

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2.5.1**

Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости

Пилюгин Л. С.  
Б02-212  
1 мая 2023 г.

# 1 Аннотация

**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.

**Оборудование:** прибор Ребиндера с термостатом и микроманометром; исследуемые жидкости; стаканы.

## 2 Теоритические 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

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r},$$

где  $\sigma$  — коэффициент поверхностного натяжения,  $r$  — 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.

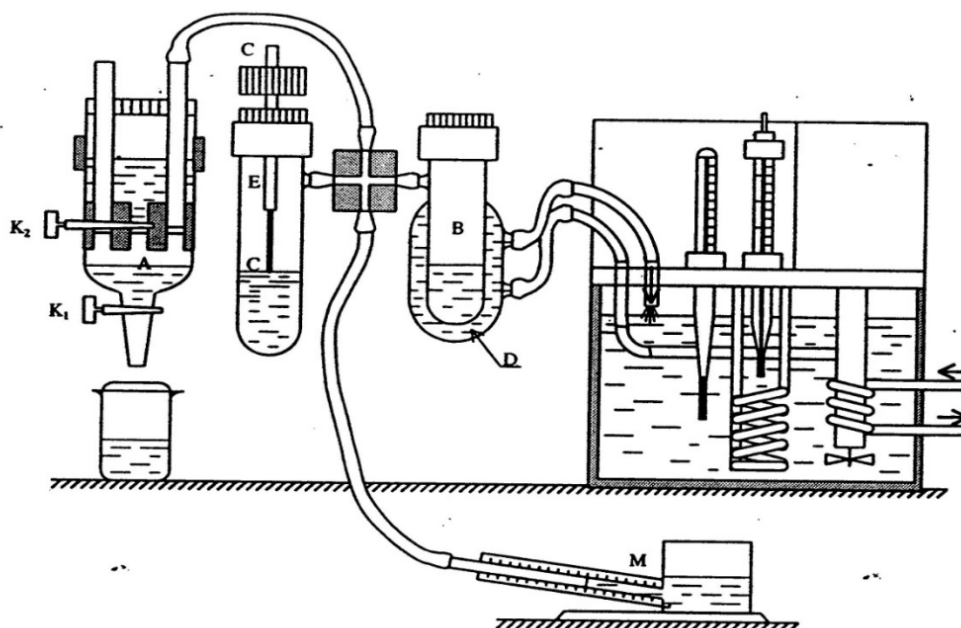
## 3 Оборудование

Исследуемая жидкость (дистиллированная вода) наливается в сосуд (колбу) В. 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 разрежения воздуха в колбе с иглой пузырьки воздуха начинают пробукливать через жидкость. Поверхностное натяжение можно определить по величине разрежения, необходимого для прохождения пузырьков (при известном радиусе иглы).

Разрежение в системе создается с помощью аспиратора А. Кран К2 разделяет две полости аспиратора. Верхняя полость при закрытом кране К2 заполняется водой. Затем кран К2 открывают и заполняют водой нижнюю полость аспиратора. Разрежение 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 разреженным 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  $\rho h$  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  $p_2 = \rho gh + \Delta p''$  ( $p'$ ,  $p''$  — 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.

В частности подобную же операцию необходимо сделать и при заполнении водой аспиратора А. В противном случае при заполнении аспиратора водой давление воздуха в системе повышается, спирт из трубки микроманометра выдавливается, в узлах соединений микроманометра образуются воздушные пузыри. Наличие этих пузырей приводит к полному нарушению калибровки манометра и невозможности измерений.

## 4 Результаты измерений

Максимальное давление при пробуживании

$$\Delta p_{\text{спирт}} = 98 \pm 1 \text{ Па}$$

Тогда диаметр иглы

$$d_0 = \frac{4\sigma}{\Delta p_{\text{спирт}}} = 0,893 \pm 0,009 \text{ мм}$$

Измерения по микроскопу дали результаты

1,05 мм	1,00 мм	1,00 мм	0,95 мм	0,95 мм
---------	---------	---------	---------	---------

$$d = 0,99 \pm 0,03 \text{ мм}$$

Перенесем иглу в колбу с водой.

