

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Лабораторная работа 2.5.1

Измерение коэффициента поверхностного
натяжения жидкости

Милославов Глеб Евгеньевич
Б04-105

Долгопрудный
3 мая 2022 г.

1 Введение

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.

Оборудование: Прибор Ребиндера с термостатом и микроманометром, спирт и вода.

2 Теория к работе

Наличие поверхностного слоя приводит к различию давлений по разные стороны отискривленной границы раздела двух сред. Для сферического пузырька с воздухом внутри жидкости избыточное давление даётся формулой Лапласа:

$$\Delta P = P_{\text{внутри}} - P_{\text{снаружи}} = \frac{2\sigma}{R}$$

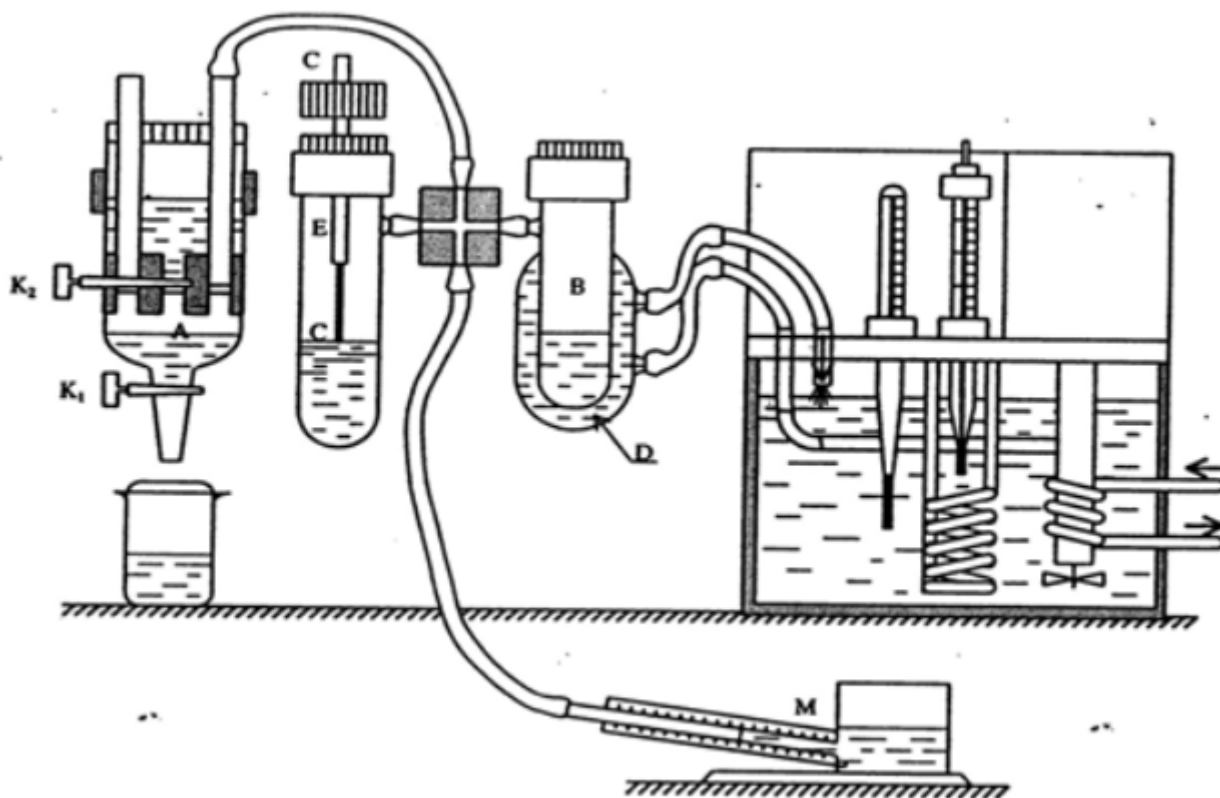
σ - коэффициент поверхностного натяжения, R - радиус кривизны поверхности раздела двух фаз. Измеряется давление ΔP , необходимое для выталкивания в жидкость пузырька воздуха.

3 Описание экспериментальной установки

На рисунке ниже изображена экспериментальная установка. Исследуемая жидкость (дистиллированная вода) наливается в сосуд (колбу) В. 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 погружён в жидкость. Другой сосуд герметично закрывается второй пробкой. При создании достаточного разрежения воздуха в колбе с иглой пузырьки воздуха начинают пробулькивать через жидкость. Поверхностное натяжение можно определить по величине разрежения ΔP , необходимого для прохождения пузырьков.

