

Лабораторная работа 2.5.1

Измерение коэффициента поверхностного натяжения ЖИДКОСТИ

Симанкович Александр

Б01-104

23.03.2022

Цель работы

Измерение коэффициента поверхностного натяжения исследуемой жидкости при разной температуре с использованием известного коэффициента поверхностного натяжения другой жидкости. Определение полной поверхностной энергии и теплоты, необходимой для изотермического образования единицы поверхности жидкости.

Оборудование и приборы

Прибор Ребиндера с термостатом, исследуемые жидкости, стаканы.

Теоретическое введение

Наличие поверхностного слоя приводит к различию давлений по разные стороны от искривленной границы раздела двух сред. Для сферического пузырька внутри жидкости избыточное давление дается формулой Лапласа

$$\Delta P = P_{\text{внутри}} - P_{\text{снаружи}} = 2\sigma/r.$$

Эта формула лежит в основе предлагаемого метода определения коэффициента поверхностного натяжения жидкости. Измеряется давление, необходимое для выталкивания в жидкость пузырька газа.

Экспериментальная установка

Исследуемая жидкость наливается в сосуд B . Дистиллированная вода наливается в сосуд E . Сосуды закрыты пробками. Через пробку сосуда, в котором проводятся измерения, проходит полая металлическая игла, нижний конец которой погружен в жидкость, а верхний открыт в атмосферу. Если другой сосуд герметично закрыт, то в сосуде с иглой создается разрежение, и пузырьки воздуха начинают пробуживать через жидкость. Поверхностное натяжение можно найти по величине разрежения, необходимого для прохождения пузырьков. При открытом кране K_1 из аспиратора A по каплям вытекает вода, создавая разрежение, которое измеряется наклонным спиртовым манометром. Показания манометра, умноженные на зависящий от наклона коэффициент, дают давление в кгс/м². Чтобы пополнить запас воды, достаточно при

помощи крана K_2 соединить нижнюю часть аспиратора с атмосферой и предварительно заполненной водой верхней частью. Через рубашку D непрерывно прогоняется вода из термостата для стабилизации температуры исследуемой жидкости.

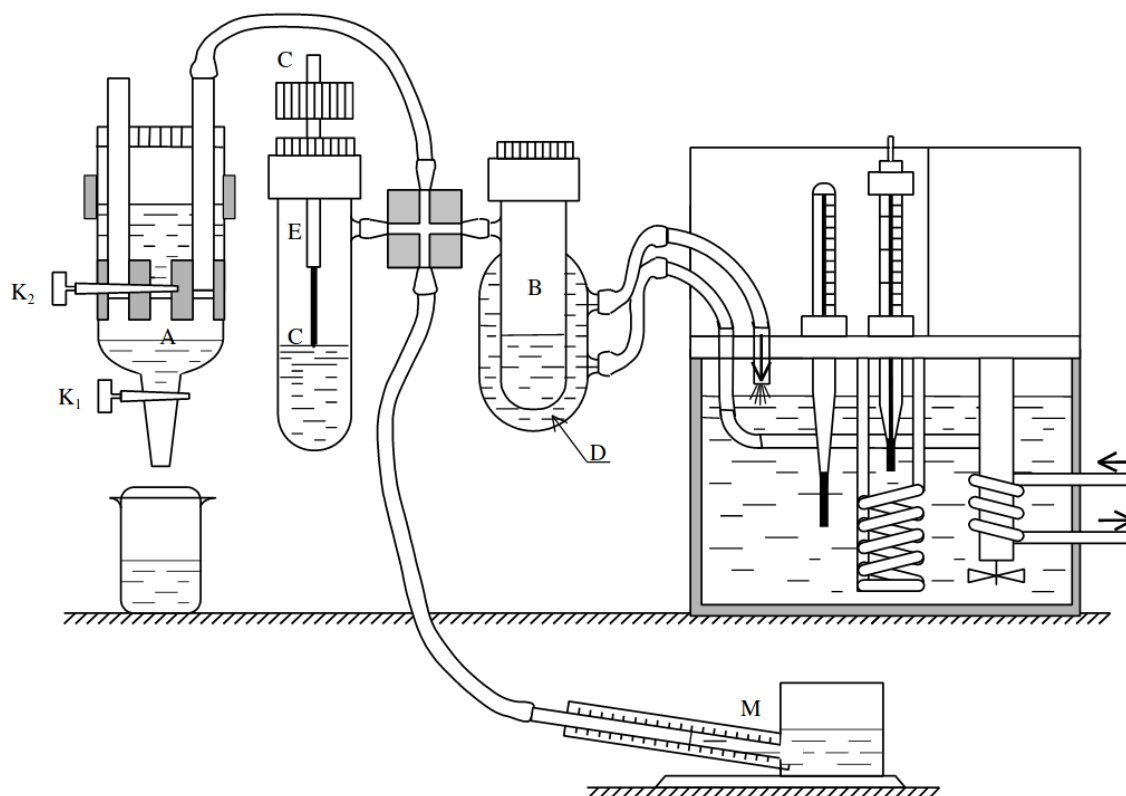


Рис. 1: Схема установки

Ход работы

Спирт

Коэффициент пересчета столба спиртового манометра в давление:

