

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

**Отчёт по лабораторной работы 2.5.1**

**Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости.**

Выполнил студент:

Сериков Василий Романович

группа: Б03-102

Москва, 2022 г.

## 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.

### 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:

$$\Delta P = P_{int} - P_{ext} = \frac{2\sigma}{r}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения,  $P_{int}$  и  $P_{ext}$  – 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.

### Методика измерений:

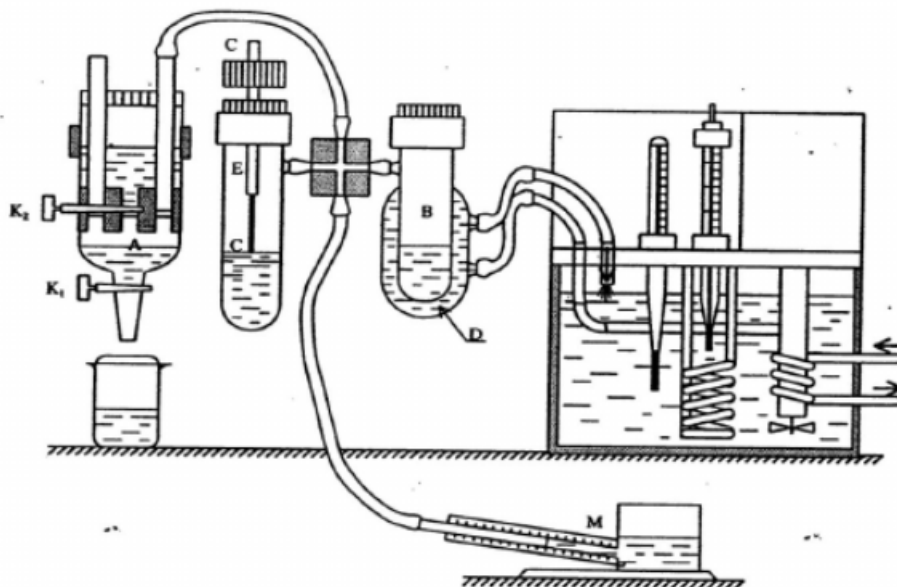


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

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. 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 пробулькивать через жидкость. Поверхностное натяжение можно определить по величине разрежения  $\Delta P$  (1), необходимого для прохождения пузырьков (при известном радиусе иглы).

Разрежение в системе создается с помощью аспиратора  $A$ . 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. Разрежение воздуха создается в нижней полости при открывании крана  $K_1$ , когда вода вытекает из неё по каплям. В колбах и , 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 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, равно

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

Заметим, что  $\rho gh$  от температуры практически не зависит, так как подъём уровня жидкости компенсируется уменьшением её плотности (произведение  $\rho g$  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  $P_2 = \rho gh + \Delta P''$  ( $\Delta P'$ ,  $\Delta P''$  – 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.

### Используемое оборудование:

Прибор Ребиндера с термостатом и микроманометром; исследуемые жидкости; стаканы.

## Результаты измерений и обработка данных:

1. Начальные данные и погрешности:  $\sigma_p = \pm 0,5$  мм - погрешность манометра,  $\sigma_{\text{спирт}} = 0,0224$  Н/м - коэффициент поверхностного натяжения спирта при  $20^\circ\text{C}$ ,  $d = 1,15 \pm 0,05$  мм - диаметр иглы, измеренный при помощи микроскопа.
2. Измерим максимальное давление  $P$  при пробулькивании пузырьков воздуха через спирт. Пользуясь табличным значением коэффициента поверхностного натяжения спирта, определим по формуле (1) диаметр иглы. Сравним полученный результат с диаметром иглы, измеренным по микроскопу.

№	$P$ , мм.	$P$ , Па	$\overline{P}$ , Па
1	42	82	$81 \pm 1$
2	41,5	81	
3	41,5	81	
4	41,5	81	

Таблица 1: Результаты измерений в спирте

$$d = \frac{4 \cdot \sigma_{\text{спирт}}}{P} = 1,09 \pm 0,01 \text{ мм}$$

3. Измерим максимальное давление  $P_1$  при пробулькивании пузырьков, когда игла лишь касается поверхности воды. Измерим расстояние  $h_1$  между верхним концом иглы и любой неподвижной частью прибора. Потом утопим иглу до предела, чтобы измерить максимальное давление в пузырьках  $P_2$  и расстояние  $h_2$ . По разности давлений  $\Delta P = P_2 - P_1$  определим глубину погружения  $\Delta h$  иглы и сравним с  $\Delta h = h_1 - h_2$ .

