

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
“МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)”

Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий

**Отчёт по лабораторной работе № 2.5.1**  
**"Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости"**

Выполнил:  
Студент гр. Б01-305  
Миннахметов Артур

Долгопрудный, 2024

# 1 Введение

**Цель работы:** 1) измерение температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды с использованием известного коэффициента поверхностного натяжения спирта; 2) 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.

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  $\sigma$  — 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  $\Delta P$ , необходимое для выталкивания в жидкость пузырька воздуха.

**Экспериментальная установка.** Исследуемая жидкость (дистиллированная вода) наливается в сосуд (колбу) В (рис. 1). Тестовая жидкость (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 разряжения воздуха в колбе с иглой пузырьки воздуха начинают пробужливаться через жидкость. Поверхностное натяжение можно определить по величине разряжения  $\Delta P$  (1), необходимого для прохождения пузырьков (при известном радиусе иглы).

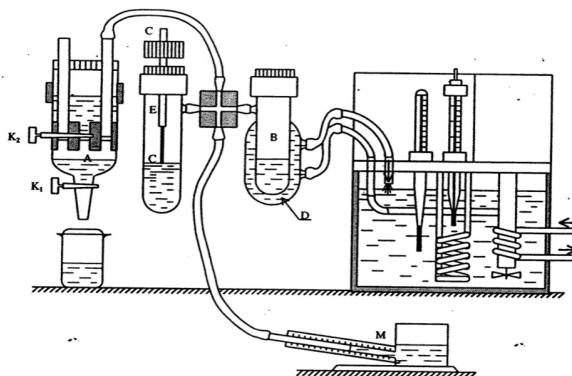


Рис. 1: Схема установки для измерения температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения.

Разряжение в системе создается с помощью аспиратора А. Кран  $K_2$  разделяет две полости аспиратора. Верхняя полость при закрытом кране  $K_2$  заполняется водой. Затем кран  $K_2$  открывают и заполняют водой нижнюю полость аспиратора. Разряжение воздуха создается в нижней полости при открывании крана  $K_1$ , 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.

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 при измерении температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения возникает ряд сложностей. Во-первых, большая теплопроводность металлической трубки приводит к тому, что температура на конце трубки заметно ниже, чем в глубине жидкости. Во-вторых, тепловое расширение поднимает уровень жидкости при увеличении температуры.

Обе погрешности можно устранить, погрузив кончик трубки до самого дна. Полное давление, измеренное при этом микроманометром,  $P = \Delta P + \rho gh$ . Заметим, что  $\rho gh$  от температуры практически не зависит, так как подъём уровня жидкости компенсируется уменьшением её плотности (произведение  $\rho h$  определяется массой всей жидкости и поэтому постоянно). Величину  $\rho gh$  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  $P_2 = \rho gh + \Delta P''$ . 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.

## 2 Ход работы

### 2.1 Измерения

1. Измерено максимальное давление спирта  $\Delta P_{\text{спирт}}$  при пробулькивании пузырьков воздуха через спирт. Все результаты оказались абсолютно одинаковыми, поэтому в данном эксперименте нет необходимости подсчитывать случайную погрешность. Показания манометра оказались равны  $d = 41$  мм.

2. Измерен диаметр иглы, который оказался равен  $D = (1,1 \pm 0,05)$  мм.

3. Игла погружена в воду и соприкасается с поверхностью. Высота торчащей сверху части оказалась равна  $h_1 = 11,5 \pm 1$  мм. Высота столба, до которой поднялся манометр при повторении эксперимента, который был со спиртом, оказалась  $d_1 = 112$  мм.

4. Игла опущена на дно и проведены все те же измерения, что и с иглой наверху:  $h_2 = 5,5 \pm 1$  мм,  $d_2 = 188$  мм.

5. Далее повышалась температура. Результаты приведены в таблице:

t, °C	d, мм
22	188
30	187
35	185
40	184
45	182
50	181
55	179
60	178
65	175

## Обработка

6. Посчитаем  $\Delta P_{\text{спирт}}$  для измерения проведенных в пункте 1:

$$\Delta P_{\text{спирт}} = 80,9 \text{ Па.} \quad (2)$$

Так как все измерения были одинаковыми, рассмотрим только систематическую погрешность, выванную тем, что манометр работает не идеально. Эту погрешность примем за единицу деления.

7. Посчитаем, исползуя (2), диаметр иглы по формуле (1):

$$D_{\text{экс}} = \frac{4\sigma}{\Delta P_{\text{спирт}}} = (1,08 \pm 0,1) \text{ мм.} \quad (3)$$

Заметим, что проведенные с помощью микроскопа измерения полностью лежат в области погрешности измерений с помощью спирта.