$$K = 0.2 \cdot 9.81 \cdot 0.8095 = 1.588 \text{ Па/мм}$$

Поместим иглу в сосуд со спиртом, закроем пробками сосуды, открыв кран аспиратора добьемся пробулькивания пузырьков воздуха.

$h_{eth}, \text{ мм}$	46	45	45	45	45	46	46	46	46	46
$p_{eth}, \text{ Па}$	73.06	71.47	71.47	71.47	71.47	73.06	73.06	73.06	73.06	73.06

Таблица 1: Давление пробулькивания, спирт, игла на поверхности

$$p = (72.4 \pm 1.4) \text{ Па}$$

Воспользовавшись табличным значением поверхностного натяжения для спирта:

$$\sigma_{сп} = (22 \pm 2) \text{ мН/мм}$$

Значения диаметра иглы, измеренные с помощью микроскопа и косвенно:

$$d_{\text{микро}} = (1.05 \pm 0.05) \text{ мм} \quad d_{\text{косв}} = \frac{4\sigma}{p} = (1.22 \pm 0.11) \text{ мм}$$

Вода

Измерим давления, при которых начинается пробулькивание.

$h_{surf}, \text{ мм}$	105	104	103	104	104	105	104	104	104	104
$p_{surf}, \text{ Па}$	166.77	165.18	163.59	165.18	165.18	166.77	165.18	165.18	165.18	165.18

Таблица 2: Давление пробулькивания, вода, игла на поверхности

$h_{deep}, \text{ мм}$	189	189	189	189	189	189	189	189	189	189
$p_{deep}, \text{ Па}$	300.18	300.18	300.18	300.18	300.18	300.18	300.18	300.18	300.18	300.18

Таблица 3: Давление пробулькивания, вода, игла на глубине

$$\Delta h = h_1 - h_2 = (15.0 \pm 0.5) \text{ мм}$$

$$\Delta h = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} = (13.7 \pm 0.3) \text{ мм}$$

Формула для определения σ :

$$\sigma = \frac{pr}{2}$$

Погрешности измерения:

$$\Delta p = 1.6 \text{ Па} \quad \Delta T = 0.2 \text{ К} \quad \Delta \sigma = \sigma \sqrt{(\Delta p/p)^2 + (\Delta r/r)^2} = 4 \text{ Н/м}$$

Измерим зависимость давления от температуры.

$T, ^\circ\text{C}$	$p_{av}, \text{Па}$	$p_1, \text{Па}$	$p_2, \text{Па}$	$p_3, \text{Па}$	$p_4, \text{Па}$	$p_5, \text{Па}$	$p_6, \text{Па}$	$p_7, \text{Па}$	$p_8, \text{Па}$	$p_9, \text{Па}$	$p_{10}, \text{Па}$
20.7	153.0	300.2	300.2	300.2	300.2	300.2	300.2	300.2	300.2	300.2	300.2
25.0	151.1	297.0	298.6	297.0	298.6	298.6	298.6	298.6	298.6	298.6	298.6
30.0	156.0	301.8	303.4	303.4	303.4	303.4	303.4	303.4	303.4	303.4	303.4
35.0	162.4	308.1	309.7	309.7	309.7	309.7	309.7	309.7	309.7	309.7	309.7
40.0	161.9	308.1	309.7	309.7	309.7	308.1	309.7	308.1	309.7	308.1	309.7
50.0	159.4	306.5	306.5	306.5	306.5	306.5	306.5	306.5	306.5	306.5	306.5
60.0	154.0	301.8	301.8	300.2	301.8	300.2	301.8	301.8	300.2	301.8	300.2

Таблица 4: Зависимость $p(T)$

$T, ^\circ\text{C}$	$p, \text{Па}$	$\sigma, \text{мН/м}$
20.7	153.0	46.7
25.0	151.1	46.1
30.0	156.0	47.6
35.0	162.4	49.5
40.0	161.9	49.4
50.0	159.4	48.6
60.0	154.0	47.0

Таблица 5: Зависимость $\bar{p}(T)$

Построим график.

