

Отчет о выполнении лабораторной работы 2.5.1
**«ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА
ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ
ЖИДКОСТИ»**

Бурик Ольга Вадимовна Б02-401

16 февраля 2025 г.

1 Аннотация

Цель работы: измерение температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды с использованием известного коэффициента поверхностного натяжения спирта; определение полной поверхностной энергии и теплоты, необходимой для изотермического образования единицы поверхности жидкости при различной температуре.

В работе используются: прибор Ребиндера с термостатом и микроманометром; исследуемые жидкости; стаканы.

2 Теоретические сведения

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

$$\Delta P = P_{\text{внутри}} - P_{\text{снаружи}} = \frac{2\sigma}{r}, \quad (1)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, $P_{\text{внутри}}$ и $P_{\text{снаружи}}$ – давление внутри пузырька и снаружи, r – радиус кривизны поверхности раздела двух фаз. Эта формула лежит в основе предлагаемого метода определения коэффициента поверхностного натяжения жидкости. Измеряется давление ΔP , необходимое для выталкивания в жидкость пузырька воздуха.

3 Экспериментальная установка

Дистиллированная вода наливается в сосуд В (рис. 1). Этиловый спирт наливается в сосуд Е. При измерениях колбы герметично закрываются пробками. Через одну из двух пробок проходит полая металлическая игла С. Этой пробкой закрывается сосуд, в котором проводятся измерения. Верхний конец иглы открыт в атмосферу, а нижний погружен в жидкость. Другой сосуд герметично закрывается второй пробкой. При создании достаточного разрежения воздуха в колбе с иглой пузырьки воздуха начинают пробужливаться через жидкость. Поверхностное натяжение можно определить по величине разрежения ΔP (1), необходимого для прохождения пузырьков (при известном радиусе иглы).

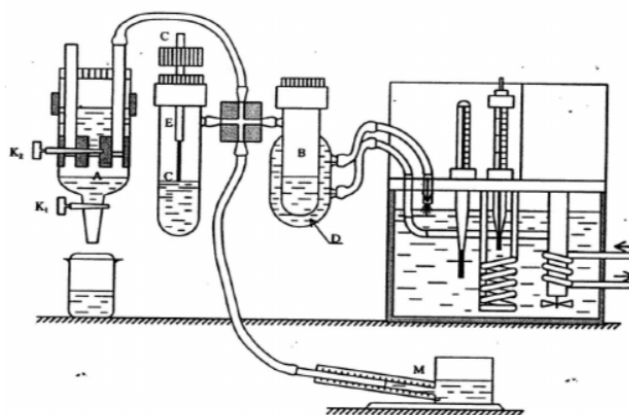


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

Разряжение в системе создается с помощью аспиратора А. Кран К2 разделяет две полости аспиратора. Разряжение воздуха создается в нижней полости при открывании крана К1, когда вода вытекает из неё по каплям. В колбах В и С, соединённых трубками с нижней полостью аспиратора, создается такое же пониженное давление. Разность давлений в полостях с разряженным воздухом и атмосферой измеряется спиртовым микроманометром по формуле $P = h \frac{\gamma_{\text{сп. залит.}}}{\gamma_{\text{сп. пр.}}} K \cdot 9,81$, где h – отсчет по шкале, K – постоянная угла наклона (0,2), $\frac{\gamma_{\text{сп. залит.}}}{\gamma_{\text{сп. пр.}}} = \frac{0,80485}{0,8095}$.

Для стабилизации температуры исследуемой жидкости через рубашку D колбы В непрерывно прогоняется вода из термостата.

Обычно кончик иглы лишь касается поверхности жидкости, чтобы исключить влияние гидростатического давления столба жидкости. Однако такой способ не подходит при измерении температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения из-за большой теплопроводности металлической и теплового расширения.

Обе погрешности можно устранить, погрузив кончик трубки до самого дна. Полное давление, измеренное при этом микроманометром, равно

$$P = \Delta P + \rho gh.$$

Заметим, что ρgh от температуры практически не зависит, так как подъём уровня жидкости компенсируется уменьшением её плотности. Величину ρgh следует измерить двумя способами. Во-первых, замерить величину $P_1 = \Delta P'$, когда кончик трубки только касается поверхности жидкости. Затем при этой же температуре опустить иглу до дна и замерить $P_2 = \rho gh + \Delta P''$ ($\Delta P'$, $\Delta P''$ – давление Лапласа). Из-за несжимаемости жидкости можно положить $\Delta P' = \Delta P''$ и тогда

$$\rho gh = P_2 - P_1.$$

Во-вторых, при измерениях P_1 и P_2 замерить линейкой глубину погружения иглы h . Это можно сделать, замеряя расстояние между верхним концом иглы и любой неподвижной частью прибора при положении иглы на поверхности и в глубине колбы.