Разрежение в системе создается с помощью аспиратора А. Кран К2 разделяет две полости аспиратора. При закрытом кране К2 открывают кран К1, разрежение воздуха в колбе создаётся когда вода вытекает из крана К1 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. 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 глубже в жидкость. Полное давление, измеренное при этом микроманометром, $P = \Delta P + \rho gh$ не зависит от температуры жидкости. Величину ρgh следует измерить двумя способами. Во-первых, замерить величину $P_1 = \Delta P'$, когда кончик трубки только касается поверхности жидкости. Затем при этой же температуре опустить иглу глубже в жидкость 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 $\rho gh = P_2 - P_1$. Во-вторых, при измерениях P_1 и P_2 замерить линейкой глубину погружения иглы h .

4 Экспериментальная часть

1. Оценим случайную погрешность как среднееквадратичное отклонение измерений на колбе со спиртом, измерив ΔP_{max} несколько раз при одинаковых условиях, запишем данные в таблицу:

№	1	2	3	4
ΔP_{max} , дел	38,5	39,0	38,5	39,0
ΔP_{max} , Па	75,51	76,49	75,51	76,49

Таблица 1: Данные для расчёта среднееквадратичного отклонения ΔP_{max}

В результате получили:

$$\sigma_{случ} = 0,75 \text{ Па} \quad (\varepsilon = 1\%)$$

Тогда учитывая, что $\sigma_{сист} = 0,98 \text{ Па}$, полную погрешность посчитаем как

$$\sigma_{\Delta P} = \sqrt{\sigma_{случ}^2 + \sigma_{сист}^2} = 1,23 \text{ Па}$$

2. Далее работаем с колбой с водой. Измерим P_1, h_1 при таком положении иглы, чтобы она едва касалась поверхности жидкости, и измерим P_2, h_2 , утопив иглу до предела.

Получили:

№	1	2
P_{max} , дел	126,0	208,5
P_{max} , Па	247,1	408,9
h , см	2,40	0,65
σ_h , см	0,025	0,025

Таблица 2: Данные для сравнения Δh_1 и Δh_2

Тогда:

$$\Delta h_1 = h_1 - h_2 = (1,75 \pm 0,04) \text{ см}; \quad \Delta h_2 = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} = (1,37 \pm 0,02) \text{ см}.$$

$$\sigma_{\Delta h_1} = \sqrt{\sigma_{h_1}^2 + \sigma_{h_2}^2}; \quad \sigma_{\Delta h_2} = \frac{1}{gh} \sqrt{\sigma_{P_1}^2 + \sigma_{P_2}^2}$$

Полученные значения для глубины погружения близки, но всё же не перекрываются погрешностью. Скорее всего расхождения обусловлены влиянием краевых эффектов, которое дало нам слегка завышенное значение P_2 .

3. Снимем показания P_2 с установки с водой, полученные данные и дальнейшие расчёты внесём в таблицу:

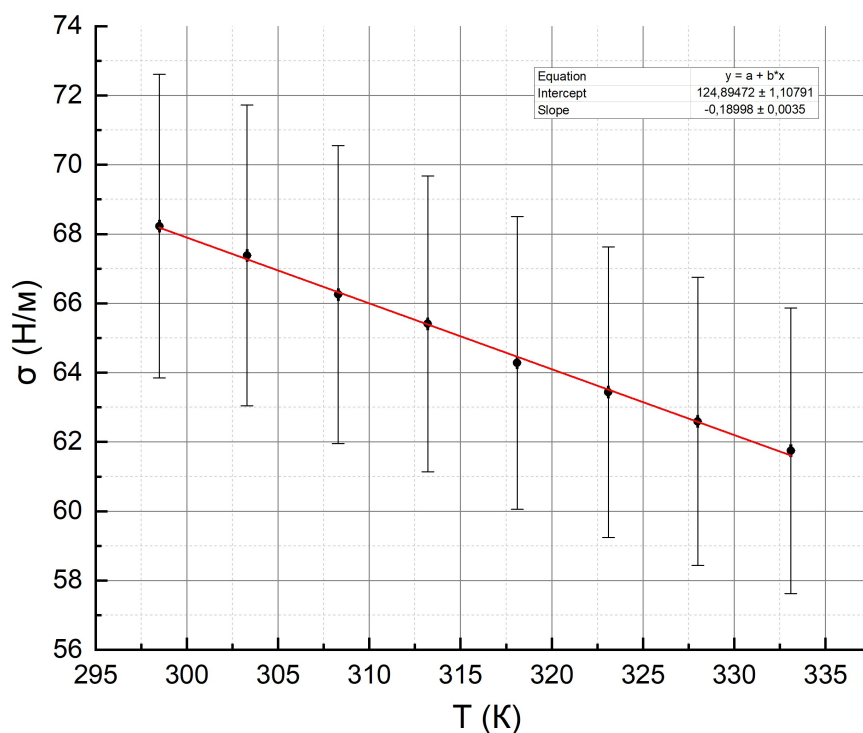
t, C	T, K	P2, дел	P2, Па	Delta P, Па	σ , Н/м	$\sigma(\sigma)$, Н/м
25,5	298,5	208,5	408,9	237,32	68,23	4,38
30,3	303,3	207,0	406,0	234,38	67,38	4,34
35,3	308,3	205,0	402,1	230,46	66,26	4,30
40,2	313,2	203,5	399,1	227,51	65,41	4,27
45,1	318,1	201,5	395,2	223,59	64,28	4,22
50,1	323,1	200,0	392,3	220,65	63,44	4,19
55,0	328,0	198,5	389,3	217,71	62,59	4,16
60,1	333,1	197,0	386,4	214,77	61,75	4,12

