
Лабораторная работа №2.5.1
Измерение коэффициента
поверхностного натяжения жидкости
Мещеряков Всеволод, Б02-001, 26.03.2021

Введение

Цель этой работы состоит в измерении температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды с использованием известного коэффициента поверхностного натяжения спирта. Для этого используются прибор Ребиндера с термостатом и микроманометром и рабочие сосуды.

Согласно формуле Лапласа, избыточное давление внутри жидкости, создаваемое пузырьком воздуха в ней, определяется так:

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{r}. \quad (1)$$

В формуле (1) σ - коэффициент поверхностного натяжения жидкости, ΔP - избыточное давление, r - радиус кривизны поверхности раздела (в нашем случае это радиус пузырька). В работе измеряется разность давлений при разных температурах, что позволяет изучить зависимость коэффициента от нее.

Экспериментальная установка

Исследуемая жидкость находится в колбе В. Тестовая жидкость (в нашем случае 96% спирт) в колбе Е. В ходе работы обе они плотно закрыты, чем изолированы от внешней среды. В одну из них (в зависимости от предмета изучения) вставлена игла С, один конец которой открыт в атмосферу, а другой погружен в жидкость. При достаточном разрежении воздух из иглы пробулькивается через жидкость, что позволяет фиксировать разность давлений.

Разрежение же достигается с помощью аспиратора А. Кран К2 разделяет его на две части. Им можно контролировать количество воды (при

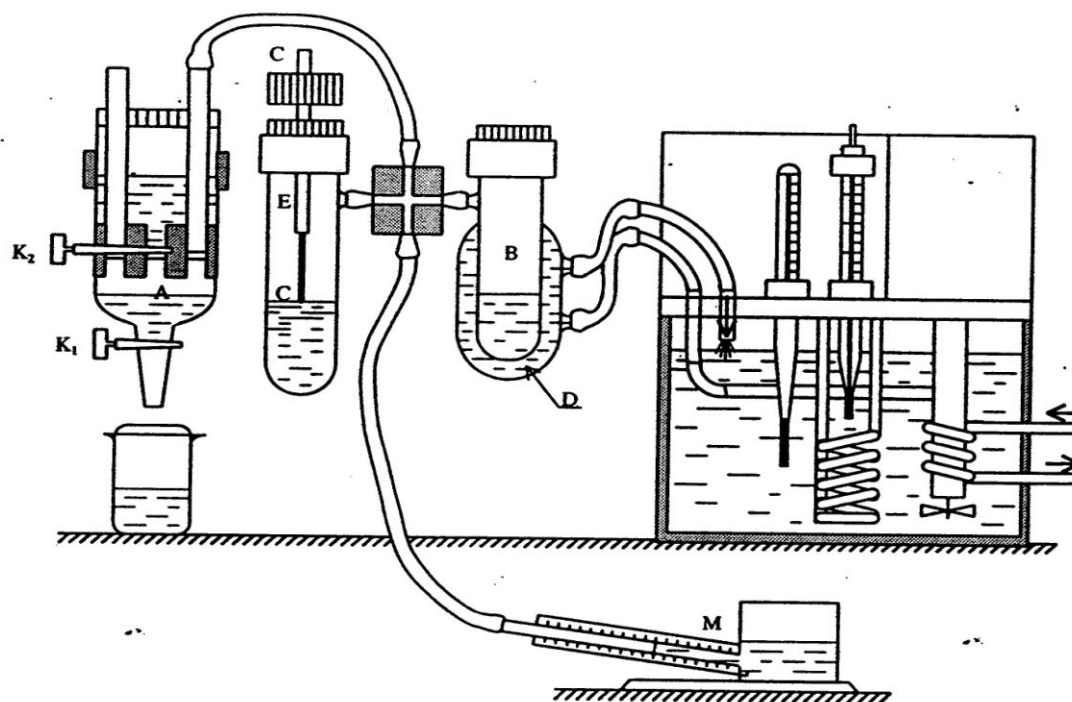


Рис. 1 — Схема установки

необходимости доливать её). Открытие же крана К1 выпускает воду из полости А, что при закрытом К2 начинает разряжать всю установку. В работе используются квазистатические приближения, поэтому, чтобы оставить их верными, вода выпускается малыми каплями не чаще, чем раз в 5 секунд.

