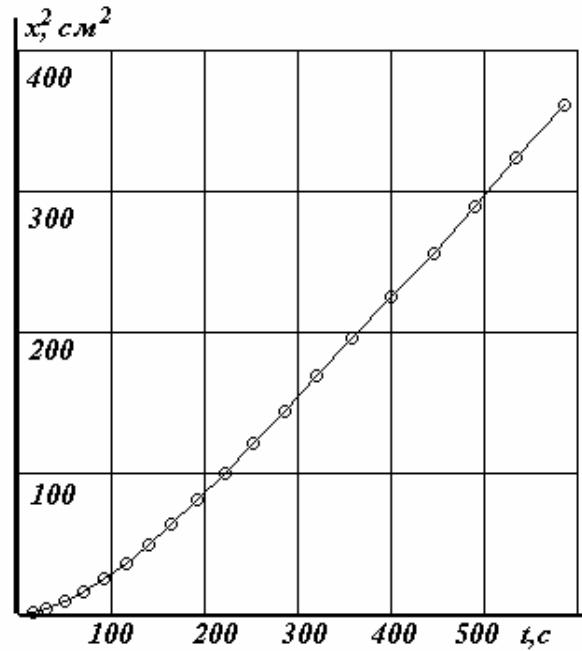
Таблица 1. Чернильный раствор.

$X, \text{мм}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$T, \text{с}$	0	16	30	49	69	91	139	139	164	192
$X, \text{мм}$	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
$T, \text{с}$	222	252	285	320	357	400	446	490	534	586

График полученного закона движения представлен на рисунке 1.



Rис.1



Rис.2

Полученная зависимость нелинейна. Как известно, при диффузии средний квадрат смещения частиц пропорционален времени. Поэтому имеет смысл построить график зависимости $x^2(t)$ (рис.2)

Однако и эта зависимость нелинейна. Следовательно, данное движение не является диффузным - смещение границы окрашенной области объясняется небольшим различием плотностей чистой воды и чернильного раствора.

Таблица 2. Раствор йода.

$t, \text{мин}$	1	2	3	4	5	6	7	8
$x, \text{мм}$	3	12	21	27	35	42	48	52
$t, \text{мин}$	9	10	11	12	13	14	15	16
$x, \text{мм}$	60	63	70	78	82	88	95	100

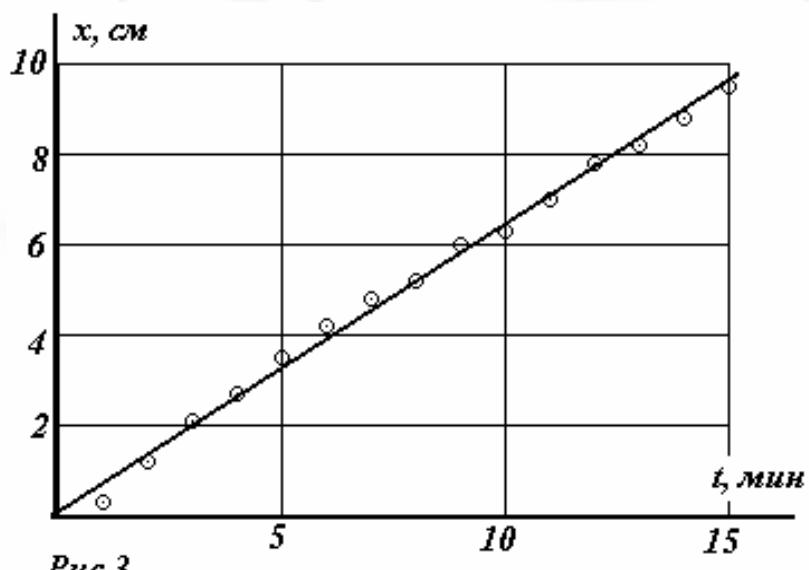


Рис.3

Из графика видно (рис. 3), что подъем раствора йода по трубке также не является диффузным процессом - в этом случае график зависимости $x(t)$ близок к прямой, то есть движение почти равномерное со средней скоростью порядка $0,6 \text{ см/с.}$

19. Измерение атмосферного давления.