№	$P$ , мм	$P$ , Па	$\overline{P}_1$ , Па	$h_1$ , мм
1	98	192	$190 \pm 1$	$21,5 \pm 0,5$
2	97	190		
3	97	190		
4	96	188		

Таблица 2: Результаты измерений в воде

№	$P$ , мм	$P$ , Па	$\overline{P}_2$ , Па	$h_2$ , мм
1	178	349	$349 \pm 1$	$6,5 \pm 0,5$
2	178	349		
3	178	349		
4	178	349		

Таблица 3: Результаты измерений в воде

$$\Delta h = \frac{\overline{P}_2 - \overline{P}_1}{\rho \cdot g} = 16 \pm 1 \text{ мм}$$

$$\Delta h = h_1 - h_2 = 15 \pm 1 \text{ мм}$$

4. Снимем температурную зависимость  $\sigma(T)$  для дистиллированной воды. Для уменьшения погрешности опыта замер давления при фиксированной температуре проведем несколько раз.

№	$P$ , мм	$P$ , Па	$\overline{P}$ , Па	$T$ , К
1	194	381	$381 \pm 1$	298
2	193,5	380		
3	193,5	380		
4	194	381		

Таблица 4: Результаты измерений при  $T = 298$  К

№	$P$ , мм	$P$ , Па	$\overline{P}$ , Па	$T$ , К
1	192,5	378	$378 \pm 1$	303
2	192,5	378		
3	193	379		
4	192	377		

Таблица 5: Результаты измерений при  $T = 303$  К

№	$P$ , мм	$P$ , Па	$\overline{P}$ , Па	$T$ , К
1	191,5	376	$376 \pm 1$	308
2	191,5	376		
3	191,5	376		
4	191,5	376		

Таблица 6: Результаты измерений при  $T = 308$  К

№	$P$ , мм	$P$ , Па	$\overline{P}$ , Па	$T$ , К
1	190	373	$374 \pm 1$	313
2	190,5	374		
3	190,5	374		
4	190	373		

Таблица 7: Результаты измерений при  $T = 313$  К

№	$P$ , мм	$P$ , Па	$\overline{P}$ , Па	$T$ , К
1	189	371	$371 \pm 1$	318
2	189	371		
3	189,5	372		
4	189	371		

Таблица 8: Результаты измерений при  $T = 318$  К

№	$P$ , мм	$P$ , Па	$\overline{P}$ , Па	$T$ , К
1	188	369	$369 \pm 1$	323
2	188	369		
3	188	369		
4	188	369		

Таблица 9: Результаты измерений при  $T = 323$  К

№	$P$ , мм	$P$ , Па	$\overline{P}$ , Па	$T$ , К
1	187	367	$368 \pm 1$	328
2	187,5	368		
3	187,5	368		
4	187,5	368		

Таблица 10: Результаты измерений при  $T = 328$  К

№	$P$ , мм	$P$ , Па	$\overline{P}$ , Па	$T$ , К
1	186	365	$366 \pm 1$	333
2	186,5	366		
3	186,5	366		
4	186	365		