Погрешность σ_σ была посчитана следующим образом:

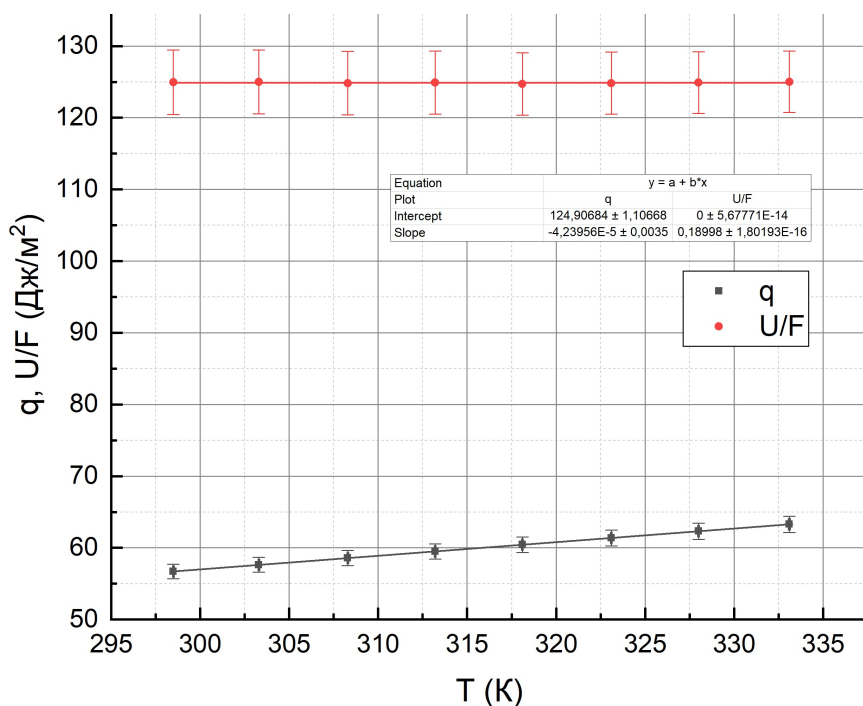
$$\sigma_\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{случ}}^2 + \sigma_{\text{сист}}^2}, \quad \text{где } \sigma_{\text{случ}} = \frac{P_2}{P_{\text{спирт}}} \sigma_{\text{случ спирт}}, \text{ а } \sigma_{\text{сист}} = \sigma \sqrt{\left(\frac{\sigma_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\Delta P}}{\Delta P}\right)^2}$$

По полученным данным построим график зависимости $\sigma(T)$. Видно, что все точки довольно хорошо ложатся на прямую. В результате линейной аппроксимации получили:

$$\frac{d\sigma}{dT} = -0,189 \pm 0,004 \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{К}} \quad (\varepsilon = 1,8\%)$$



Также изобразим зависимость от температуры теплоты образования единицы поверхности жидкости q и поверхностной энергии U единицы площади F :



Отсюда видно, что обе зависимости линейны на исследуемом диапазоне температур, более того вероятно, что $\frac{U}{F}(T) = const = 125 \pm 1 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2}$

5 Вывод

1. Экспериментальным путём определили коэффициент поверхностного натяжения воды для разных температур, например, при 25°C $\sigma = 68,2 \pm 4,4 \text{ Н/м}$, тогда как табичное значение для данной температуры $\sigma = 71,9 \text{ Н/м}$ ($\varepsilon = 5\%$), что сходиться с полученным с учётом погрешности.

2. Также исследовали зависимость коэффициента поверхностного натяжения воды от температуры в диапазоне 25-60°C, в результате линейной аппроксимации получили $\frac{d\sigma}{dT} = -0,189 \pm 0,004 \frac{\text{Н}}{\text{м}\cdot\text{К}}$, тогда как табличное значение для данного диапазона температур $\frac{d\sigma}{dT} = -0,164 \frac{\text{Н}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ ($\varepsilon = 13\%$).
3. В результате линейной аппроксимации получили графиков $q(T)$ и $\frac{U}{F}(T)$ получили, что обе зависимости хорошо линеаризуемы на диапазоне температур 25-60°C, причём $\frac{U}{F}(T) = \text{const} = 125 \pm 1 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2}$.