Оборудование: Стеклянная трубка с пробкой, резиновый шланг, воронка стеклянная, линейка ученическая, метр демонстрационный, штатив лабораторный, вода.

Задание. Предложите способ измерения атмосферного давления с помощью данных приборов.

Выполнение работы.

Для определения атмосферного давления можно осуществить изотермическое расширение воздуха, заключенного в стеклянной трубке между поверхностью воды и резиновой пробкой.

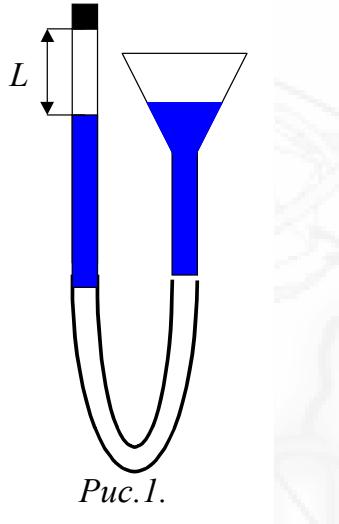


Рис.1.

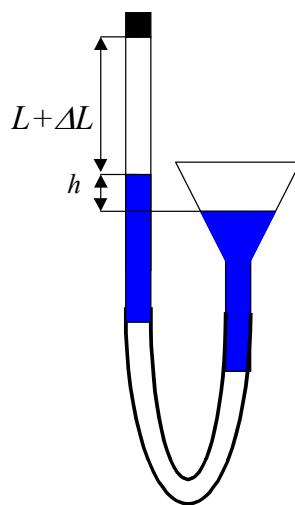


Рис.2.

Соединим стеклянную трубку и воронку резиновой трубкой, укрепим её в штативе (рис 1). Установив перемещением воронки, уровень воды в стеклянной трубке на расстоянии L от её верхнего конца, закроем трубку пробкой. Воздух, заключенный в трубке занимает объем V при атмосферном давлении P .

При опускании воронки давление воздуха в трубке уменьшится на величину $\Delta P = \rho gh$, где h - разность уровней воды в трубке и воронке, ρ - плотность воды, g - ускорение свободного падения

(рис.2). Воздух, находящийся под пробкой, занимает новый объем $V + \Delta V$. Процесс расширения воздуха под пробкой можно считать изотермическим. Для изотермического процесса можно записать уравнение: $PV = (P - \Delta P)(V + \Delta V)$. Из этого уравнения атмосферное давление P равно:

$$P = \frac{\Delta P(V + \Delta V)}{\Delta V}$$

Так как $\Delta P = \rho gh$, $V = SL$ и $\Delta V = S$, где S - площадь поперечного сечения стеклянной трубки, L - первоначальная длина столба воздуха, ΔL - изменение длины столбика воздуха, то $P = \rho gh(L + \Delta L)/\Delta L$.

Следовательно, для измерения атмосферного давления необходимо измерить первоначальную длину L столба воздуха в трубке при одинаковой высоте уровней воды в трубке и воронке, длину $L + \Delta L$ столба воздуха в трубке после опускания воронки и разность h высот уровней воды в трубке и воронке во втором опыте.

20. Измерение вязкости жидкости.

Задание. При движении тела в вязкой среде на него действует сила сопротивления, которая зависит от формы и размеров тела, свойств среды и скорости движения. Так сила сопротивления, действующая на шарик движущийся в вязкой жидкости с небольшой скоростью, определяется формулой Стокса

$$F = 6\pi r \eta v,$$

где r - радиус шарика, v - его скорость, η - вязкость жидкости (коэффициент, который определяется свойствами жидкости).

Вам необходимо исследовать движение пластилиновых шариков (сделанных самостоятельно) в киселе.