8. Посчитаем добавочное давление  $\Delta P$  при погружении иглы:

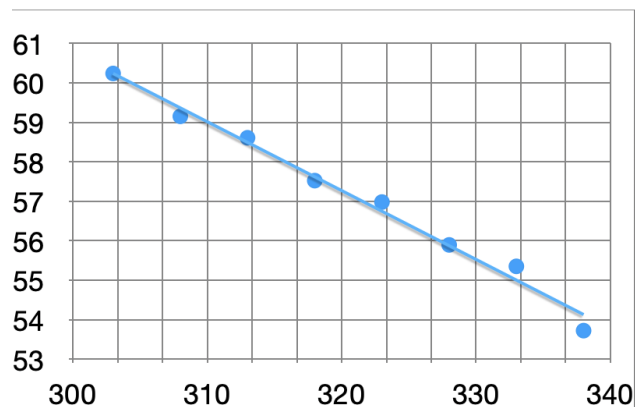
$$\Delta P = \rho g \Delta h = (59 \pm 7) \text{ Па.} \quad (4)$$

9. Далее посчитаем соответствующие всем случаям  $\sigma(T)$ :

$\sigma$ , мПа · м	$T$ , К
60.78	295.15
60.24	303.15
59.15	308.15
58.61	313.15
57.52	318.15
56.98	323.15
55.89	328.15
55.35	333.15
53.72	338.15

Получилось уравнение  $\sigma(T) = -0.1626T + 109.25$ .

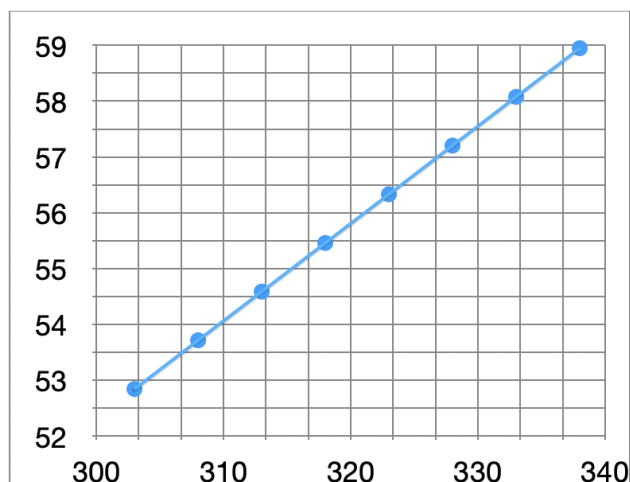
Построим график:



Случайная погрешность  $\Delta \left( \frac{d\sigma}{dT} \right)_{\text{случ}} = 0,012$ . Учитывая погрешность измерений манометра, равной одному делению, посчитаем систематическую погрешность. Усредним систематическую погрешность для простого расчета  $\Delta \left( \frac{d\sigma}{dT} \right)_{\text{сист}} = 0,0025$ .

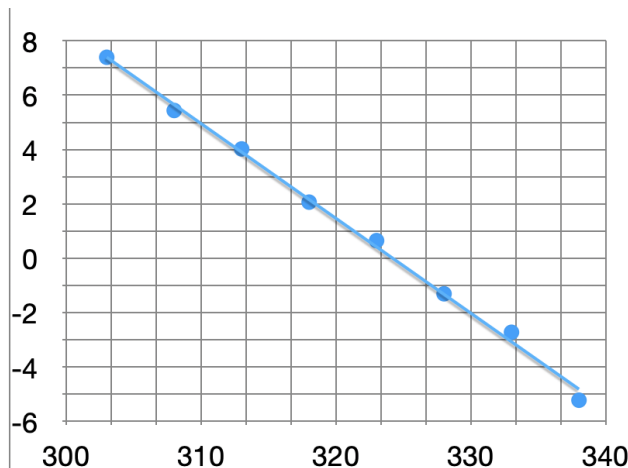
Итого получилось:  $\frac{d\sigma}{dT} = -0,1626 \pm 0,01 \frac{\text{Н}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ .

10. Построим график  $q = q(T) = -T \frac{d\sigma}{dT}$ :



Заметим, что получилась в точности прямая зависимость, что и ожидалось.

11. Построим график зависимости энергии  $U$  единицы площади,  $U = \sigma - T \frac{d\sigma}{dT}$ :



В данном случае можно заметить, что была совершена некая ошибка, так как энергия получилась отрицательной, чего быть не может. Будем считать эту точку ошибочной.

### 3 Выводы

Измерена зависимость коэффициента поверхностного натяжения воды в зависимости от температуры. Было замечено, что при увеличении температуры этот коэффициент падает. Также исследованы зависимости теплоты образования единицы площади жидкости от температуры и полной поверхностной энергии пузыря воздуха от температуры. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения воды от температуры получилась такая:

$$\sigma(T) = -0,1626T + 109,25 \frac{\text{мН}}{\text{м}}.$$

Заметим, что при небольшом изменении температуры, значение коэффициента поверхностного натяжения не сильно изменяется, поэтому при нормальных условиях его можно принять равным  $60 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$ . Также есть температура, при которой энергия, необходимая для образования единицы площади, равна нулю. Но это происходит, когда при атмосферном давлении вся вода превратилась в пар.