

## Лабораторная работа 2.5.1

### "Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости"

Белов Михаил Б01-302

28 марта 2024 г.

---

#### Аннотация:

##### Цель лабораторной работы:

Измерение температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды с использованием известного коэффициента поверхностного натяжения спирта; 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:

$$\delta P = P_{in} - P_{out} = \frac{2\sigma}{r} \quad (1),$$

где  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения,  $P_{in}$  и  $P_{out}$  – 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:

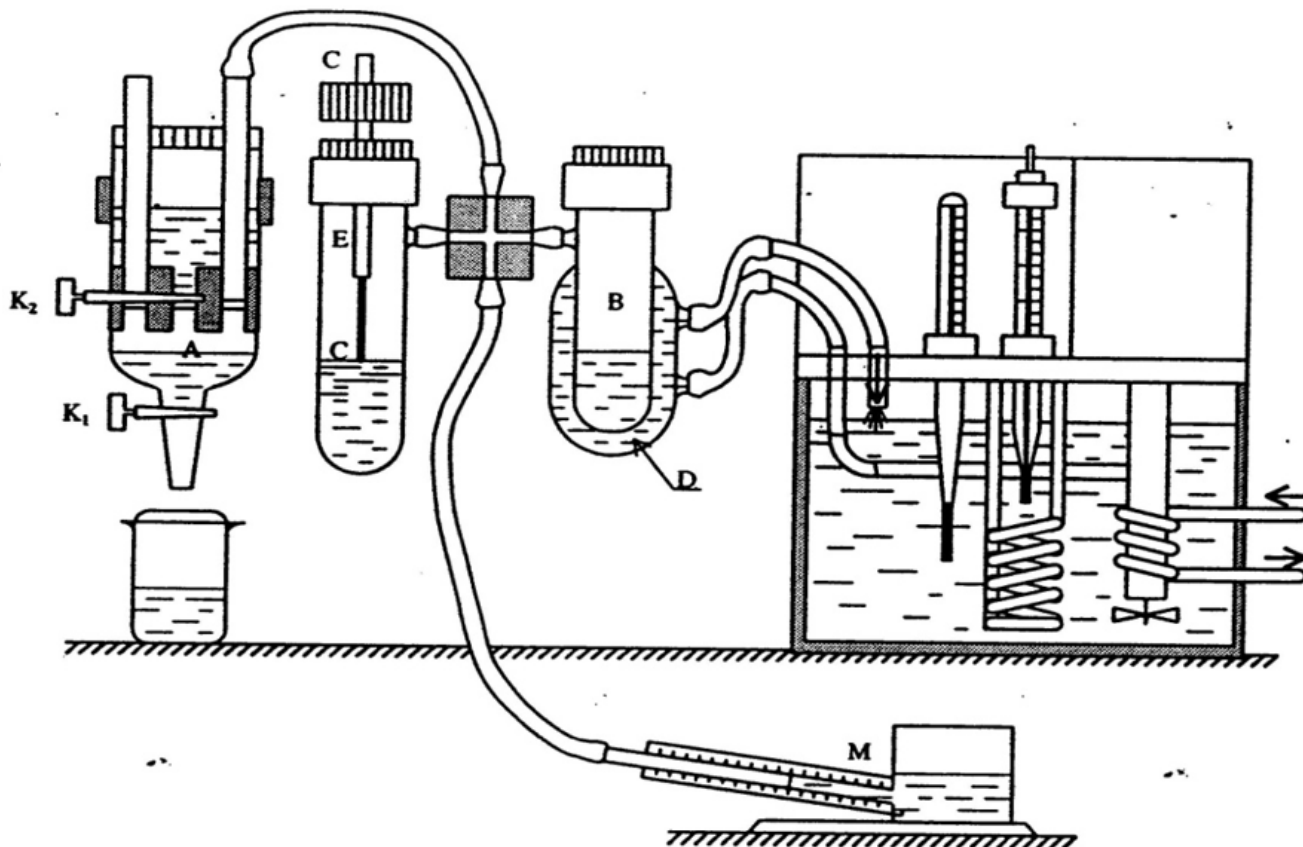
Исследуемая жидкость наливается в сосуд В. Тестовая жидкость наливается в сосуд Е. При измерениях колбы герметично закрываются пробками. Через одну из двух пробок проходит полая металлическая игла С. Этой пробкой закрывается сосуд, в котором проводятся измерения. Верхний конец иглы открыт в атмосферу, а нижний погружен в жидкость. Другой сосуд герметично закрывается второй пробкой. При создании достаточного разрежения воздуха в колбе с иглой пузырьки воздуха начинают пробуживать 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 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 (устройство микроманометра описано в Приложении). 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  $1 = \Delta P'$ , 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  $\rho gh = 2 - 1$ . Во-вторых, при измерениях 1 и 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.



