

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2.5.1

**Измерение коэффициента  
поверхностного натяжения жидкости**

выполнили студенты группы Б03-302

Танов Константин

Долгопрудный, 2024 г.

## 1 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.

## 2 Оборудование:

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

## 3 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:

$$\Delta P = P_{\text{внутри}} - P_{\text{снаружи}} \quad (1)$$

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.

## 4 Экспериментальная установка

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 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 разряжения воздуха

в колбе с иглой пузырьки воздуха начинают пробулькивать через жидкость. Поверхностное натяжение можно определить по величине разряжения  $\Delta P$  (1), необходимого для прохождения пузырьков (при известном радиусе). Разряжение 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. Разряжение воздуха создается в нижней полости при открывании крана К1, когда вода вытекает из неё по каплям. В колбах Е и С, соединённых трубками с нижней полостью аспиратора, создается такое же пониженное давление. Разность давлений в полостях с разряженным воздухом и атмосферой измеряется спиртовым микроманометром.

Для стабилизации температуры исследуемой жидкости через рубашку D колбы В непрерывно прогоняется вода из термостата.

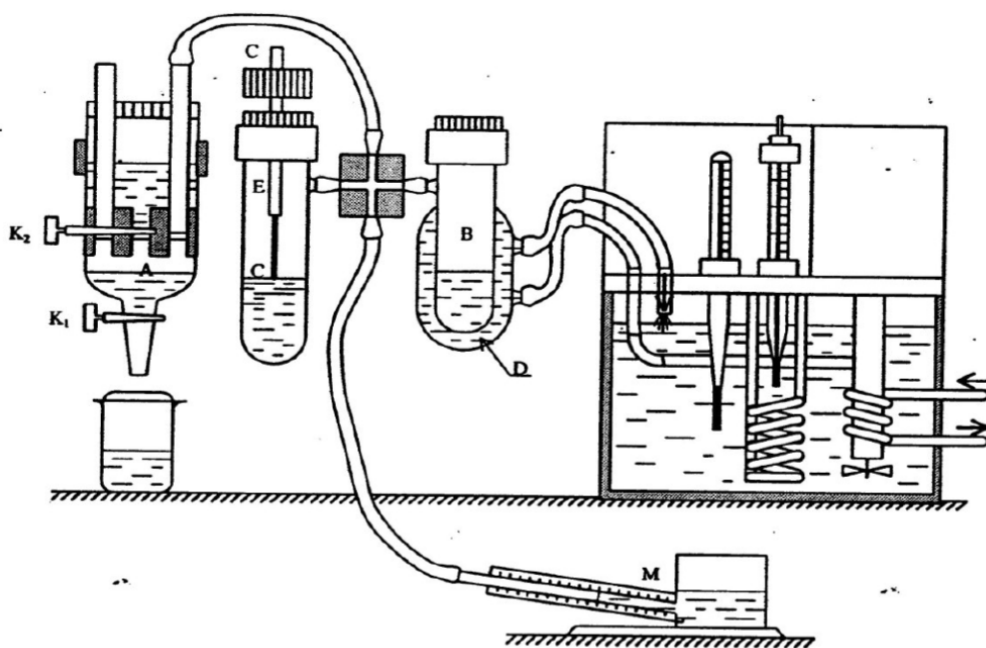


Рис. 1: Схема установки

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. Пусть давление в полости Е –  $P_{\text{разр}}$ . Тогда давление измеряемое микроманометром  $P = P_{\text{атм}} - P_{\text{разр}}$ . В первом случае это и будет давление Лапласа, а во втором, когда кончик иглы будет погружен, необходимо еще будет вычесть значение  $\rho gh$ . То есть получается в первом случае:  $\Delta P_1 = P_1$ , а в остальных:  $\Delta P_2 = P_2 - \rho gh$ , где  $P_i$  – давление, измеренное микроманометром. 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, из-за несжимаемости жидкости можно положить  $\Delta P_1 = \Delta P_2$  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.