Давление в системе измеряется микроманометром М. Его показания переводятся в Паскали так:

$$P = C \cdot h \frac{\gamma_{\text{сп.залит}}}{\gamma_{\text{сп.пр}}} \cdot K \cdot 9,81. \quad (2)$$

В формуле (2) Р - давление в системе, Паскали; С - поправочный множитель, определяемый наклоном манометра; $\gamma_{\text{сп.залит}}$ - плотность 96 % спирта, залитого в манометр; $\gamma_{\text{сп.пр}}$ - плотность спирта, указанная на приборе. Для используемого в работе эти константы равны:

$$K = 0,2, \quad C = 1,00, \quad \gamma_{\text{сп.залит}} = 0,8075 \text{ (г/см}^3\text{)}, \quad \gamma_{\text{сп.пр}} = 0,8095 \text{ (г/см}^3\text{)}.$$

При снятии температурной зависимости игла будет погружена на неко-

торую глубину, поэтому манометр будет показывать давление с учетом гидростатического давления столба жидкости.

Ход работы

Опустим иглу так, чтобы она только касалась поверхности тестовой жидкости (96% спирт). Откроем кран К1 так, чтобы капли падали с описанной ранее частотой. Замерим максимальное давление по формуле(2) при пробулькивании пузырьков воздуха. Из табличных значений возьмем коэффициент поверхностного натяжения для тестовой жидкости, откуда по формуле (1) определим диаметр иглы, считая, что пузырьки выходят такого же размера:

$$\Delta P_{max} = (470 \pm 5) \cdot 10^{-1}(\text{дел}) \xrightarrow{(2)} \Delta P_{max} = (919 \pm 9) \cdot 10^{-1}(\text{Па})$$

$$\xrightarrow{(1)} r_{\text{Л}} = \frac{2\sigma}{\Delta P_{max}} = (479 \pm 5) \cdot 10^{-6}(\text{м}).$$

Прямые измерения микроскопом же дают $r_{\text{М}} = (475 \pm 3) \cdot 10^{-6}(\text{м})$, что и берется за истинное. Различие с Лапласовской формулой объясняется тем, что пузыри выходят размером не строго равным размеру иглы.

Перенесем иглу в сосуд с дистиллированной водой. Измерим максимальное давление P_1 пробулькивания, когда игла лишь касается поверхности воды. $P_1 = (1400 \pm 5) \cdot 10^{-1}(\text{дел}) \xrightarrow{(2)} P_1 = (2740 \pm 9) \cdot 10^{-1}(\text{Па})$. Также измерим высоту, на которую опустился верхний конец иглы $h_0 = (235 \pm 5) \cdot 10^{-2}(\text{см})$.

Погрузим иглу максимально глубоко и измерим глубину погружения. Её верхний конец оказывается на высоте $h_1 = (100 \pm 5) \cdot 10^{-2}(\text{см})$, из чего делаем вывод, что игла находится на глубине $h = h_0 - h_1 = (135 \pm 10) \cdot 10^{-2}(\text{см})$.

Начнем снимать температурную зависимость $\sigma(T)$. Результаты измерений приведены в таблице 1 приложения. Для каждого максимального давления вычислим соответствующий σ и по этим данным построим график $\sigma(T)$ - рисунок 3 приложения. Из него определим угол наклона полученной прямой:

$$\frac{d\sigma(T)}{dT} = -(173 \pm 11) \cdot 10^{-6} \left(\frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right).$$

Построим графики $q(T) = -T \cdot \frac{d\sigma}{dT}$ - зависимость теплоты образования единицы поверхности от температуры (рис.4 приложения) и $\frac{U}{F}(T) = \sigma(T) - T \cdot \frac{d\sigma}{dT}$ - зависимость поверхностной энергии U единицы площади F от температуры (рис.5 приложения).

Вывод

В этой работе была получена температурная зависимость коэффициента поверхностного натяжения 96% спирта (см. стр. 4). На опыте было показано, что теоретическое приближение этой зависимости к линейной выполняется. Также график на рисунке 5 приложения показывает, что внутренняя энергия поверхности не зависит от температуры. Отклонения от табличных значений вызваны многими факторами: нечистотой изучаемого раствора спирта, различием в размерах пузырьков и иглы, неидеальностью работы манометра.