## Результаты измерений:

Пользуясь табличным значением коэффициента поверхностного натяжения поределим диаметр сечения иглы:

$\Delta P$ , деления	$\Delta P$ , Па	$r$ , м
50	98.1	0.000464

Исходя из разброса результатов, случайная погрешность:

$$\delta(\Delta P) = 1.6$$

$$\delta r = 0.000014$$

Перенесём 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. И  $P_2$  когда игла находится на глубине  $\Delta h$ .

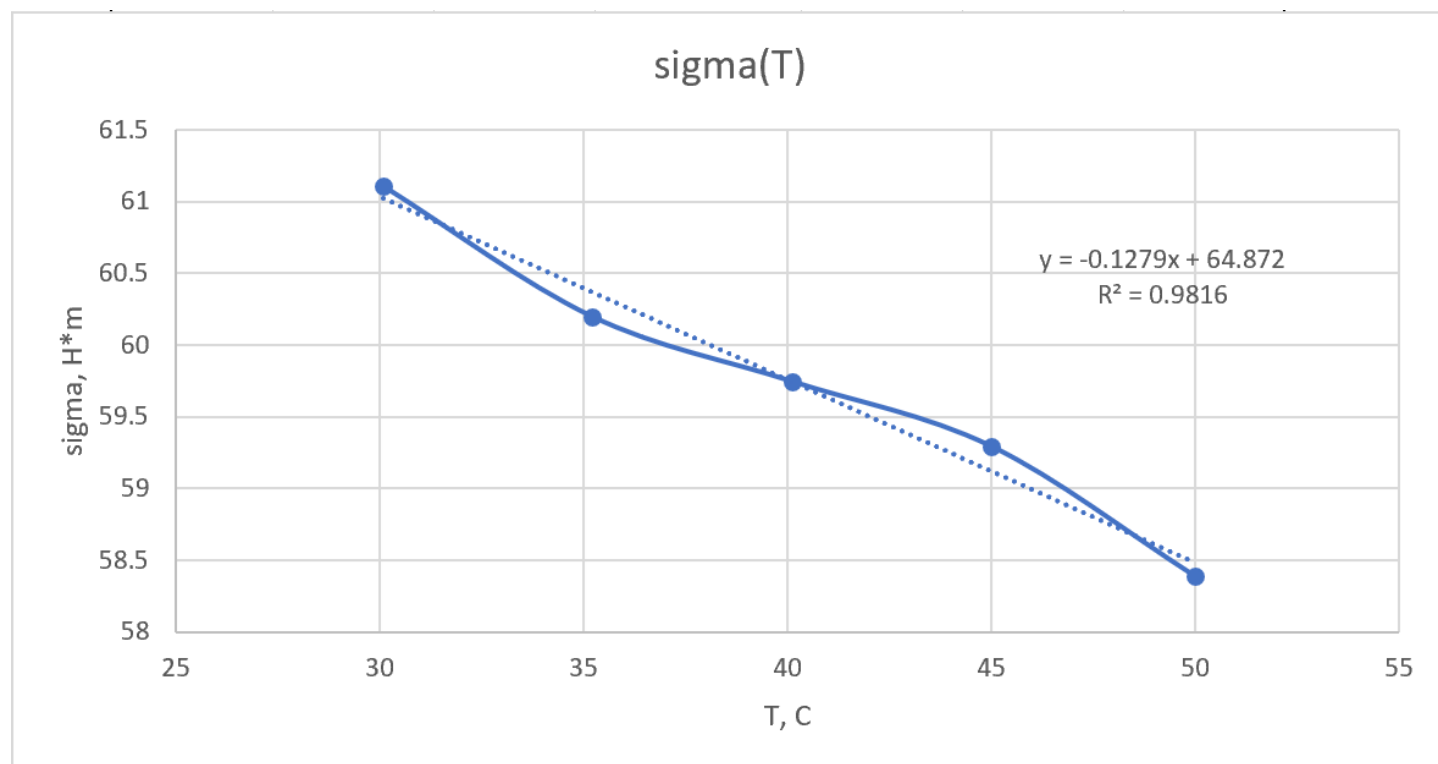
$\Delta P_1$ , Па	$\Delta P_2$ , Па	$h_1$ , мм	$h_2$ , мм	$\Delta h$ , мм	$\Delta P$ , Па
264.83	421.83	2.2	0.64	1.56	157

Отсюда видно, что значения, измеренные вручную практически совпадают со значениями измеренными исходя из разницы давлений ( $\Delta h_P = 1.58$ ).

