

*Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования*

**«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**Лабораторная работа № 2.5.1**

по курсу общей физики

на тему:

***«Измерение коэффициента  
поверхностного натяжения жидкости»***

*Работу выполнил:  
Баринов Леонид  
(группа Б02-827)*

Долгопрудный  
2019

## 1 Аннотация

В работе будет установлена температурная зависимость коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды с использованием известного коэффициента поверхностного натяжения спирта.

Также будет определена полная поверхностная энергия и теплота, необходимая для изотермического образования единицы поверхности жидкости при различной температуре.

## 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  $\sigma$  – 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.

## 3 Оборудование

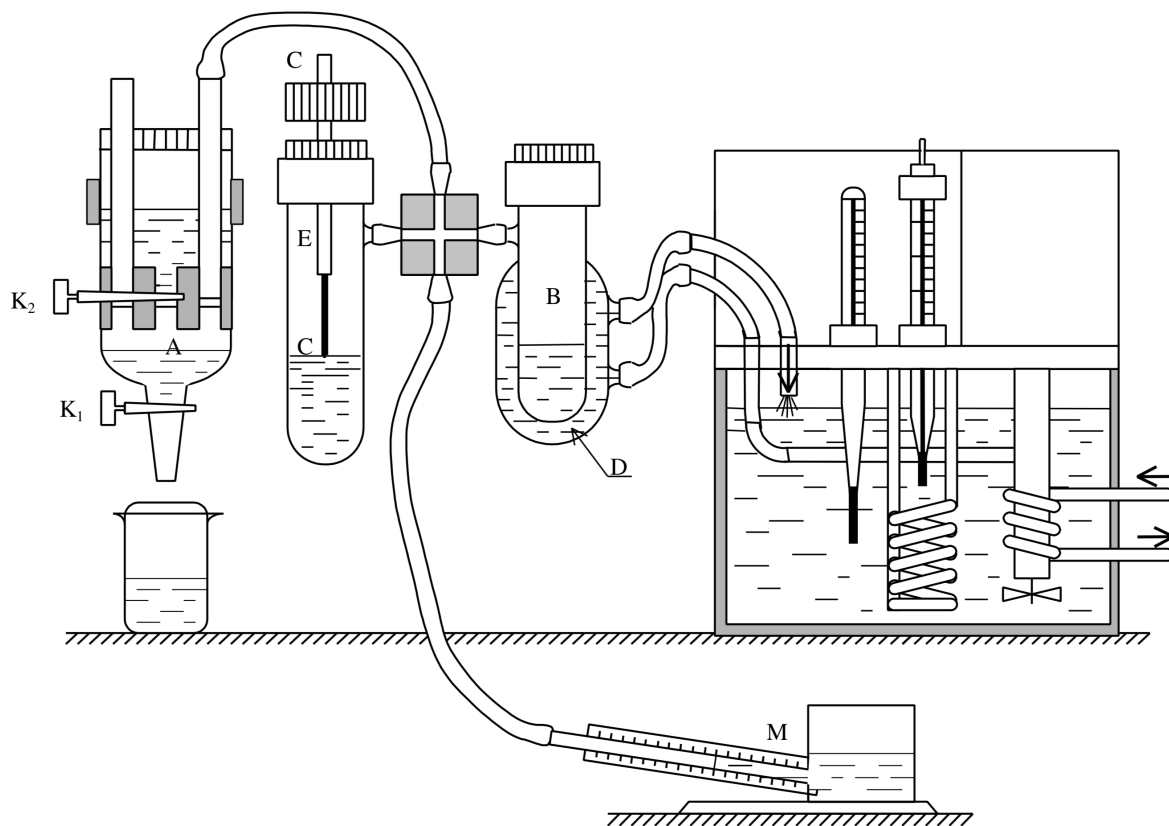
В работе используются: прибор Ребиндера с термостатом и микроманометром; исследуемые жидкости; стаканы.

### Экспериментальная установка

Исследуемая жидкость (дистиллированная вода) наливается в сосуд (колбу) *B* (рис.1). Тестовая жидкость (этиловый спирт) наливается в сосуд *E*. При измерениях колбы герметично закрываются пробками. Через одну из двух пробок проходит полая металлическая игла *C*. 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 пробульживать 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 *K2* разделяет две полости аспиратора. Верхняя полость при закрытом кране *K2* заполняется водой. Затем кран *K2* открывают и заполняют водой нижнюю полость аспиратора. Разрежение воздуха создается в нижней полости при открывании крана *K1*, когда вода вытекает из неё по каплям. В колбах *B* и *C*, 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  $B$  непрерывно прогоняется вода из термостата.