Приложение

Таблица 1 — Максимальное давление при разных температурах и соответствующий коэффициент поверхностного натяжения

| $T, ^\circ C$ | $\sigma_T, ^\circ C$ | $P_{max}, \text{Па}$ | $\sigma_p, \text{Па}$ | $\sigma(T) \cdot 10^{-7}, \text{Н/м}$ | $\sigma_\sigma \cdot 10^{-7}, \text{Н/м}$ |
|---------------|----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------------------|---|
| 25,2 | 0,05 | 269,2 | 10,05 | 639 | 4 |
| 30,2 | 0,05 | 264,8 | 10,05 | 629 | 4 |
| 35,2 | 0,05 | 261,8 | 10,05 | 622 | 4 |
| 40,1 | 0,05 | 260,8 | 10,05 | 619 | 4 |
| 45,1 | 0,05 | 253,9 | 10,05 | 603 | 4 |
| 50,1 | 0,05 | 250,6 | 10,05 | 595 | 4 |
| 55,1 | 0,05 | 247,6 | 10,05 | 588 | 4 |

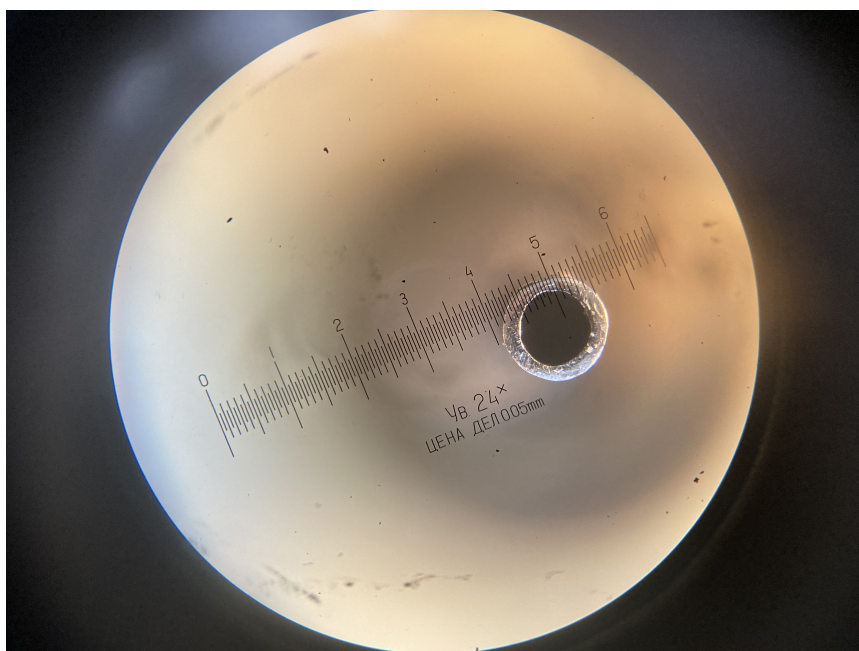


Рис. 2 — Фотография иглы в микроскопе

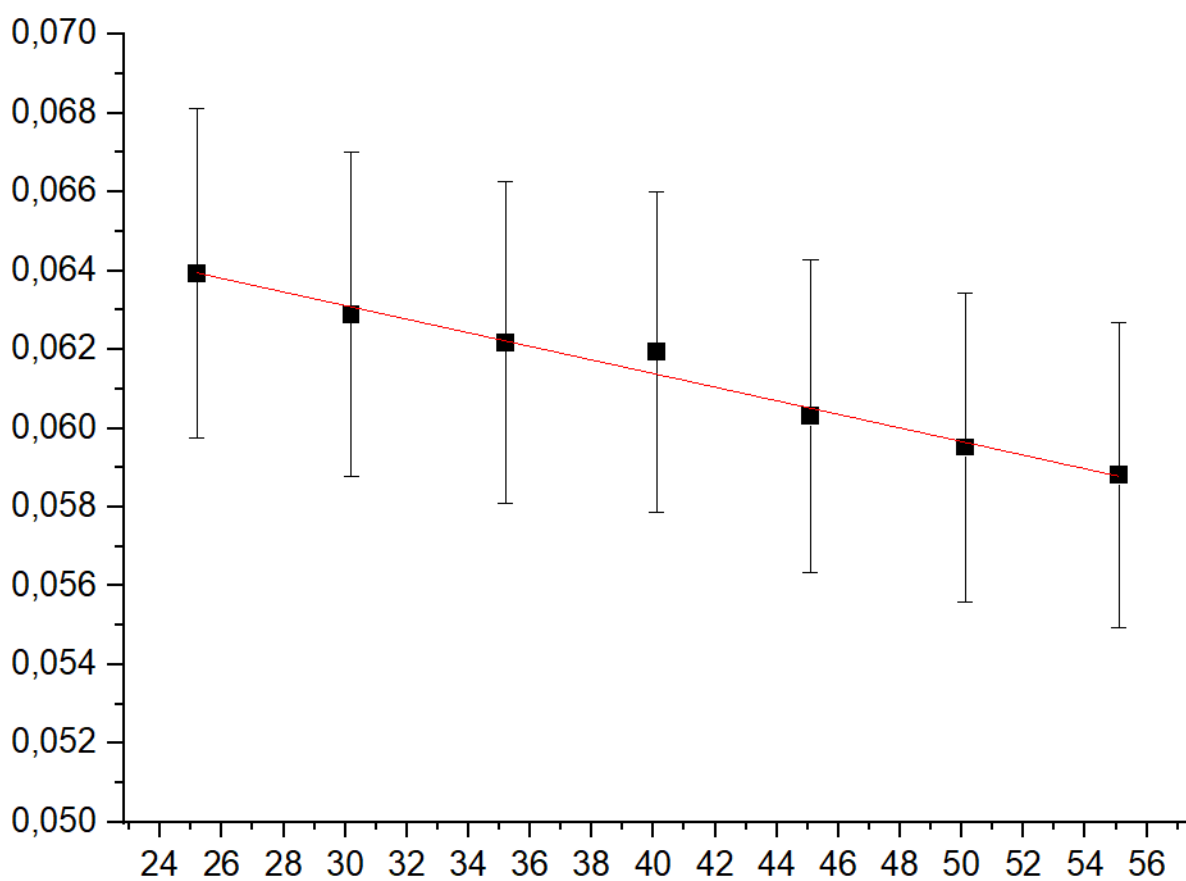


Рис. 3 — Зависимость $\sigma(T)$ - коэффициента поверхностного натяжения спирта от температуры. Оси: вертикальная σ , H/m ; горизонтальная T , $^{\circ}\text{C}$