Снимим температурную зависимость  $\sigma(T)$  дистиллированной воды:

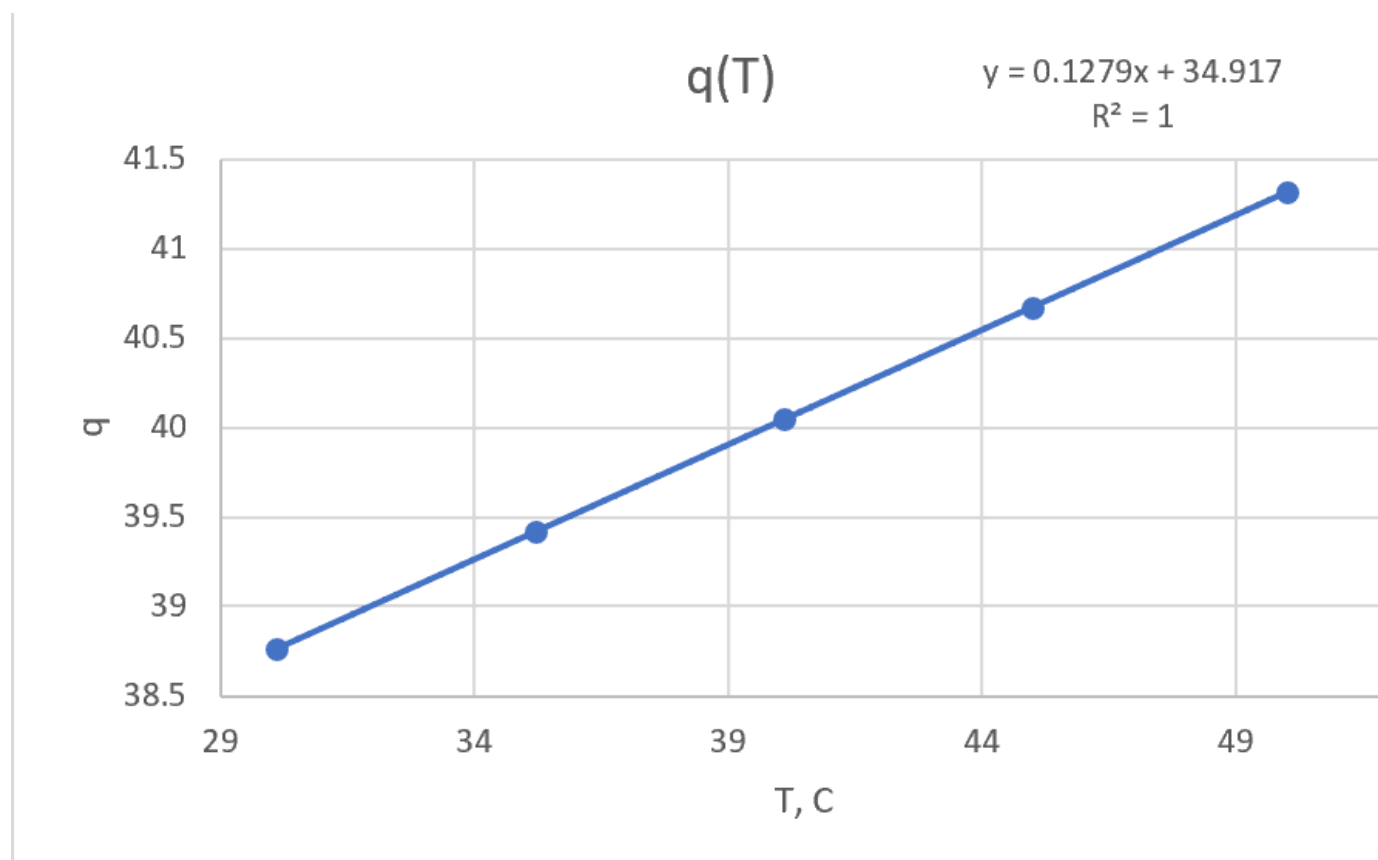
T, C	P, деления	P, Па	$\sigma$ , Н*м	$\delta\sigma$
30.1	235	461.07	61	2
35.2	233	457.146	60	2
40.1	230	451.26	59	2
45	231	453.222	59	2
50	229	449.298	58	2

Построим график зависимости  $\sigma(T)$  и определим по графику температурный коэффициент  $\frac{d\sigma}{dT}$ . Оценим погрешность по МНК.