Максимальное давление при пробулькивании с иглой на поверхности

$$p_1 = 294 \pm 1 \text{ Па}$$

$$h_1 = 5,45 \pm 0,025 \text{ см}$$

Максимальное давление при пробулькивании с утопленной иглой

$$p_2 = 451 \pm 1 \text{ Па}$$

$$h_2 = 3,85 \pm 0,025 \text{ см}$$

$$\Delta h = h_1 - h_2 = 1,6 \pm 0,05 \text{ см}$$

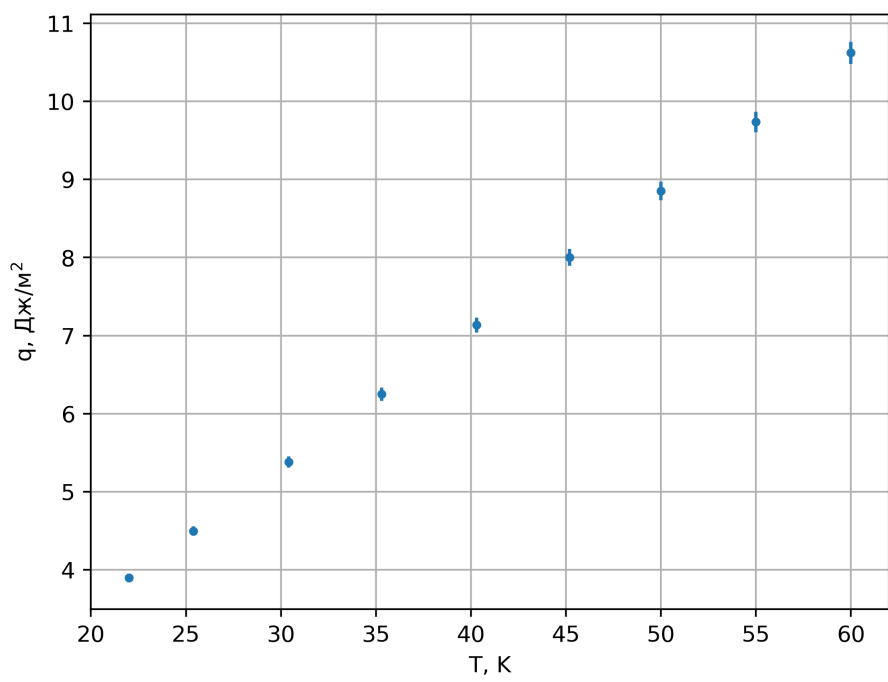
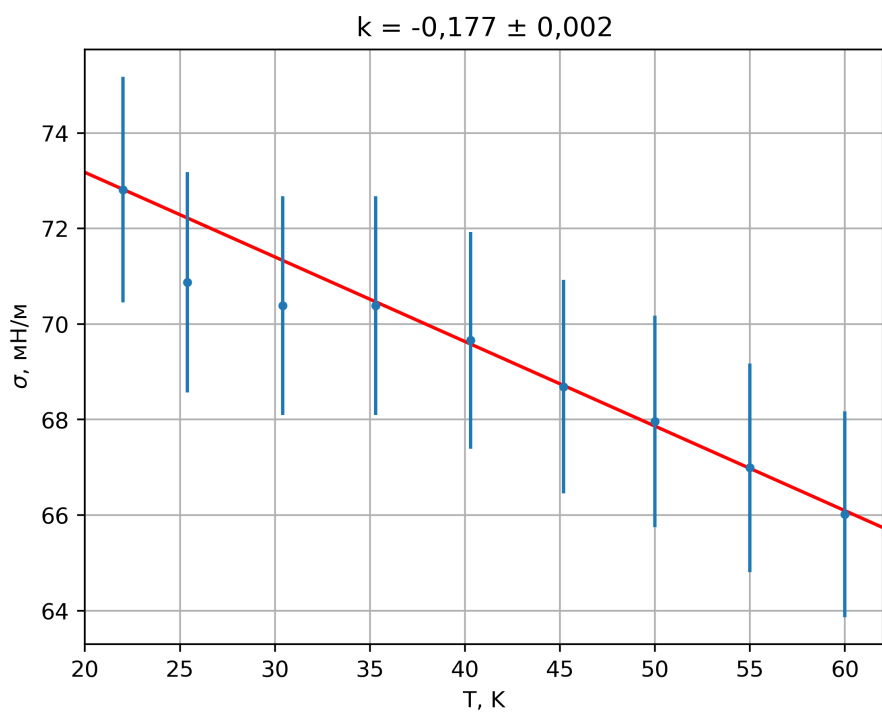
$$\Delta h = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} = 1,6 \pm 0,02 \text{ см}$$

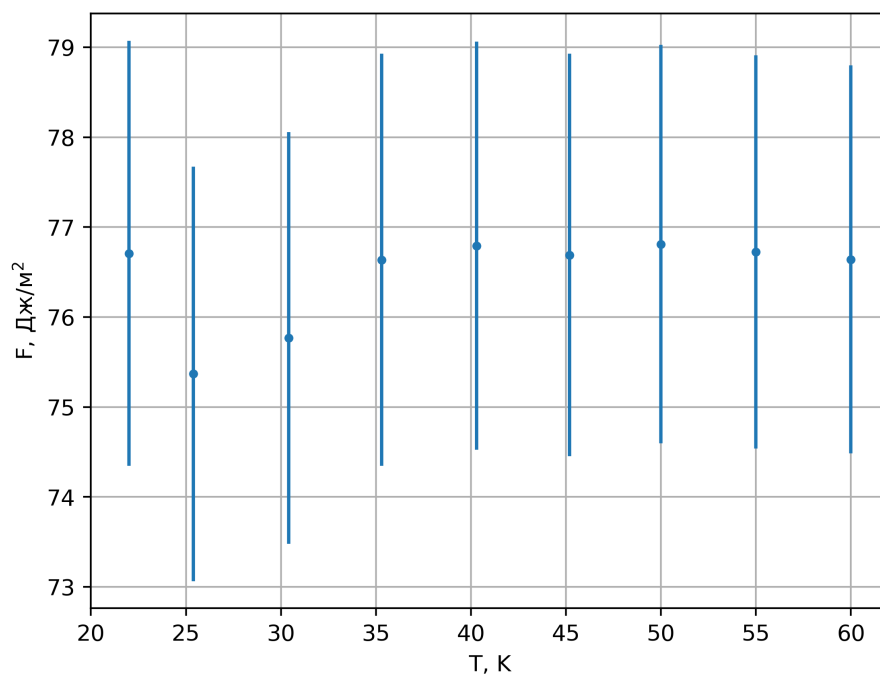
Зависимость давления от температуры

$T, \text{ К}$	$l, \text{ дел.}$
22	230
25.4	226
30.4	225
35.3	225
40.3	223.5
45.2	221.5
50	220
55	218
60	216

$$\sigma = \frac{p_2 d}{4} = 73 \pm 2 \text{ мН/м}$$

$$\frac{d\sigma}{dt} = k = -0,177 \pm 0,002 \text{ мН/м} \cdot \text{К}$$





## 5 Вывод

Была снята зависимость коэффициента поверхностного натяжения воды от температуры. Результаты (за исключением двух выбросных точек) с учетом погрешности согласуются с табличными значениями.