

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Поляков Даниил, 19.Б23-фз

Цель работы: методом отрыва кольца измерить коэффициент поверхностного натяжения дистиллированной воды, исследовать зависимость коэффициента поверхностного натяжения от концентрации спирта в воде и от температуры воды.

Схемы установок



Рисунок 1. Установка для измерения силы натяжения дистиллированной воды и спиртовых растворов

- 1 — кювета объёмом 300 мл;
- 2 — металлическое кольцо;
- 3 — датчик силы;
- 4 — блок сбора данных CASSY Lab;
- 5 — подвижный столик.

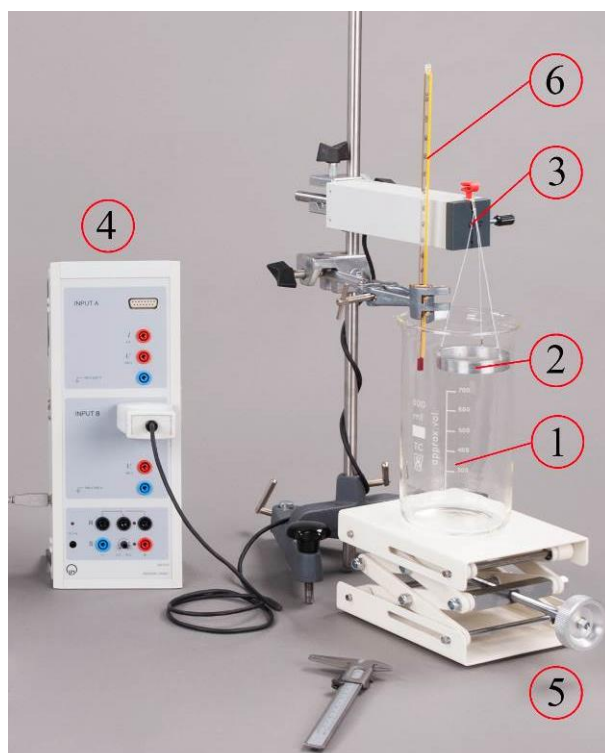


Рисунок 2. Установка для измерения силы натяжения дистиллированной воды при различных температурах

- 1 — стакан объёмом 600 мл;
- 2 — металлическое кольцо;
- 3 — датчик силы;
- 4 — блок сбора данных CASSY Lab;
- 5 — подвижный столик;
- 6 — спиртовой термометр.

Расчётные формулы

- Коэффициент поверхностного натяжения:

$$\sigma = \frac{F}{\pi(D_1 + D_2)}$$

F — сила поверхностного натяжения;

D_1 — внутренний диаметр кольца;

D_2 — внешний диаметр кольца;

$$\sigma = \frac{K_0}{V_0^{2/3}}(T_c - 6 - T)$$

K_0 — постоянная Этвёша;

$V_0 = 22.4$ л/моль — молярный объём жидкости;

T_c — температура жидкости в критической точке;

T — температура жидкости.

- Формулы для вычисления погрешностей:

- Абсолютная погрешность прямых измерений:

$$\Delta_{\bar{x}} = \sqrt{t^2 \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)} + (\Delta_{x, \text{сист}})^2}$$

n — количество измерений;

t — коэффициент Стьюдента;

$\Delta_{x, \text{сист}}$ — систематическая погрешность.

- Абсолютная погрешность косвенных измерений:

$$\Delta_{f(x_1, x_2, \dots)} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot \Delta_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot \Delta_{x_2}\right)^2 + \dots}$$

- $\Delta_{\sigma} = \sqrt{\left(\frac{\partial \sigma}{\partial D_1} \cdot \Delta_{D_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial \sigma}{\partial D_2} \cdot \Delta_{D_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial \sigma}{\partial F} \cdot \Delta_F\right)^2} = |\sigma| \sqrt{2 \left(\frac{\Delta_D}{D_1 + D_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_F}{F}\right)^2}$

Порядок измерений

1. Измеряем внутренний D_1 и внешний D_2 диаметры металлического кольца с помощью штангенциркуля. Подвешиваем кольцо на цифровой динамометр. Ставим кювету на столик и наливаем в неё дистиллированной воды. Запускаем программу CASSY Lab и устанавливаем нулевое значение силы в данный момент, пока кольцо находится в подвешенном состоянии под действием силы тяжести, чтобы не учитывать её в последующих расчётах.
2. Запускаем измерения в CASSY Lab. Поднимаем подвижный столик, чтобы кольцо погрузилось в воду. Медленно опускаем столик до тех пор, пока кольцо не оторвётся от поверхности воды. Снимаем максимальное из зафиксированных программой значений силы F , действующей на динамометр. Повторяем измерение ещё 4 раза.
3. С помощью рефрактометра измеряем показатель преломления n дистиллированной воды и 4-ёх исследуемых спиртовых растворов. Далее поочерёдно меняем раствор в кювете и выполняем для каждого из них измерения, описанные в пункте 2.
4. Ставим стакан на столик и устанавливаем в него спиртовой термометр. Наливаем в него горячей воды. По мере остывания воды проводим однократные измерения, описанные в пункте 2, и снимаем температуру воды T в момент отрыва кольца. Измеряем таким образом силу поверхностного натяжения F для 6 различных температур.