4 Результаты измерений и обработка данных

"Перед началом эксперимента была проверена герметичность установки. Для этого аспиратор был заполнен водой. Чистая сухая игла была установлена в сосуд со спиртом так, чтобы кончик иглы лишь касался поверхности спирта, колбы были плотно закрыты пробками. После открытия крана К1 аспиратора наблюдались пробукливания пузырьков воздуха в колбе. При закрытии крана К1, столбик спирта в манометре оставался неподвижен.

Далее была установлена такая частота падения капель из аспиратора, чтобы максимальное давление манометра не зависело от этой частоты (примерно 1 капля в 5 секунд).

Измеренное максимальное давление ΔP спирта при пробукливании пузырьков воздуха через спирт составило при 3 измерениях 47, 47 и 48 дел. По разбросу результатов оценим случайную погрешность измерения в 0,3 дел. При усреднении получаем $\Delta P = 93,0 \pm 0,6$ Па. Пользуясь табличным значением коэффициента поверхностного натяжения спирта ($22,78 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$ при 23°C), определяем по формуле (1) диаметр иглы $d = 0,980 \pm 0,006$ мм (относительная погрешность равна относительной погрешности давления). Результат в пределах 2σ сходится с измеренным по микроскопу $d = 1 \pm 0,05$ мм.

Далее игла была перенесена в колбу с дистиллированной водой. Давление при пробукливании пузырьков, когда игла лишь касается поверхности воды $P_1 = 125$ дел = $243,7 \pm$

0,6 Па. Расстояние между верхним концом иглы и неподвижной точкой прибора $h_1 = 5,40 \pm 0,01$ см.

Утопим иглу до предела, измерим $h_2 = 6,60 \pm 0,01$ см. Максимальное давление в пузырьках $P_2 = 196$ дел $= 382,2 \pm 0,6$ Па. По разности давлений $\Delta P = P_2 - P_1$ определим глубину погружения $\Delta h = 1,416 \pm 0,009$ см, это значение отличается от второго способа: $\Delta h = h_1 - h_2 = 1,2 \pm 0,01$ см. Скорее всего различие вызвано наличием капиллярных эффектов. Далее для расчета давления столба жидкости будем использовать высоту, измеренную линейкой и табличное значение плотности: $\rho = 997 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Снимем температурную зависимость $\sigma(T)$ дистиллированной воды. Для этого с помощью термостата будем устанавливать нужную температуру. После установления температуры будем проводить измерение давления. Результаты приведены в таблице 1. Относительная ошибка коэффициента поверхностного натяжения равна ошибке измерения давления, которая равна ошибке измерения высоты (0,8%). Погрешность температуры можно оценить в 0,2 °С, так как температура в самом термостате колебалась в этом пределе.

Таблица 1: Результаты измерения микроманометром давления в зависимости от температуры воды, соответствующие давлению в пузырьках и коэффициент поверхностного натяжения

T, °C	P_1 , дел	P_2 , дел	P_3 , дел	P , дел	P , Па	ΔP , Па	σ , мН/м
25	197	197	197	197	384,1	266,7	66,7
30	195	195	195	195	380,2	262,8	65,7
35	194	194	194	194	378,3	260,9	65,2
40	193	193	193	193	376,3	258,9	64,7
45	192	192	192	192	374,4	257	64,3
50	189	189	189	189	368,5	251,1	62,8
52,5	188	189	188	188,3	367,2	249,8	62,5
55	187	188	187	187,3	365,2	247,8	62
57,5	186	186	186	186	362,7	245,3	61,3
60	186	185	186	185,6	361,9	244,5	61,1

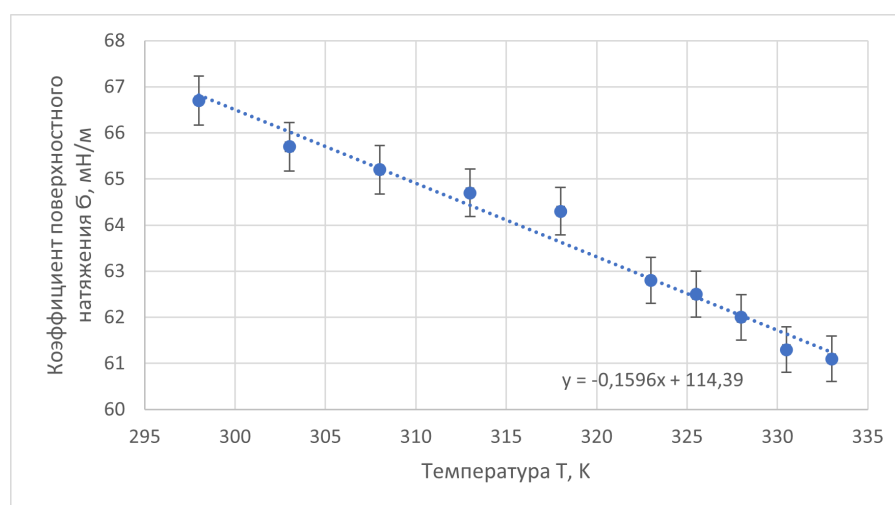


Рис. 2: График зависимости коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды от температуры

Построим зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры (рис.