Задание 1. Покажите (теоретически), что падение шарика в вязкой среде после небольшого участка разгона становится равномерным. Найдите скорость этого установившегося движения. Покажите, что, измерив скорость установившегося движения, можно определить коэффициент вязкости жидкости.

Задание 2. Измерьте плотность вещества (пластилина), из которого изготовлены тела, падающие в жидкости.

Задание 3. Измерьте плотность жидкости.

Задание 4. Исследуйте зависимость скорости установившегося движения шарика в жидкости от его радиуса. Определите вязкость предложенной Вами жидкости.

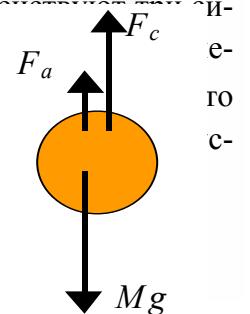
Оборудование. Трубка стеклянная (длина - 60 см) или мензурка (350 см³), исследуемая жидкость, весы с разновесом, нить, стакан с водой, пластилин, линейка, секундомер, штангенциркуль или микрометр, резинка аптечная (2 шт.), бумага миллиметровая.

Плотность воды принять равной $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Выполнение работы

При падении тела в вязкой среде (жидкости или газе) на него действуют силы: сила тяжести $m\bar{g}$, выталкивающая сила Архимеда $F_A = \rho g V$ и сила сопротивления Стокса $F = 6\pi r \eta v$. Так как сила сопротивления возрастает с радиусом при некотором значении последней движение становится равномерным. Установившегося движения можно определить из условия равновесия сил

$$mg - F_a - F_c = 0 \quad (1)$$



Для шарика радиуса R , падающего в жидкости уравнение (1) примет вид:

$$\frac{4}{3}\pi R^3 \rho_m g - \frac{4}{3}\pi R^3 \rho g - 6\pi \eta R v = 0, \quad (2)$$

где ρ_m – плотность вещества тела, ρ - плотность жидкости, в которой падает тело.

Из этого уравнения находим скорость установившегося движения

Рис. 1.

$$v = \frac{2R^2(\rho_w - \rho)g}{9\eta} \quad (3).$$

Из этого же уравнения можно определить и вязкость жидкости

$$\eta = \frac{2}{9} g R^2 \frac{\rho_w - \rho}{v} \quad (4),$$

где v – скорость падения шарика в жидкости равная h/t (h – высота падения, t – время падения). Окончательно получим:

$$\eta = \frac{2}{9} g R^2 \frac{\rho_w - \rho}{h} t \quad (5).$$

Следовательно, для определения вязкости достаточно измерить плотности тела и жидкости, высоту и время падения.

В качестве исследуемой жидкости в работе предлагается не очень густой кисель (как в столовой). Шарики изготавливались из пластилина.

2. Взвешивая весь кусок пластилина в воздухе и в воде, получим плотность пластилина.

$$\rho_m = \frac{P_1}{P_1 - P_3} \rho_w \quad (6),$$

где P_1 – вес тела в воздухе, P_3 – вес тела в воде, $\rho_w = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды.

По результатам измерений нами получено: $P_1 = (8,05 \pm 0,01)$ г, $P_3 = (1,15 \pm 0,01)$ г. Тогда плотность пластилина $\rho_m = (1,165 \pm 0,005)$ г/см³.

3. Взвешивая тот же кусок пластилина в киселе, получим:

$$\rho = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \rho_m = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_3} \rho_w \quad (7),$$

где ρ – плотность киселя, ρ_m – плотность тела, P_2 – вес тела в киселе.

По нашим измерениям $P_2 = (1,00 \pm 0,01)$ г, тогда плотность киселя $\rho = (1,022 \pm 0,006)$ г/см³

4. Для определения вязкости жидкости необходимо знать разность плотностей жидкости и пластилина. Используя гидростатическое взвешивание (пункты 2 и 3 задания), можно получить:

$$\rho_m - \rho = \frac{P_2}{P_1} \rho_m = \frac{P_2}{P_1 - P_3} \rho_w, \quad (8)$$

P_2 – вес тела в жидкости, P_1 – вес тела в воздухе, ρ_m – плотность пластилина, ρ_w – плотность воды.

