

## 2.5.1 Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости

Анна Назарчук Б02-109

### 1 Аннотация

В работе исследуется коэффициент поверхностного натяжения воды и его температурная зависимость с помощью прибора Ребиндера.

**Цель:** 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 Теоретические сведения

Из-за поверхностного натяжения возникают разные давления с разных сторон искривленной поверхности жидкости:

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

$\sigma$  - коэффициент поверхностного натяжения,  $r$  - радиус кривизны поверхности.

### 3 Экспериментальная установка и методика измерений

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1. Тестовая жидкость (этиловый спирт) наливается в сосуд, через пробку в него входит полая металлическая игла. При создании достаточно разреженного воздуха в колбе пузырьки воздуха начинают пробужливаться, поверхностное натяжение измеряется по величине разрежения. Разрежение создается с помощью аспиратора, разность давлений измеряется спиртовым микроманометром.

Для стабилизации температуры через рубашку колбы с исследуемой жидкостью прогоняется вода из термостата. Из-за большой теплопроводности трубки температура в разных частях трубки заметно различна и ввиду теплового расширения поднимается уровень жидкости при изменении температуры. Поэтому при температурном измерении кончик иглы опускают до самого дна сосуда, тогда:

$$\Delta P = P - \rho gh \quad (2)$$

$\rho$  - плотность жидкости,  $h$  - высота погружения иглы.

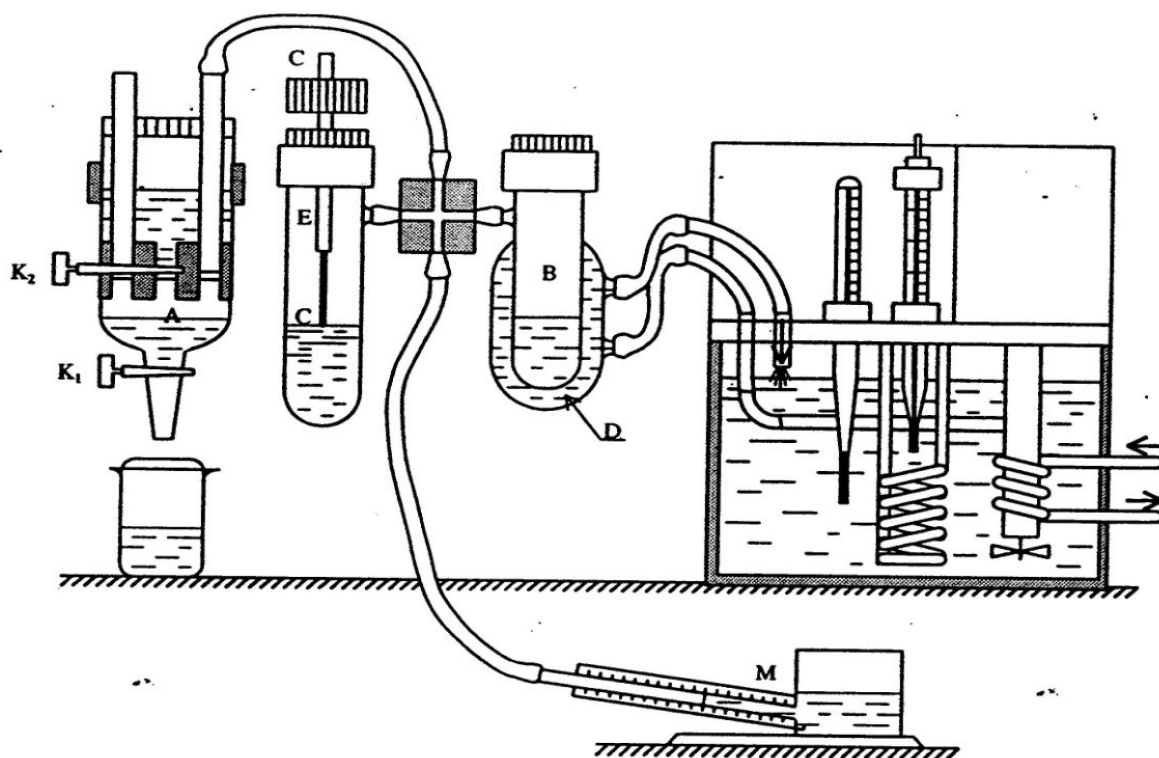


Рис. 1: Схема установки

## 4 Измерения и обработка данных

### Измерение радиуса иглы

Измерение радиусы иглы проводится двумя различными способами: с помощью коэффициента поверхностного натяжения спирта и непосредственно на микроскопе.