Результаты

Примечание: построение графиков и аппроксимация зависимостей выполнены с помощью ПО MATLAB. Погрешности прямых измерений и коэффициентов аппроксимации рассчитаны с доверительной вероятностью $P = 95\%$.

Приборную погрешность измерения силы принимаем равной половине цены деления динамометра: $\Delta_{F, \text{сист}} = 0.05 \text{ мН}$.

Погрешность измерений диаметра штангенциркулем считаем равной цене деления прибора: $\Delta_D = 0.05 \text{ мм}$.

Внутренний диаметр кольца: $D_1 = 57.60 \pm 0.05 \text{ мм}$.

Внешний диаметр кольца: $D_2 = 59.70 \pm 0.05 \text{ мм}$.

1. Коэффициент поверхностного натяжения дистиллированной воды

Таблица 1. Сила поверхностного натяжения воды, действующая на кольцо

№	F , мН
1	30.7
2	29.6
3	29.6
4	30.3
5	30.4
Среднее	30.1
Δ	0.6

Рассчитываем коэффициент поверхностного натяжения дистиллированной воды:

$$\sigma = 82 \pm 2 \text{ мН/м}$$

Табличное значение (см. **Таблица 5**) поверхностного натяжения воды при температуре 20 °С:

$$\sigma = 72.75 \text{ мН/м}$$

Разница между экспериментально полученным и табличным значениями достаточно существенная. Вероятнее всего, исследованная вода всё-таки содержала примеси, либо датчик силы не был откалиброван.

2. Коэффициенты поверхностного натяжения спиртовых растворов

Таблица 2. Зависимость силы поверхностного натяжения между спиртовым раствором и кольцом от концентрации спирта

n	C , %	F , мН	\bar{F} , мН	σ , мН/м
1.3385	10	15.8	15.8 ± 0.3	42.8 ± 0.8
		15.5		
		16.1		
		15.7		
		15.7		
1.3445	20	13.0	13.0 ± 0.4	35.3 ± 1.0
		13.5		
		13.0		
		12.9		
		12.7		
1.3555	42	10.8	10.8 ± 0.2	29.4 ± 0.5
		10.9		
		10.9		
		10.6		
		11.0		
1.3600	60	10.2	10.1 ± 0.4	27.5 ± 1.0
		9.8		
		10.0		
		10.0		
		10.6		

Изобразим график полученной экспериментальной зависимости и нанесём табличные значения при температуре 20 °С (см. **Таблица 4**). Интерполируем табличные значения для большей наглядности.