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

## 4 Результаты измерений и обработка результатов

Измерим максимальное давление  $\Delta P_{\text{спирт}}$  при пробулькивании пузырьков воздуха через спирт. Результаты занесем в Таблицу 1.

№	1	2	3	4	5
$\Delta P_{\text{спирт}}, \text{Па}$	70,595	70,595	70,595	72,200	68,991
№	6	7	8	9	10
$\Delta P_{\text{спирт}}, \text{Па}$	70,595	70,595	68,991	70,595	72,200

**Таблица 1.** максимальное давление  $\Delta P_{\text{спирт}}$  при пробулькивании пузырьков воздуха через спирт

$$\Delta P_{\text{спирт}} = (70,6 \pm 1,9) \text{ Па}$$

Пользуясь табличным значением коэффициента поверхностного натяжения спирта,

$$\sigma_{\text{спирт}} = 21,66 \text{ мН/м}$$

определим по формуле (1) диаметр иглы.

$$d_1 = (1,24 \pm 0,03) \text{ мм}$$

Сравним полученный результат с диаметром иглы, измеренным по микроскопу.

$$d_2 = (1,30 \pm 0,05) \text{ мм}$$

Результаты сходятся в пределах погрешности. Для дальнейших вычислений будем использовать диаметр, измеренный по микроскопу, то есть  $d_2$

Перенесем предварительно промытую и просушенную от спирта иглу в колбу с дистиллированной водой. Измерим максимальное давление  $P_1$  при пробулькивании пузырьков, когда игла лишь касается поверхности воды. Результаты занесем в Таблицу 2.

№	1	2	3	4	5
$P_1$ , Па	210,18	211,79	211,79	211,79	213,39

**Таблица 2.** Максимальное давление  $P_1$  при пробулькивании пузырьков, когда игла лишь касается поверхности воды.

Усредняя, получим

$$P_1 = (211,8 \pm 1,9) \text{ Па}$$

Измерьте расстояние между верхним концом иглы и любой неподвижной частью прибора  $h_1$

$$h_1 = (6,0 \pm 0,1) \text{ см}$$

Утопим иглу до предела и измерим максимальное давление  $P_2$  при пробулькивании пузырьков. Результаты занесем в Таблицу 3.

№	1	2	3	4	5
$P_2$ , Па	311,26	311,26	311,26	311,26	309,66

**Таблица 3.** Максимальное давление  $P_2$  при пробулькивании пузырьков, когда игла утоплена до предела.

Усредняя, получим

$$P_2 = (310,9 \pm 1,7) \text{ Па}$$

Также измерим расстояние  $h_2$  до неподвижной части установки.

$$h_2 = (7,3 \pm 0,1) \text{ см}$$

Плотность спирта в микроманометре при комнатной температуре и заданной концентрации:

$$\rho = 802,22 \text{ кг/м}^3$$

По разности давлений  $\Delta P = P_2 - P_1$  определим глубину погружения  $\Delta h_1$  иглы

$$\Delta h_1 = (1,236 \pm 0,013) \text{ см}$$

По разности  $h_1$  и  $h_2$  определим глубину погружения иглы  $\Delta h_2$

$$\Delta h_2 = (1,30 \pm 0,03) \text{ см}$$

Результаты почти совпадают в пределах погрешности. За основное значение примем  $\Delta h_2$ , так как это прямые измерения интересующей величины.

Снимите температурную зависимость  $\sigma(T)$  дистиллированной воды. Результаты занесем в Таблицу 4

$T_1, ^\circ C$	$P_1, \text{Па}$	$P_{1\text{cp}}, \text{Па}$	$T_2, ^\circ C$	$P_2, \text{Па}$	$P_{2\text{cp}}, \text{Па}$	$T_3, ^\circ C$	$P_3, \text{Па}$	$P_{3\text{cp}}, \text{Па}$
26,6	311,26	310,94	32,4	309,66	308,69	37,3	306,45	307,09
	311,26			308,05			306,45	
	311,26			308,05			308,05	
	311,26			308,05			308,05	
	309,66			309,66			306,45	
$T_4, ^\circ C$	$P_4, \text{Па}$	$P_{4\text{cp}}, \text{Па}$	$T_5, ^\circ C$	$P_5, \text{Па}$	$P_{5\text{cp}}, \text{Па}$	$T_6, ^\circ C$	$P_6, \text{Па}$	$P_{6\text{cp}}, \text{Па}$
42,3	303,24	304,20	47,2	301,63	301,63	52,2	298,43	298,75
	304,84			301,63			298,43	
	303,24			303,24			298,43	
	304,84			300,03			300,03	
	304,84			301,63			298,43	
$T_7, ^\circ C$	$P_7, \text{Па}$	$P_{7\text{cp}}, \text{Па}$						
57	295,22	294,90						
	293,61							
	296,82							
	295,22							
	293,61							