Таблица 11: Результаты измерений при  $T = 333$  К

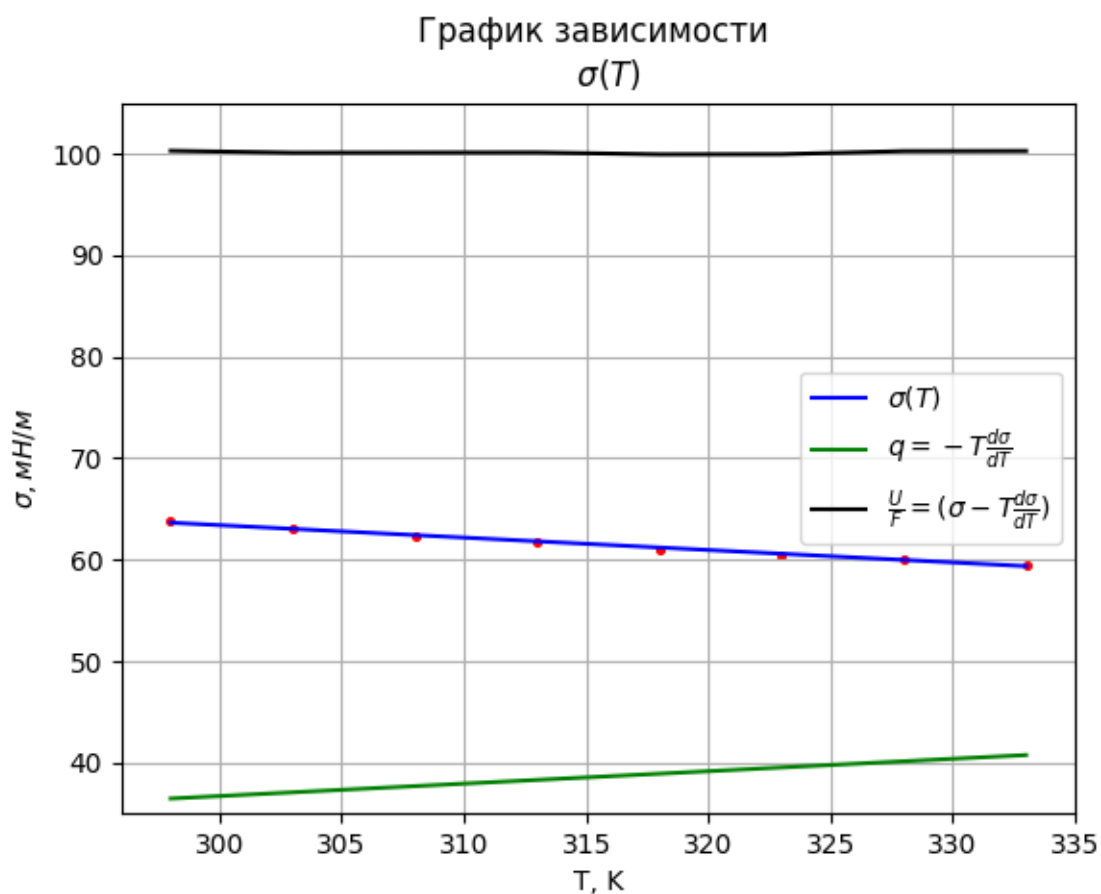
5. Рассчитаем величину коэффициента поверхностного натяжения воды  $\sigma(T)$ , используя значение диаметра иглы, полученное при измерениях на спирте.

$$\sigma = Pd/4, P = \overline{P} - \Delta P$$

№	$T$ , К	$\sigma$ , мН/м	$\sigma_\sigma$ , мН/м
1	298	63,8	3
2	303	63,0	3
3	308	62,4	3
4	313	61,8	3
5	318	61,0	3
6	323	60,4	3
7	328	60,1	3
8	333	59,5	3

Таблица 12: Результаты для  $\sigma$

6. Построим график зависимости  $\sigma(T)$  и определим по графику температурный коэффициент  $\frac{d\sigma}{dT}$ . Также построим графики для теплоты образования единицы поверхности жидкости  $q = -T\frac{d\sigma}{dT}$  и поверхностной энергии  $U$  единицы площади  $F$ :  $\frac{U}{F} = (\sigma - T\frac{d\sigma}{dT})$



7. По МНК определяем коэффициент наклона прямой  $\sigma(T)$ :  $k = \frac{d\sigma}{dT} = -0,122 \pm 0,003$  мН/м·К

#### Обсуждение результатов:

В данной работе мы определили двумя способами диаметр иголки, полученные значения совпадают в пределах погрешностей. Также мы двумя способами определили длину иголки, полученные значения также совпадают в пределах погрешностей. Полученный нами коэффициент поверхностного натяжения жидкости не совпадает с табличным в пределах погрешности ( $\sigma = 73$  мН/м при  $T = 298$  К)

#### Выводы:

В ходе данной работы мы измерили температурные зависимости коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды с использованием известного коэффициента поверхностного натяжения спирта; 2) определили полную поверхностную энергию и теплоту, необходимую для изотермического образования единицы поверхности жидкости при различной температуре