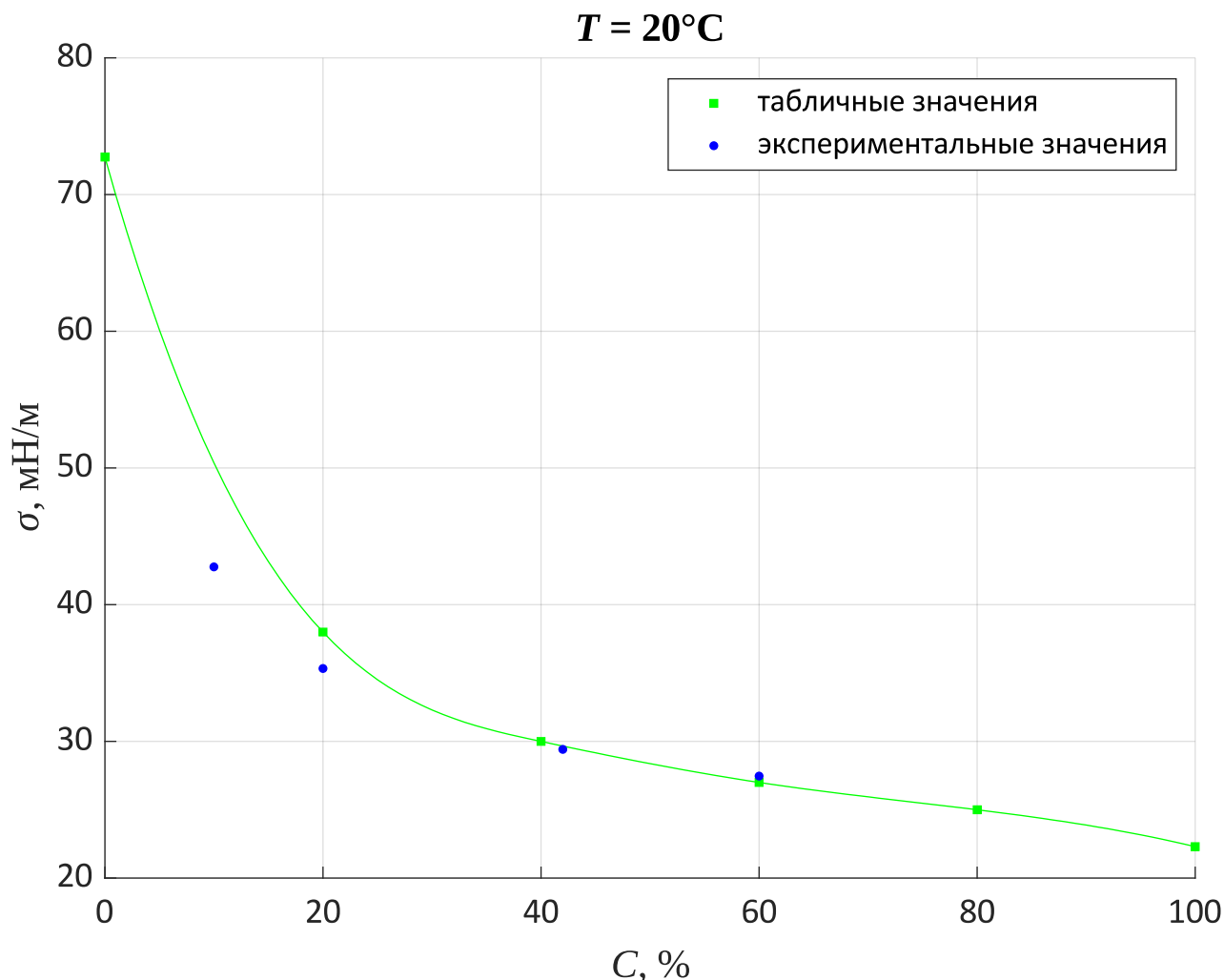


График 1. Зависимость силы поверхностного натяжения между спиртовым раствором и кольцом от концентрации спирта

С ростом концентрации спирта уменьшается поверхностное натяжение воды, причём наибольшее изменение происходит при малых значениях концентрации. Это связано с тем, что спирт является поверхностно-активным веществом по отношению к воде, и происходит концентрация молекул спирта на поверхности воды, из-за чего поверхностное натяжение значительно уменьшается при незначительной добавке спирта. Экспериментальные значения немного отклоняются от табличных, возможно, из-за наличия других примесей в растворе.

3. Температурная зависимость коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды

Таблица 3. Зависимость силы поверхностного натяжения между дистиллированной водой и кольцом от температуры

$T, ^\circ\text{C}$	$F, \text{мН}$	$\sigma, \text{мН/м}$
37	30.4	82 ± 2
45	27.8	75 ± 2
48	28.2	77 ± 2
55	28.5	77 ± 2
60	24.6	67 ± 2
80	25.6	69 ± 2

В данной части работы погрешность измерения силы во всех случаях принимаем равной вычисленной погрешности из первой части работы: $\Delta_F = 0.6 \text{ мН}$.

Изобразим график полученной экспериментальной зависимости вместе с табличными значениями. Линейно аппроксимируем обе зависимости и найдём значение постоянной Этвёша из экспериментальной зависимости:

$$\sigma = \frac{K_0}{V_0^{2/3}}(T_c - 6 - T) \Leftrightarrow y = ax + b, \quad x \equiv T, \quad y \equiv \sigma, \quad a \equiv -\frac{K_0}{V_0^{2/3}}, \quad b \equiv \frac{K_0}{V_0^{2/3}}(T_c - 6)$$