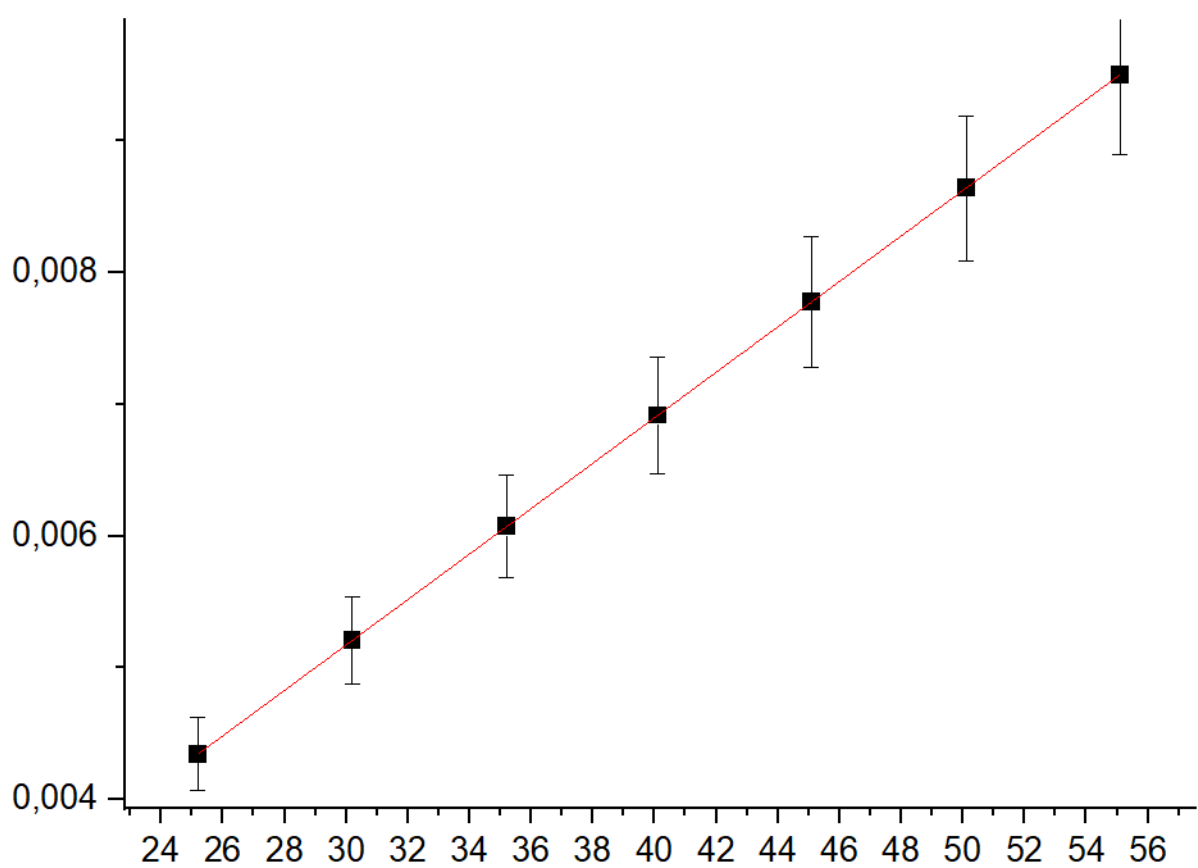


Рис. 4 — Зависимость $q(T)$ - теплоты образования единицы поверхности от температуры. Оси: вертикальная $q(T)$, Дж; горизонтальная $T, ^{\circ}\text{C}$