Тогда уравнение (4) принимает вид:

$$\eta = \frac{2}{9} g R^2 \frac{P_2}{P_1 - P_3} \rho_w \frac{t}{h} \quad (9).$$

Поскольку проводить измерения диаметра шарика достаточно сложно (шарики деформируются при сдавливании губками штангенциркуля) и движение шарика в жидкости подвержено случайным влияниям (начинается вращение, трение о стенки) количество опытов должно быть достаточно велико (В наших измерениях – 27). По полученным данным можно построить график зависимости $t = t\left(\frac{I}{R^2}\right)$.

Полученные нами результаты приведены в таблице и на графике. (Высота падения шарика в жидкости h составляла 50 см)

№	R , мм	R^2 мм ²	$R^{-2} \cdot 10^5$, м ⁻²	t , с
1	2,02	4,08	2,45	18,04
2	1,65	2,72	3,67	27,15
3	2,7	7,3	1,37	10,5
4	2,2	4,84	2,0	12,35
5	1,85	3,4	2,9	20,3
6	1,46	2,13	4,7	32
7	2,6	6,67	1,48	11,8
8	2,45	6	1,67	13,23
9	1,75	3,1	3,2	22,37
10	3,3	11	0,9	8,9
11	2,3	5,5	1,8	12,8
12	1,35	1,83	5,46	39
13	4,15	17	0,58	5,66
14	2,45	6	1,67	12,06
15	4,5	20	0,5	5,0
16	4,4	19,36	0,51	6,0
17	3,05	9,3	1,1	7,9
18	2,85	8,1	1,24	9
19	3,4	11,56	0,86	7,8
20	2,2	4,84	2,1	14,5
21	2,2	4,84	2,1	15,1
22	1,85	3,42	2,9	18,5
23	1,75	3,1	3,2	28
24	5	25	0,4	4,5
25	6,25	39	0,25	4,13
26	3,7	14	0,71	6,6
27	2,75	7,56	1,3	10,7

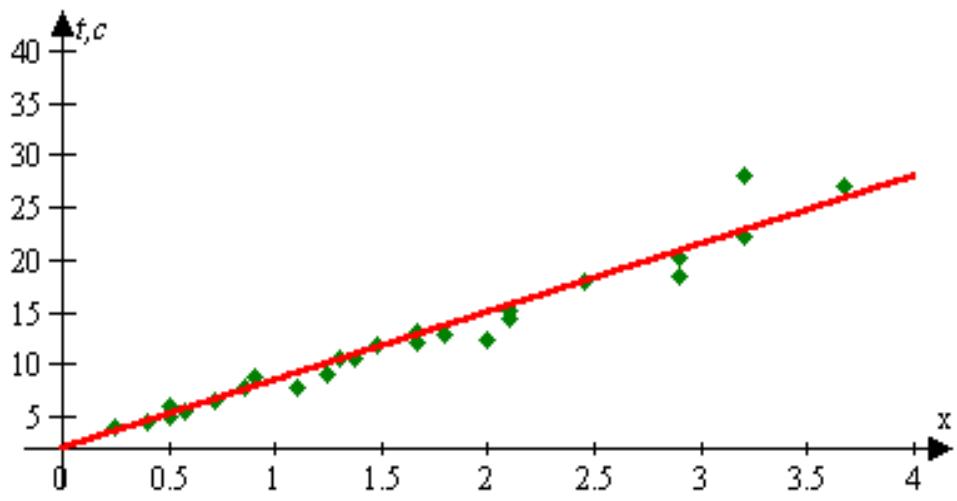


График 1

Полученные результаты позволяют говорить о прямо пропорциональной зависимости $t \sim 1 / R^2$. Некоторый разброс результатов связан с недостаточной шарообразностью шариков и неточностью измерения их диаметра.