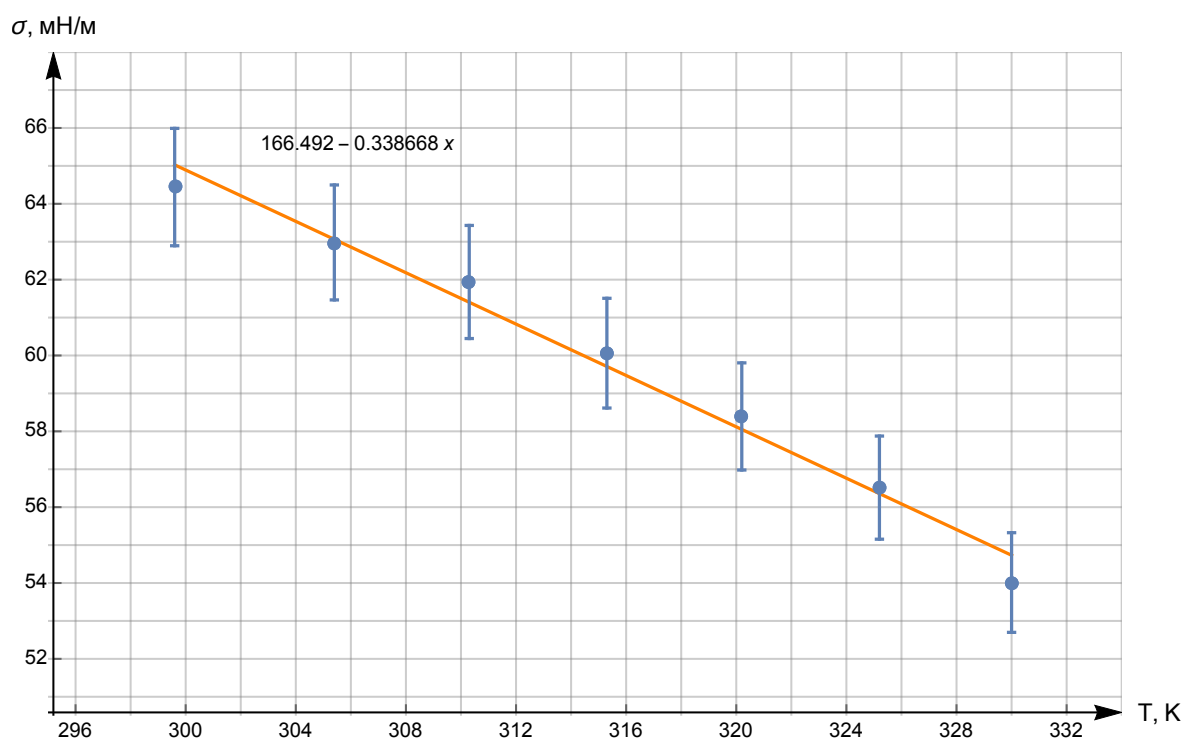
**Таблица 4.** Максимальное давление  $P_n$  при пробулькивании пузырьков, когда игла утоплена до предела при заданной температуре  $T_n$

По результатам Таблицы 4 вычислим значение поверхностного натяжения в каждой точке и результаты занесем в Таблицу 5

По результатам в Таблице 5 построим график зависимости коэффициента поверхностного натяжения  $\sigma$  от температуры  $T$  (Рис. 2)

$T, \text{K}$	$\sigma, \text{мН/м}$	$\sigma_\sigma, \text{мН/м}$
299,6	64,44	1,55
305,4	62,98	1,52
310,3	61,94	1,49
315,3	60,06	1,45
320,2	58,39	1,41
325,2	56,52	1,36
330,0	54,01	1,31

**Таблица 5.** Зависимость коэффициента поверхностного натяжения  $\sigma$  от температуры  $T$



**Рис. 2.** График зависимости коэффициента поверхностного натяжения  $\sigma$  от температуры  $T$

Определим по графику температурный коэффициент  $d\sigma/dT$

$$\frac{d\sigma}{dT} = (-0,34 \pm 0,02) \frac{\text{мН}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Также построим график зависимость теплоты образования единицы поверхности жидкости (Рис. 3)