Таблица 1: Показания микроманометра при измерениях на спирте

h	35	35	35	35	35	35.5	35.5	35.5
---	----	----	----	----	----	------	------	------

Данные показаний на спирте в таблице 1. Из них получается значение радиуса иглы (табл. 2)

Таблица 2: Радиус иглы, измеренный через эталонную жидкость

$r, 10^{-3} \text{ м}$	$\sigma_r, 10^{-3} \text{ М}$	$\varepsilon, \%$
0.66	0.007	1.1

При измерении на микроскопе получается радиус иглы, равный:

$$r = (0.6 \pm 0.003) \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (3)$$

В дальнейшем примем  $r$ , равный измеренному на эталонной жидкости, так как результаты измерений близки друг к другу.

## Измерения глубины погружения

Сравним измеренную с помощью линейки высоту погружения с результатами при погружении иглы в воду при комнатной температуре. Из первых двух столбцов таблицы с данными (4) получим и данных линейки, что:

Таблица 3: Высота погружения

$h_{\Delta P}, 10^{-3} \text{ м}$	$\sigma_h, 10^{-3} \text{ м}$	$\varepsilon, \%$	$h_{\text{линейка}} 10^{-3} \text{ м}$
6.27	0.13	2.07	6

## Измерения коэффициента поверхностного натяжения воды при разных температурах

Результаты измерений представлены в таблице 4.

Таблица 4: Показания микроманометра при расположении иглы на глубине и поверхности при разных температурах

t = 23 ° C		t = 30 ° C		t = 35 ° C		t = 40 ° C	
$h_{\text{глубина}}$	$h_{\text{пов-ть}}$	$h_{\text{глубина}}$	$h_{\text{пов-ть}}$	$h_{\text{глубина}}$	$h_{\text{пов-ть}}$	$h_{\text{глубина}}$	$h_{\text{пов-ть}}$
144	111.5	141	107.5	138.5	107.5	137.5	107
143.5	110.5	141	107.5	138.5	107.5	137.5	107
143.5	111	141	107.5	138.5	107.5	137.5	107
144	111.5	140.5	107.5	138.5	107.5	137.5	107
143.5	110.5	140.5	107.5	138.5	107.5	137.5	106.5
144	110.5	140.5	107.5	138.5	107.5	137	106.5
143.5	110.5	140.5	108	138.5	107.5	137	106.5
143.5	110.5	140.5	107	138.5	107.5	137	106.5
t = 45 ° C		t = 50 ° C		t = 55 ° C		t = 60 ° C	
$h_{\text{глубина}}$	$h_{\text{пов-ть}}$	$h_{\text{глубина}}$	$h_{\text{пов-ть}}$	$h_{\text{глубина}}$	$h_{\text{пов-ть}}$	$h_{\text{глубина}}$	$h_{\text{пов-ть}}$
136.5	106	135.5	104.5	134	103.5	133.5	102.5
136.5	106	135.5	104.5	134.5	103.5	133.5	102.5
136.5	106	135	103.5	134.5	103.5	133.5	102.5
136.5	106	135	103.5	135	104.5	134	103
136.5	106.5	135	104	135	104	134	103
136.5	106.5	135	104	135	104	134	103.5
136	106.5	135	104	135	104	134	103.5
135.5	106.5	135	104	135	104.5	133.5	103.5

После обработки с известным радиусом иглы и перепадом высот, получим значения коэффициента поверхностного натяжения, представим в виде графика (2) Значения коэффициента натяжения при измерениях на глубине сосуда близки к табличным, их и будем учитывать при дальнейших расчетах. Несовпадение с результатами измерений на поверхности жидкости объясняется теплопроводностью металла.

Из аппроксимации графика найдем  $\frac{d\sigma}{dt}$ :

Используя полученные результаты, построим графики зависимости:

1. теплоты образования единицы поверхности жидкости  $q = -T \cdot \frac{d\sigma}{dt}$  (рис. 3)
2. поверхностной энергии  $U$  единицы площади  $F$ :  $U/F = (\sigma - T \cdot \frac{d\sigma}{dt})$  (рис. 4). График выглядит как случайно разбросанные точки, однако его аппроксимация близка к