Обработка результатов при помощи метода наименьших квадратов дает значение вязкости $\eta = (4,75 \pm 0,43) \cdot 10^{-2}$ Па с. $\varepsilon = 9\%$.

21. Остыивание воды

Задание. Исследовать процесс остывания воды в стакане в двух случаях: а) стакан открыт; б) стакан закрыт листом бумаги.

Оборудование. Стакан с горячей водой, термометр, часы, бумага миллиметровая для построения графиков.

Содержание работы.

Остыивание воды описывается формулой $\Delta T = \Delta T_0 e^{-\gamma t}$ где ΔT - разность температур воды и воздуха в комнате, ΔT_0 - начальная разность температур в момент времени $t = 0$, t - промежуток времени, прошедший от начала наблюдения.

Для решения задачи необходимо измерить зависимость температуры воды T от времени t . Далее, перепишем приведенную формулу в виде:

$$T - T_k = (T_0 - T_k) e^{-\gamma t} \quad (1)$$

Прологарифмируем выражение (1) и получим:

$$\ln \frac{T - T_k}{T_0 - T_k} = -\gamma t \quad (2)$$

Построив график данной функции можно получить значение коэффициента γ .

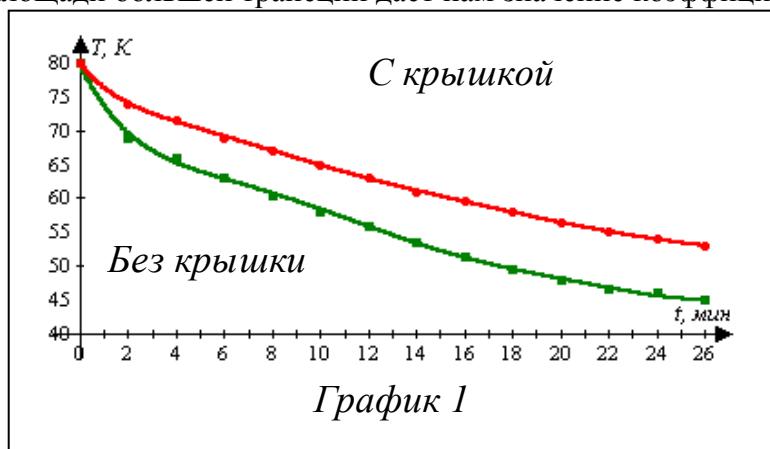
Выполнение работы.

Охлаждаем одну и ту же массу воды в стакане. Первый раз стакан накрыт листом бумаги, второй раз - стакан открыт. Начальная температура воды в обоих случаях одинакова (в наших измерениях 80^0C). Данные опыта приведены в таблице 1. (Температура воздуха в помещении 17^0C).