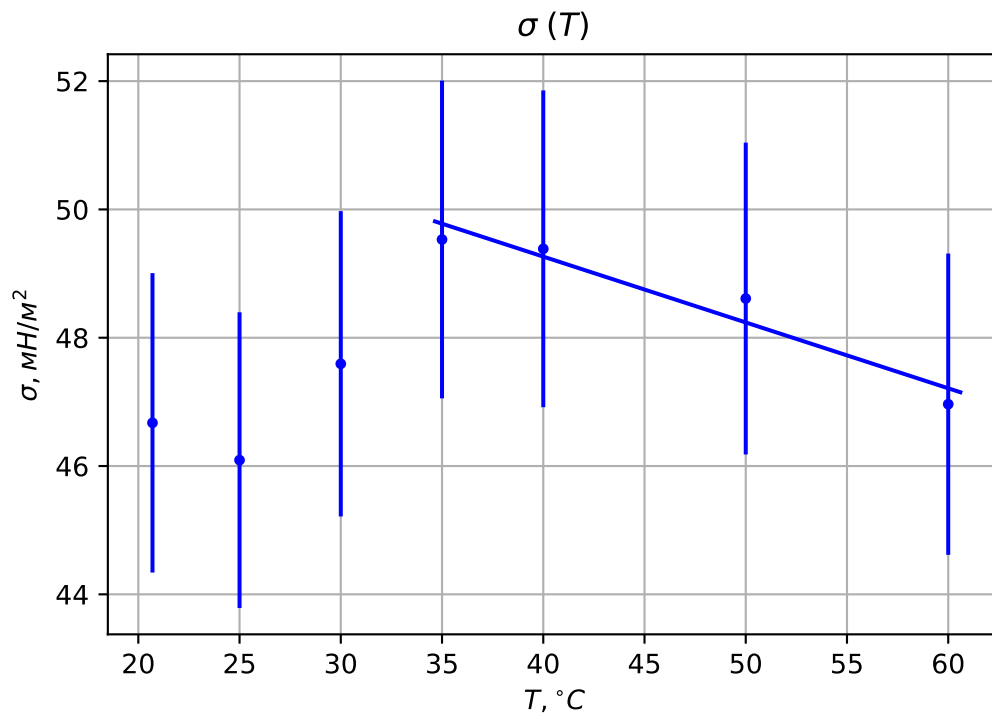


Рис. 2: Зависимость $\sigma(T)$

Из графика по методу наименьших квадратов:

\bar{x}	σ_x^2	\bar{y}	σ_y^2	r_{xy}	a	Δa	b	Δb
4.62e+01	9.22e+01	48.62	1.04e+00	-9.46e+00	-0.10	0.02	53.37	0.91

Таблица 6: Параметры регрессии $\sigma(T)$

Также построим графики:

- 1) теплоты образования единицы поверхности жидкости $q = -T \frac{d\sigma}{dT}$.
- 2) поверхностной энергии U единицы площади F : $\frac{U}{F} = \sigma - T \frac{d\sigma}{dT}$.

$T, ^\circ \text{C}$	$q, \text{мДж/м}^2$	$U/F, \text{мДж/м}^2$
35.0	3.59	53.1
40.0	4.11	53.5
50.0	5.13	53.7
60.0	6.16	53.1