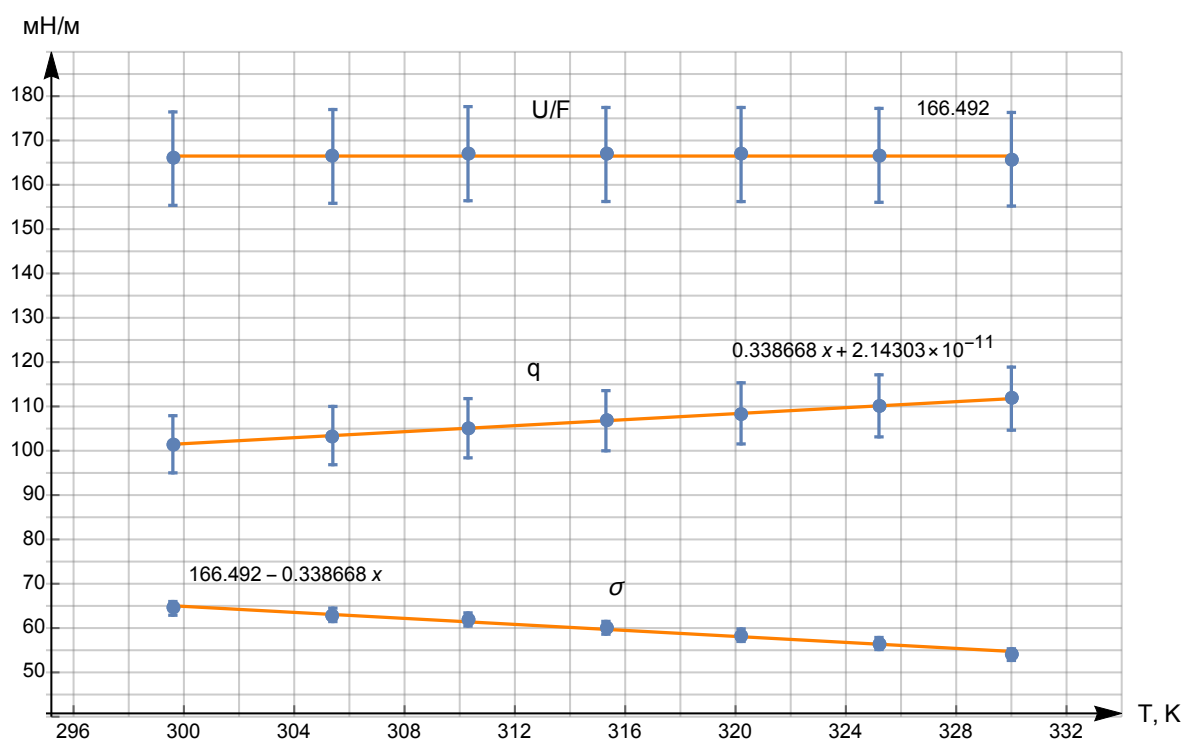
$$q = -T \frac{d\sigma}{dT}$$

и поверхностной энергии  $U$  единицы площади  $F$  от температуры (Рис. 3)

$$\frac{U}{F} = \left( \sigma - T \frac{d\sigma}{dT} \right)$$

$T, K$	$q, \text{мН/м}$	$\sigma_q, \text{мН/м}$	$U/F, \text{мН/м}$	$\sigma_{U/F}, \text{мН/м}$
299,60	101,46	6,45	165,91	10,54
305,40	103,43	6,57	166,41	10,58
310,30	105,09	6,68	167,03	10,62
315,30	106,78	6,79	166,84	10,61
320,20	108,44	6,90	166,83	10,61
325,20	110,13	7,00	166,65	10,59
330,00	111,76	7,11	165,77	10,55

**Таблица 6.** Зависимость теплоты образования единицы поверхности жидкости  $q$  и поверхностной энергии  $U$  единицы площади  $F$  от температуры  $T$



**Рис. 3.** График зависимости теплоты образования единицы поверхности жидкости  $q$ , поверхностной энергии  $U$  единицы площади  $F$ , коэффициента поверхностного натяжения  $\sigma$  от температуры  $T$

## 5 Обсуждение результатов и выводы

В работе была установлена температурная зависимость коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды (Рис. 2). По графику был определен температурный коэффициент  $d\sigma/dT$

$$\frac{d\sigma}{dT} = (-0,34 \pm 0,02) \frac{\text{мН}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Также была измерена полная поверхностная энергия и теплота, необходимая для изотермического образования единицы поверхности жидкости при различной температуре (Таблица 6, Рис. 3)