$$\Downarrow$$

$$K_0 = -V_0^{2/3}a$$

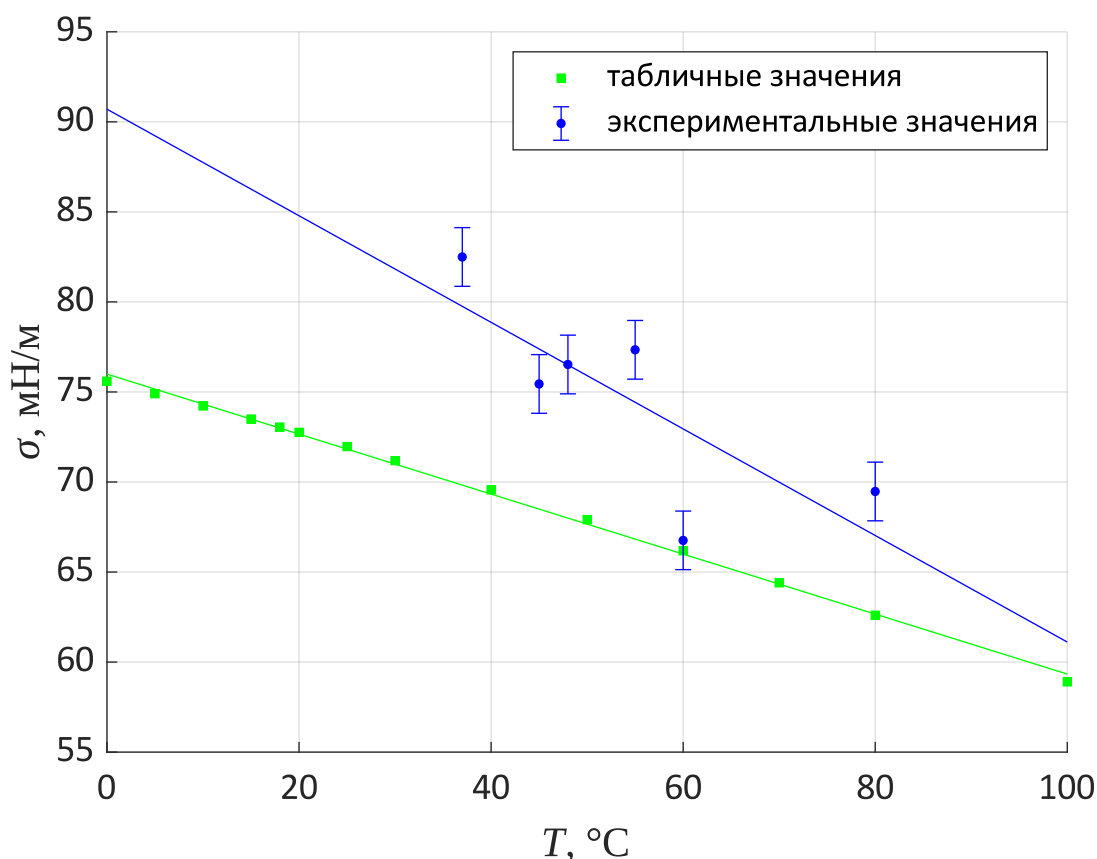


График 2. Зависимость силы поверхностного натяжения между дистиллированной водой и кольцом от температуры

Экспериментальные точки получились очень хаотичными.

Результат аппроксимации:

$$a = -0.3 \pm 0.3 \text{ мН}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$b = 90 \pm 20 \text{ мН}/\text{м}$$

$$K_0 = (2 \pm 3) \cdot 10^{-5} \text{ Дж}/(\text{моль}^{2/3} \cdot \text{К})$$

Удалось определить лишь порядок постоянной Этвёша — погрешность полученной величины очень велика.

Выводы

Полученное значение коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды:

$$\sigma = 82 \pm 2 \text{ мН}/\text{м}$$

Разница между полученным и табличным (72.75 мН/м) значениями достаточно существенная. Вероятнее всего, исследованная вода всё-таки содержала примеси, либо датчик силы не был откалиброван.

С ростом концентрации спирта в воде уменьшается поверхностное натяжение раствора (**График 1**), причём наибольшее изменение происходит при малых значениях концентрации. Это связано с тем, что спирт является поверхностно-активным веществом по отношению к воде, и происходит концентрация молекул спирта на поверхности воды, из-за чего поверхностное натяжение значительно уменьшается при незначительной добавке спирта. Экспериментальные значения немного отклоняются от табличных, возможно, из-за наличия других примесей в растворе.

При исследовании температурной зависимости поверхностного натяжения воды (**График 2**) мы подтвердили, что коэффициент поверхностного натяжения воды убывает с ростом температуры.

Приложение

Таблица 4. Коэффициент поверхностного натяжения (мН/м) раствора спирта и воды в зависимости от концентрации спирта и температуры

Концентрация спирта	0 °C	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C	120 °C
20 %	40	38	36	33	31	29	27
40 %	32	30	28	26	24	22	19
60 %	28	27	25	23	22	20	18
80 %	26	25	23	21	20	18	16
100 %	24	22.3	20.6	19	17.3	15.5	13.4

Таблица 5. Коэффициент поверхностного натяжения дистиллированной воды в зависимости от температуры

$T, ^\circ\text{C}$	$\sigma, \text{мН/м}$
0	75.60
5	74.90
10	74.22
15	73.49
18	73.05
20	72.75
25	71.97
30	71.18
40	69.56
50	67.91
60	66.18
70	64.40
80	62.60
100	58.90