## 5 Ход работы

1. Проверим герметичность установки. Для этого заполним аспиратор водой. Чистую сухую иглу установим в сосуд со спиртом так, чтобы кончик иглы лишь касался поверхности спирта. Плотнo закроем обе колбы В и Е пробками. Откроем кран К1 аспиратора и добьемся пробулькивания пузырьков воздуха в колбе. Замерим показания микроманометра. Получилось:

$$\Delta P = 43 \text{ мм.вод.ст} = 84.28 \text{ Па}$$

Закроем кран К1. Наблюдаем за показаниями манометра: при отсутствии течи в установке столбик спирта в манометре будет неподвижен.

2. Убедившись в герметичности системы, начнем измерения. Откроем кран К1. Подберем частоту падения капель из аспиратора примерно 1 капля в 5 секунд так, чтобы максимальное давление манометра не зависело от этой частоты.
3. Измерим максимальное давление  $\Delta P_{\text{спирт}}$  при пробулькивании пузырьков воздуха через спирт. Пользуясь табличным значением коэффициента поверхностного натяжения спирта при температуре  $T = 20^\circ\text{C}$ , определим по формуле (1) диаметр иглы. Сравните полученный результат с диамет-

ром иглы, измеренным по микроскопу.

$$d = \frac{4\sigma}{\Delta P_{\text{спирт}}} = 1.08 \text{ мм}$$

Это значение совпадает с результатом измерения, полученного на микроскопе:  $d = 1 \pm 0.05$  мм в пределах двух погрешностей.

4. 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 при температуре  $T = 23.5^\circ\text{C}$ . Аспиратор должен быть предварительно заполнен водой почти доверху. Отрегулируем скорость поднятия уровня спирта в манометре и сохраняем её в течение всех экспериментов. Измерим расстояние между верхним концом иглы и любой неподвижной частью прибора  $h_1$ . Получим:

$$P_1 = 137 \text{ мм.вод.ст}; h_1 = 25 \text{ мм}$$

5. Утопим иглу до предела (между концом иглы и дном необходимо оставить небольшой зазор, чтобы образующийся пузырёк не касался дна). Измерим  $h_2$  (как в пункте 4). Получилось:

$$P_2 = 219 \text{ мм.вод.ст}; h_1 = 9 \text{ мм}$$

Измерим максимальное давление в пузырьках  $P_2$ . По разности давлений  $P_2 - P_1$  определим глубину погружения  $\Delta h$  иглы:

$$\Delta h = \frac{\Delta P}{\rho g} = 16.4 \text{ мм}$$

и сравним ее с  $\Delta h = h_2 - h_1 = 16 \pm 0.5$  мм. Видно, что полученные значения совпадают в пределах погрешностей.

6. Снимим температурную зависимость  $\sigma(T)$  дистиллированной воды, учитывая значение  $\rho g h = 160.7$  Па. Для этого включим термостат и подождём, пока нужная температура не стабилизируется. После этого проведем измерения давления.

$T, ^\circ\text{C}$	23.5	28.1	33	38.1	43.1	48	52.9	58
$P, \text{ мм.вод.ст}$	219	218	218	216	215	214	211	200
$\Delta P, \text{ Па}$	268.54	266.58	266.58	262.66	260.7	258.74	252.86	250.90

7. Оценим погрешность давления и температуры. Присутствует только инструментальная погрешность, поэтому:

$$\sigma_{\Delta P} = 2 \text{ Па}; \sigma_{\Delta T} = 0.1^\circ\text{C}$$

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

$$\sigma = \frac{\Delta P \cdot d}{4}$$

Получилось:

$T, ^\circ\text{C}$	23.5	28.1	33	38.1	43.1	48	52.9	58
$\sigma(T), \text{ Н/м}$	72.51	71.98	71.98	70.92	70.39	69.86	68.27	67.74