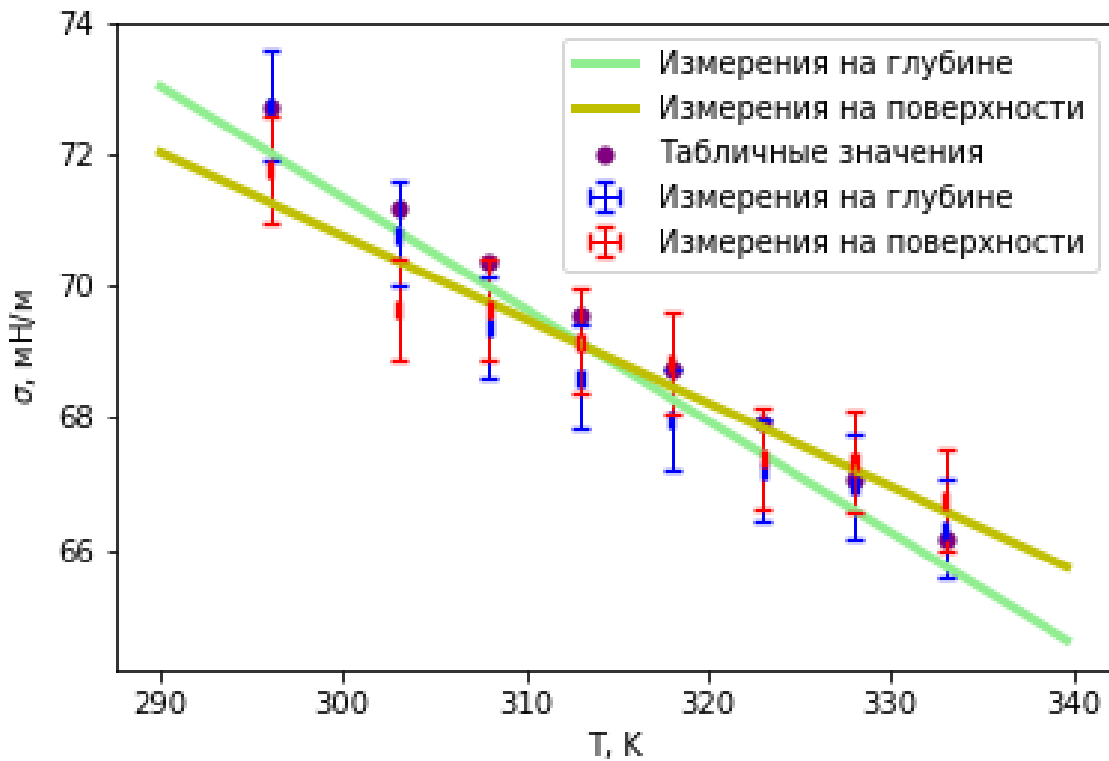


Рис. 2: Зависимость коэффициента поверхностного натяжения воды от температуры

Таблица 5: Зависимость коэффициента поверхностного натяжения воды от температуры

$\frac{d\sigma}{dt}, 10^{-3} \frac{\text{мН}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$\sigma_{\sigma}, 10^{-3} \frac{\text{мН}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$\varepsilon, \%$
-0.17	0.02	9.6

горизонтالي, что подтверждается теорией. Разброс точек возникает из-за неидеальности полученных значений.

## 5 Выводы

1. Измерены коэффициенты поверхностного натяжения при разных температур, пронаблюдалась близость полученных результатов к табличным значениям.
2. Получена температурная зависимость коэффициента поверхностного натяжения воды от температуры.  $\frac{d\sigma}{dt} = -0.17 \pm 0.02, 10^{-3} \frac{\text{мН}}{\text{м} \cdot \text{К}}$  при теоретическом значении  $\frac{d\sigma}{dt} = -0.15, 10^{-3} \frac{\text{мН}}{\text{м} \cdot \text{К}}$
3. Вычислены зависимости теплоты образования единицы поверхности жидкости от температуры и поверхностной энергии единицы площади от температуры, постоянство второй из них подтверждается теоретически.