Таблица 7: Зависимости $q(T)$, $U/F(T)$

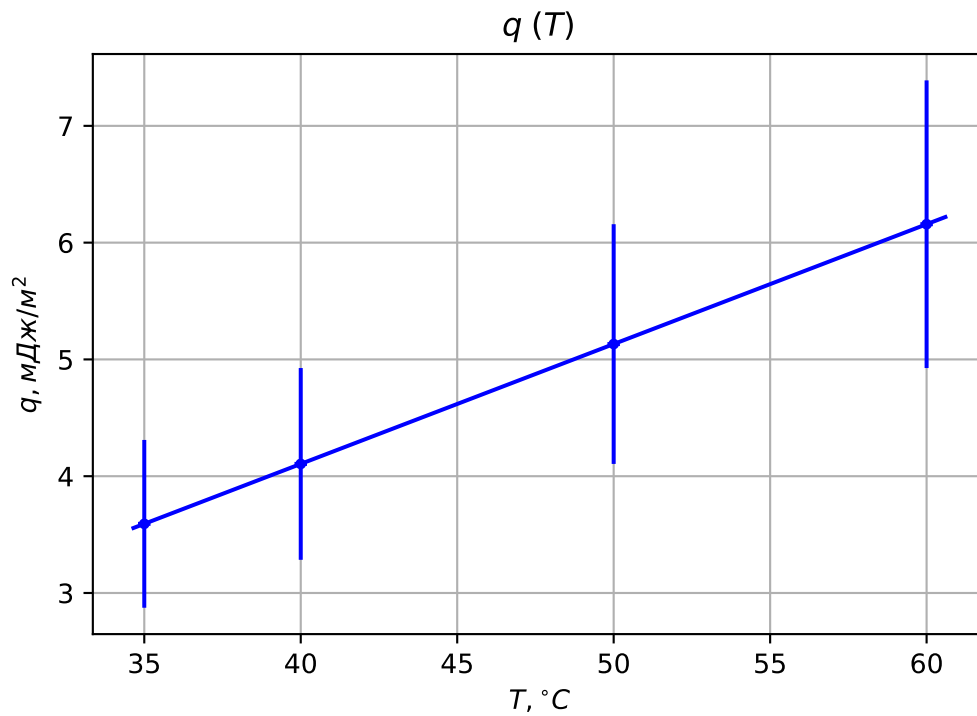


Рис. 3: Зависимость $q(T)$

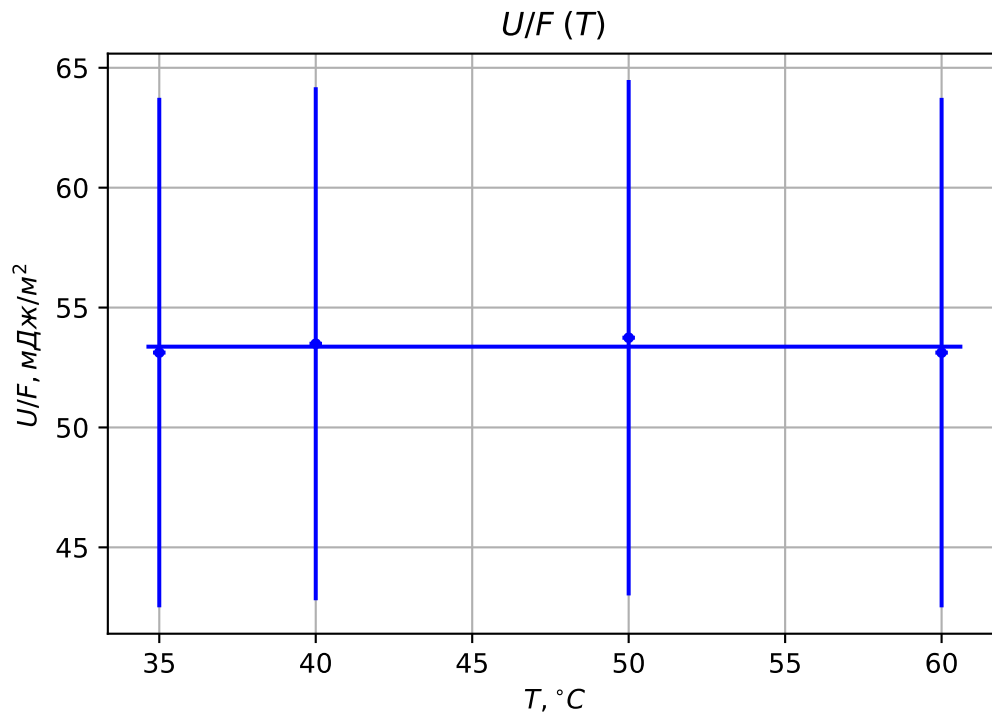


Рис. 4: Зависимость $U/F(T)$

Вывод

Данные, собранные в эксперименте, плохо подчиняются теоретической модели. В процессе эксперимента было обнаружена негерметичность установки (при закрывании аспиратора происходило падение давления). Предполагаются корректными последние 4 точки на зависимости. Для наглядности на графике $\sigma(T)$ приведены точки, при которых была течь.

Значение $\sigma_{\text{табл}} = 73 \text{ мН/м}$ не сходится с экспериментальным $\sigma_{\text{эксп}} = 48 \text{ мН/м}$. Отклонение может возникнуть вследствие попадания спирта в пробирку с водой из-за нетщательной просушки иглы в предыдущих экспериментах (спирт имеет $\sigma_{\text{сп}} = 22 \text{ мН/м}$, поэтому поверхностное натяжение смеси ниже).

Значение $(d\sigma/dT)_{\text{табл}} = 0.15 \frac{\text{мН}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ (рассчитано по правилу Этвёша) не сходится с экспериментальным $(d\sigma/dT)_{\text{эксп}} = (0.10 \pm 0.02) \frac{\text{мН}}{\text{м}\cdot\text{К}}$. Предположительно ошибка связана с малым количеством экспериментальных данных и с попаданием спирта в пробирку с водой.