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

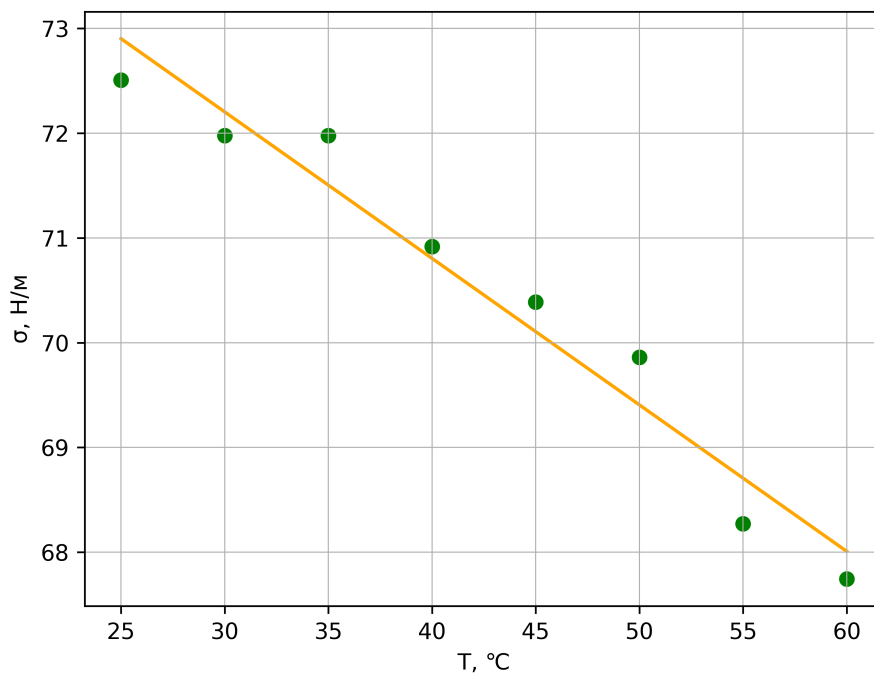


Рис. 2: График зависимости поверхностного натяжения от температуры

Определим значение температурного коэффициента по формуле:

$$\frac{d\sigma}{dT} = \frac{\langle \sigma T \rangle - \langle T \rangle \langle \sigma \rangle}{\langle T^2 \rangle - \langle T \rangle^2}$$

А погрешность этой величины по формуле:

$$\sigma_{\text{угл}} \approx \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle \sigma^2 \rangle - \langle \sigma \rangle^2}{\langle T^2 \rangle - \langle T \rangle^2} - \left( \frac{d\sigma}{dT} \right)^2}$$

Получилось, что:

$$\frac{d\sigma}{dT} \approx 2.16 \pm 0.38 \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

9. На другом графике построим зависимость от температуры

а) теплоты образования единицы поверхности жидкости:

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

б) поверхностной энергии U единицы площади F:

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

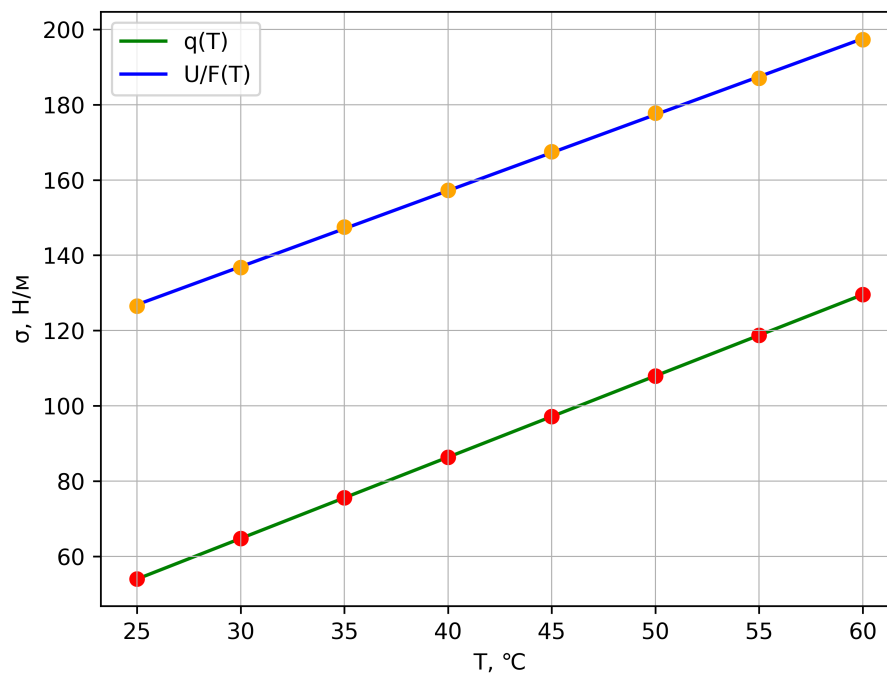


Рис. 3: График зависимостей (а) и (б)