2). Рассчитаем температурный коэффициент: $\frac{d\sigma}{dT} = -0,160 \pm 0,006 \frac{\text{мН}}{\text{К}_\text{М}}$.

$$\frac{d\sigma}{dT} = k = \frac{\langle xy \rangle - \langle x \rangle \langle y \rangle}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} = -0,1596 \frac{\text{мН}}{\text{К}_\text{М}}$$

$$\varepsilon_k = \frac{1}{k\sqrt{N}} \sqrt{\frac{\langle y^2 \rangle - \langle y \rangle^2}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2}} - k^2 = 4 \%$$

Построим на графике две зависимости от температуры: теплоты образования единицы поверхности жидкости $q = -T \cdot \frac{d\sigma}{dT}$ и поверхностной энергии U единицы площади $F \frac{U}{F} = \sigma - T \cdot \frac{d\sigma}{dT}$ (рис. 3). Значения, по которым построены графики, приведены в таблице 2.

Таблица 2: поверхностная энергия $\frac{U}{F}$ и теплота q в зависимости от температуры

T, K	U/F, мН/м	q, мН/м
298	47,68	114,38
303	48,48	114,18
308	49,28	114,48
313	50,08	114,78
318	50,88	115,18
323	51,68	114,48
325,5	52,08	114,58
328	52,48	114,48
330,5	52,88	114,18
333	53,28	114,38

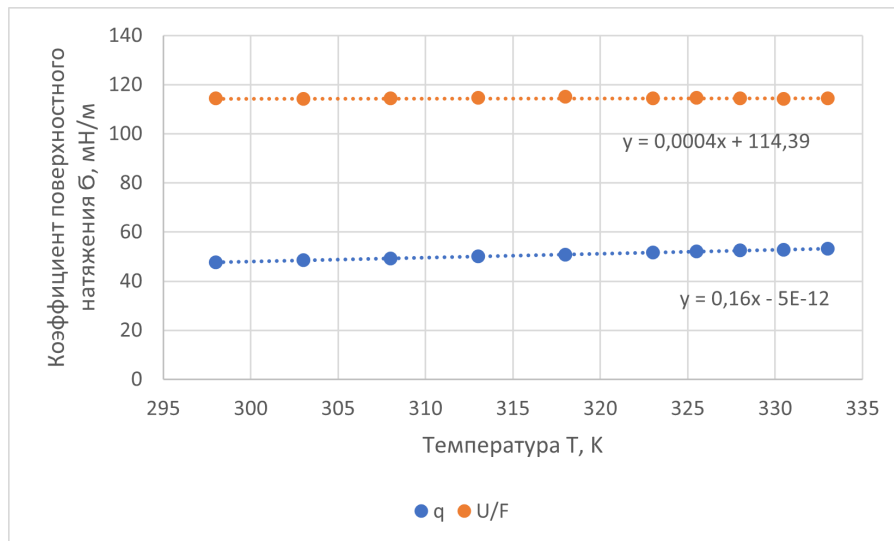


Рис. 3: График зависимости от температуры теплоты образования единицы поверхности жидкости q и поверхностной энергии U единицы площади F

5 Вывод

В работе была исследована температурная зависимость коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды. С помощью спирта с известным коэффициентом поверхностного натяжения, находился предположительный радиус воздушных пузырей по

формуле Лапласа, из этого значения находился коэффициент поверхностного натяжения дистиллированной воды. Коэффициент зависимости поверхностного натяжения дистиллированной воды от температуры: $\frac{d\sigma}{dT} = -0,160 \pm 0,006 \frac{\text{мН}}{\text{К}_\text{м}}$;
 Были определены полная поверхностная энергия $\frac{U}{F}$ и теплота q , необходимые для изотермического образования единицы поверхности жидкости при различной температуре. При температуре 25-60 °С, эти значения составили соответственно: 114,18-114,78 $\frac{\text{мН}}{\text{м}}$, 47,68-53,28 $\frac{\text{мН}}{\text{м}}$.