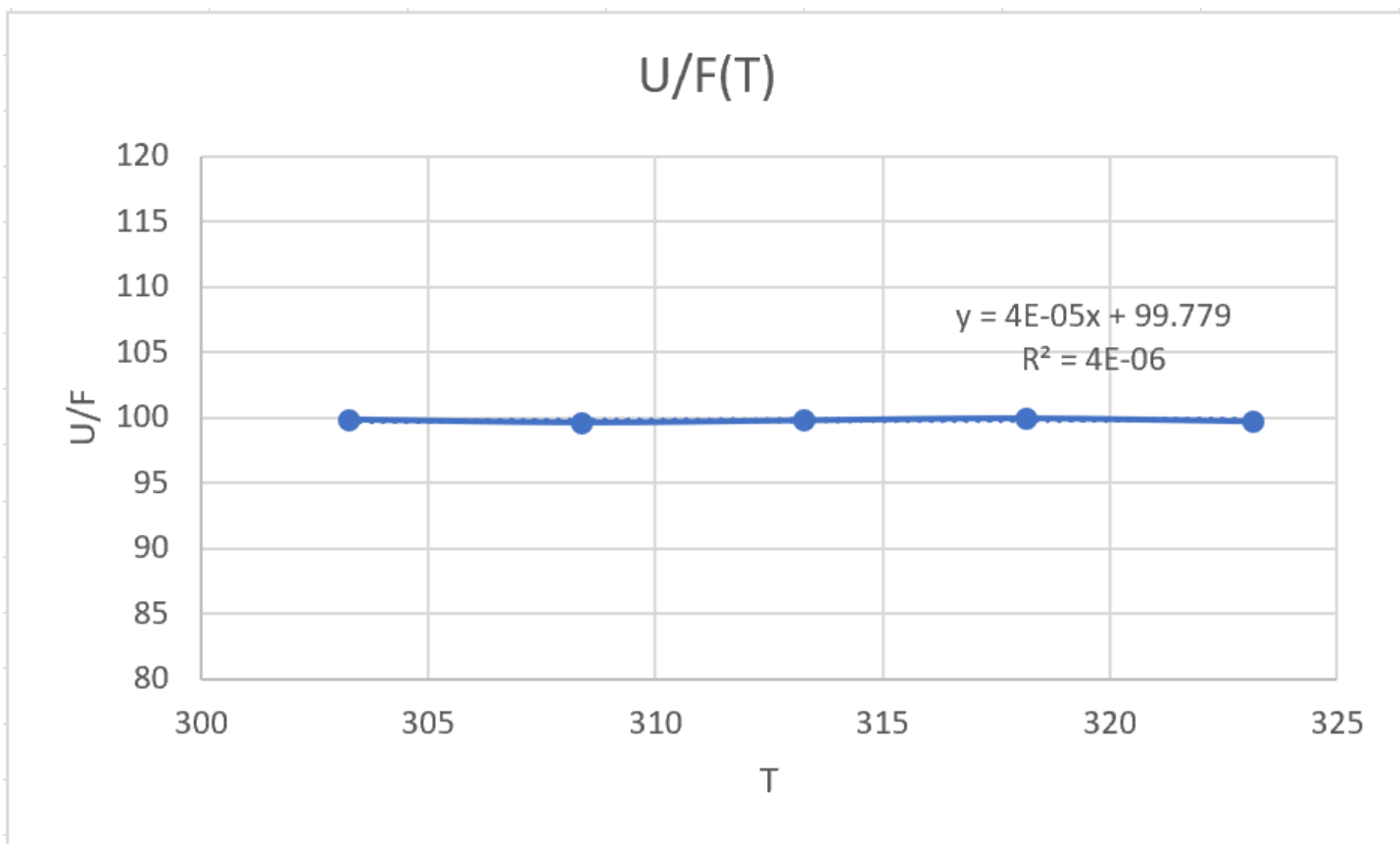


$$\frac{d\sigma}{dT} = 0.13 \pm 0.01$$

Построим зависимость от температуры теплоты образования единицы поверхности жидкости  $q = -T \cdot \frac{d}{dT}$ .



Построим зависимость от температуры поверхностной энергии  $U$  единицы площади  $F$ :  $\frac{U}{F} = (-T \cdot \frac{d}{dT})$ .



### Обсуждение результатов и вывод:

Таким образом мы измерили коэффициент поверхностного натяжения дистиллированной воды и его зависимость от температуры. Получившиеся значения отличаются от табличных приблизительно на 15%, однако скорость уменьшения коэффициента натяжения при увеличении температуры очень близка к табличной, поэтому получившуюся разницу можно списать на загрязнения воды.

Также мы измерили зависимость теплоты образования единицы поверхности жидкости и поверхностной энергии от температуры.