Таблица 1

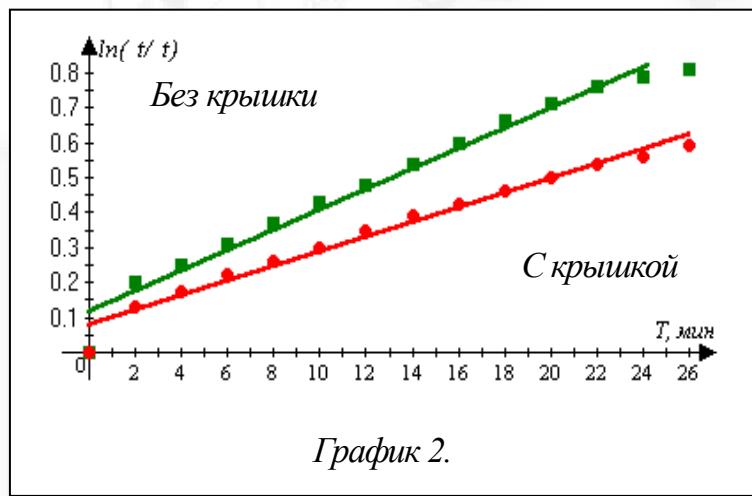
t (мин)	0	2	4	6	8	10	12
$t^0\text{C}$ (с крышкой)	80	74	71,5	69	67	65	63
$\ln(\Delta t/\Delta t_0)$	0	0,1313	0,176	0,223	0,26	0,30	0,346
$t^0\text{C}$ (без крышки)	80	69	66	63	60,5	58	56
$\ln(\Delta t/\Delta t_0)$	0	0,2	0,25	0,31	0,37	0,43	0,48
t (мин)	14	16	18	20	22	24	26
$t^0\text{C}$ (с крышкой)	61	59,5	58	56,5	55	54	53
$\ln(\Delta t/\Delta t_0)$	0,39	0,425	0,46	0,50	0,54	0,56	0,59
$t^0\text{C}$ (без крышки)	53,5	51,5	49,5	48	46,5	46	45
$\ln(\Delta t/\Delta t_0)$	0,54	0,6	0,66	0,71	0,76	0,79	0,81

Площадь под графиком представляет собой количество теплоты, отданное охлаждающей водой (в условных единицах). Следовательно, отношение разности площадей к площади большей трапеции даст нам значение коэффициента γ .



Более наглядным будет график зависимости $\ln \frac{\Delta T}{\Delta T_0} = f(t)$. График этой зависимости представлен на рисунке 2.

Как видно из графика, функция действительно линейна, что позволяет определить коэффициент γ как тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс.



Линейность функции позволяет легко обработать результаты с помощью метода наименьших квадратов. Это тем более правильно что, все измерения проводились независимо друг от друга и подчиняются нормальному распределению.

Обрабатывая результаты с помощью метода наименьших квадратов, получаем значение коэффициента γ

$$\gamma_1 = (0,022 \pm 0,003) \text{ мин}^{-1} \quad \varepsilon_1 = 13\%$$

$$\gamma_2 = (0,029 \pm 0,006) \text{ мин}^{-1} \quad \varepsilon_2 = 21\%$$

Большие погрешности, появившиеся во втором случае, вызваны тем, что в помещении постоянно возникают сквозняки, которые влияют на ход испарения жидкости.

Доля энергии, потерянной на испарение определится как отношение:

$$\frac{\Delta \gamma}{\gamma} = 0,24$$

Таким образом:

$$\text{для остывания воды с крышкой } T = 80e^{-0,022t};$$

$$\text{для остывания воды без крышки } T = 80e^{-0,029t}$$

22. Исследование поверхностного натяжения растворов.

Задание 1. Исследуйте зависимость коэффициента поверхностного натяжения раствора спирта в воде от его концентрации.

Задание 2. Получите эмпирическую формулу этой зависимости.

Плотность спирта $\rho_c = 0,90 \text{ г/см}^3$, плотность воды $\rho = 1,00 \text{ г/см}^3$, коэффициент поверхностного натяжения воды $\sigma = 70 \text{ мН/м}$.

Оборудование. Стеклянные трубы, пробирки, пипетка, линейка, вода, спирт.

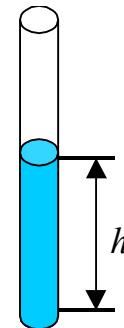
Примечание. Смачивание раствора считать полным.

Выполнение работы.

Для измерения поверхностного натяжения будем использовать стеклянную трубку. Погружая ее в исследуемый раствор, а затем, вынимая, по высоте столбика жидкости, оставшейся в трубке, можно определить коэффициент поверхностного натяжения жидкости σ .

Действительно, условие равновесия жидкости в трубке имеет вид

$$\frac{4\sigma}{r} = \rho gh,$$



где ρ - плотность жидкости, σ - поверхностное натяжение жидкости, r – радиус капиллярной трубы.