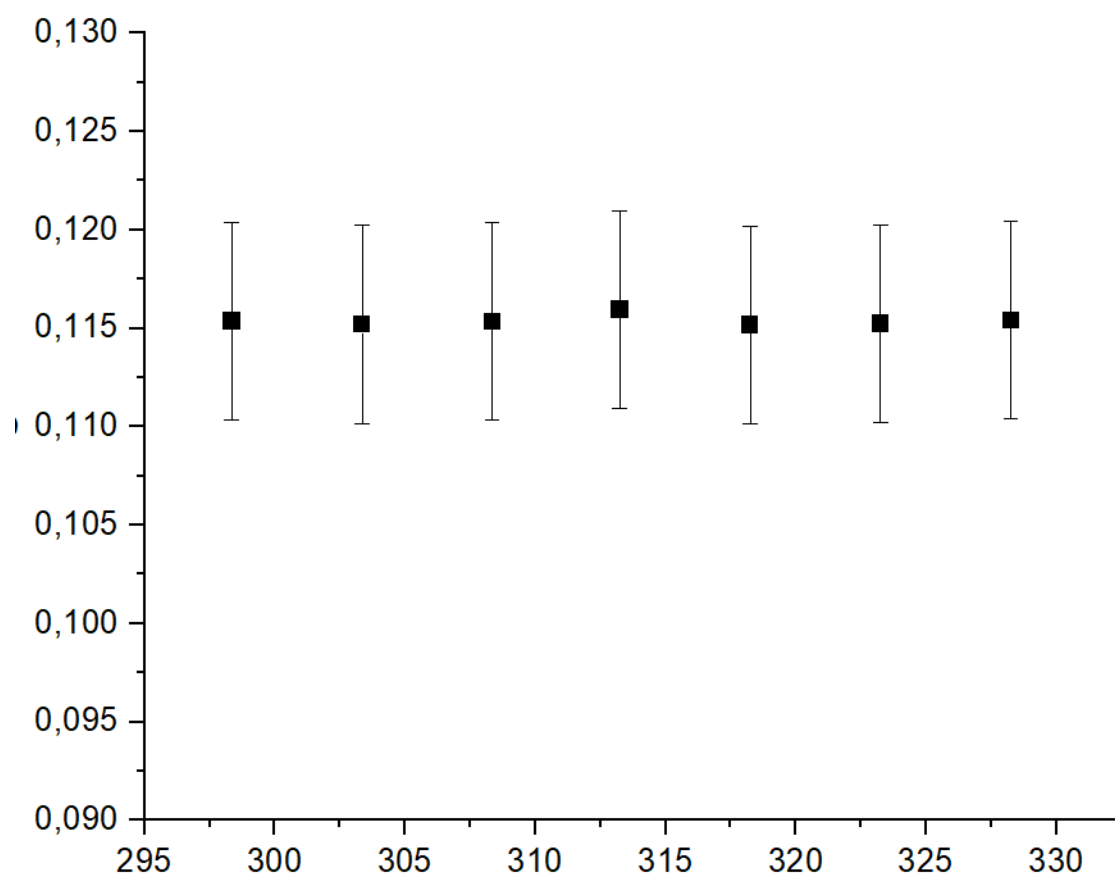


Рис. 5 — Зависимость $\frac{U}{F}(T)$ - зависимость поверхностной энергии U единицы площади F от температуры. Оси: вертикальная $q(T)$, H/м; горизонтальная T , K