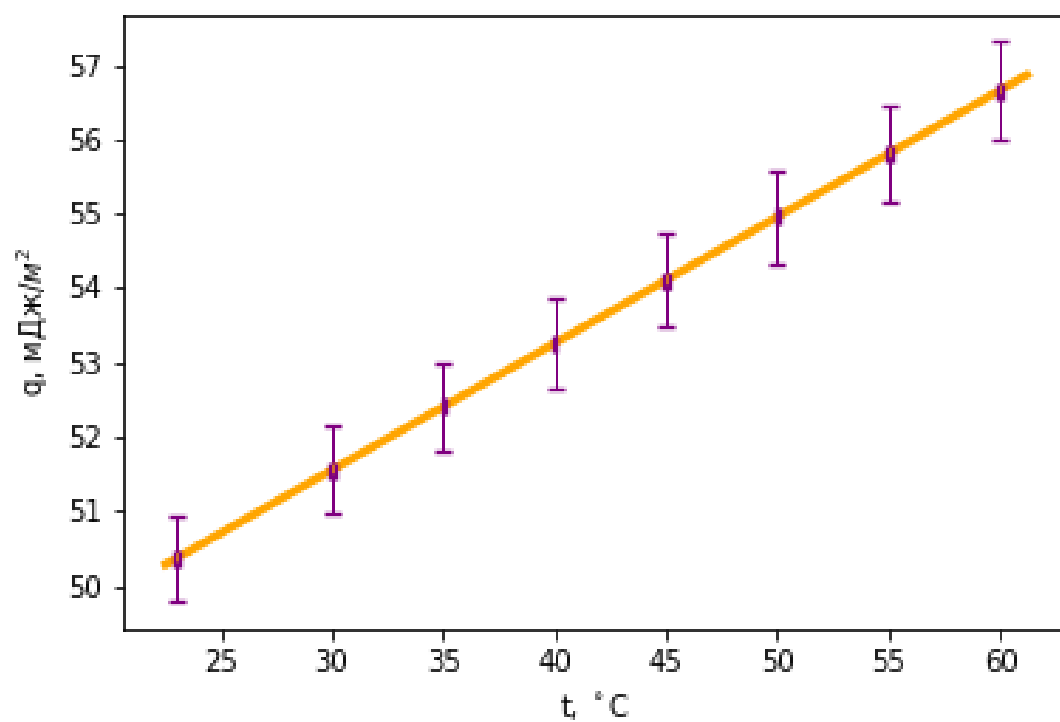


Рис. 3: Зависимость теплоты образования единицы поверхности жидкости от температуры

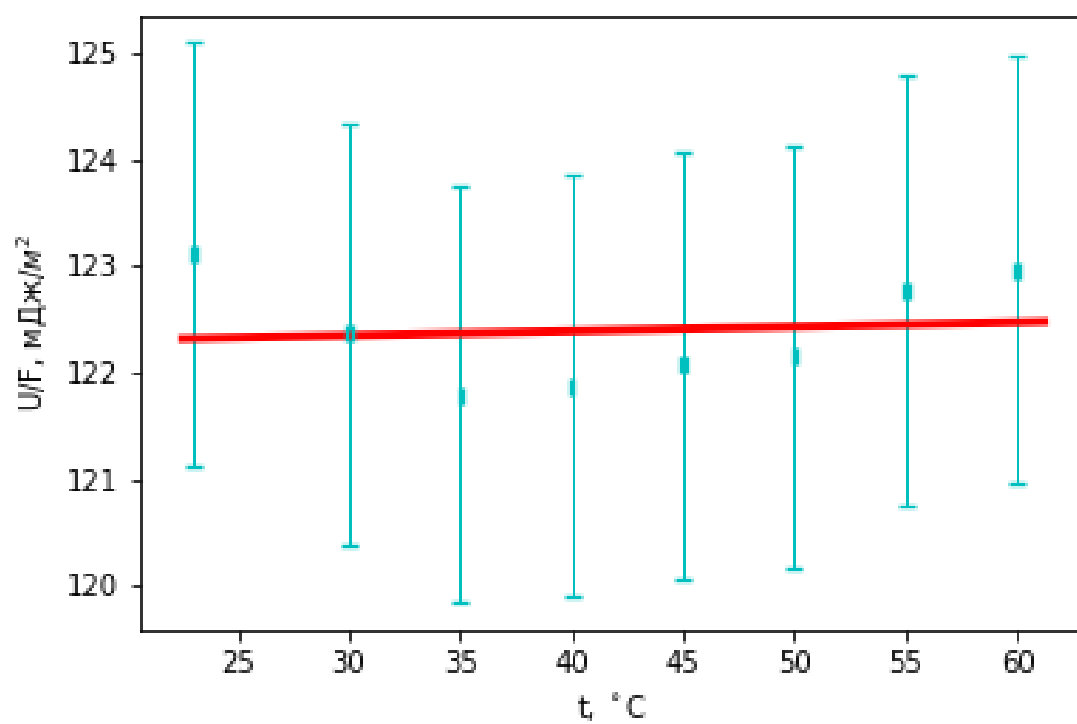


Рис. 4: Зависимость поверхностной энергии единицы площади от температуры