Из этого уравнения следует

$$\sigma = \frac{gr}{4} \rho h \quad (1)$$

Обозначим ρ_0 , σ_0 – плотности и коэффициент поверхностного натяжения чистой воды, h_0 – высоту уровня чистой воды в капиллярной трубке. Тогда коэффициент поверхностного натяжения раствора следует рассчитывать по формуле

$$\sigma = \sigma_0 \frac{\rho h}{\rho_0 h_0}. \quad (2)$$

В ходе измерений следует учесть, что плотность раствора зависит от концентрации. Приготовить раствор известной концентрации можно следующим образом. С помощью пипетки (или капиллярной трубы) отмеряем одинаковые объемы (капли) жидкостей. Если раствор приготовлен из n_0 капель чистой воды и n_1 капель спирта, то объемная концентрация спирта в растворе определяется формулой

$$c = \frac{n_1}{n_0 + n_1}, \quad (3)$$

а плотность раствора можно рассчитать по формуле

$$\rho = \frac{\rho_0 n_0 + \rho_1 n_1}{n_0 + n_1}. \quad (4)$$

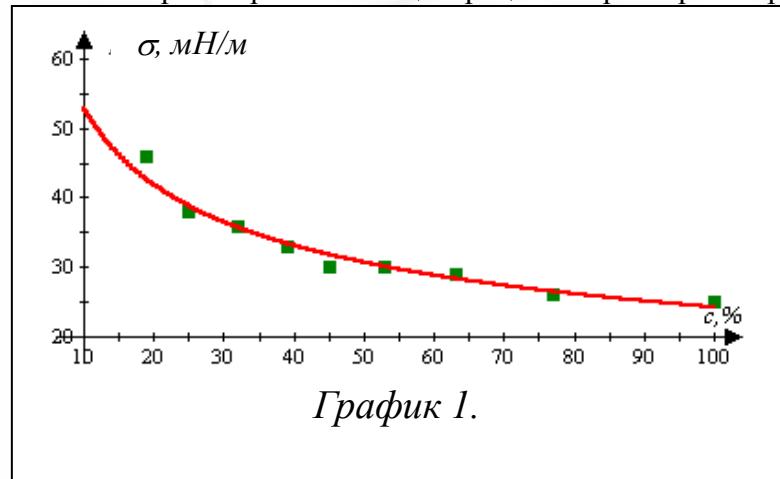
Так как случайная погрешность измерения высоты столбика жидкости в данной работе велика, то необходимо проводить эти измерения несколько раз.

Результаты измерений приведены таблице 1.

Таблица результатов

n_0	n_1	c	$\rho, \text{г}/\text{см}^3$	$h_1, \text{мм}$	$h_2, \text{мм}$	$h_3, \text{мм}$	$\langle h \rangle, \text{мм}$	$\sigma, \text{mH/m}$
30	3	0,09	0,991	35	35	35	35	54
30	7	0,19	0,981	30	29	30	30	46
30	10	0,25	0,975	25	25	25	25	38
30	14	0,32	0,968	25	24	25	25	36
30	19	0,39	0,961	22	22	21	22	33
30	25	0,45	0,954	20	19	21	20	30
27	30	0,53	0,947	22	20	20	21	30
18	30	0,63	0,937	20	19	20	20	29
9	30	0,77	0,923	18	19	18	18	26
0	30	1,0	0,90	16	16	16	16	25

По данным таблицы строим график зависимости коэффициента поверхностного натяжения раствора σ от концентрации спирта в растворе.



Как видно из графика, эта зависимость не линейна. При малых концентрациях спирта в растворе, коэффициент поверхностного натяжения достаточно быстро уменьшается, а при концентрациях больших 50% поверхностное натяжение практически не изменяется.

Примечание. При выполнении данной работы не учитывалось то, объемы капель спирта и воды несколько отличаются другу от друга. Но погрешность этого пренебрежения составляет менее одного процента, что значительно меньше, чем погрешности измерения высоты столбика жидкости в трубке.