

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ФАКУЛЬТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2.5.1

---

# Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости

---

*Автор:*

Артем Овчинников

*Преподаватель:*

Арина Владимировна

РАДИВОН

9 мая 2024 г.

# Содержание

1	Аннотация	2
2	Теоретические сведения	2
3	Методика измерений	2
4	Используемое оборудование	2
5	Результаты измерений и обработка данных	4
6	Обсуждение результатов	6
7	Выводы	6

# 1 Аннотация

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.

В работе используются: прибор Ребиндера с термостатом и микроманометром; исследуемые жидкости; стаканы.

## 2 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:

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

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.

## 3 Методика измерений

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  $P_1 = \Delta P'$ , 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  $\rho gh = P_2 - P_1$ . Во-вторых, при измерениях  $P_1$  и  $P_2$  замерить линейкой глубину погружения иглы  $h$ . Это можно сделать, измеряя расстояние между верхним концом иглы и любой неподвижной частью прибора при положении иглы на поверхности и в глубине колбы.

## 4 Используемое оборудование

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 иглы). 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 В 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 (устройство микроманометра описано в Приложении).

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

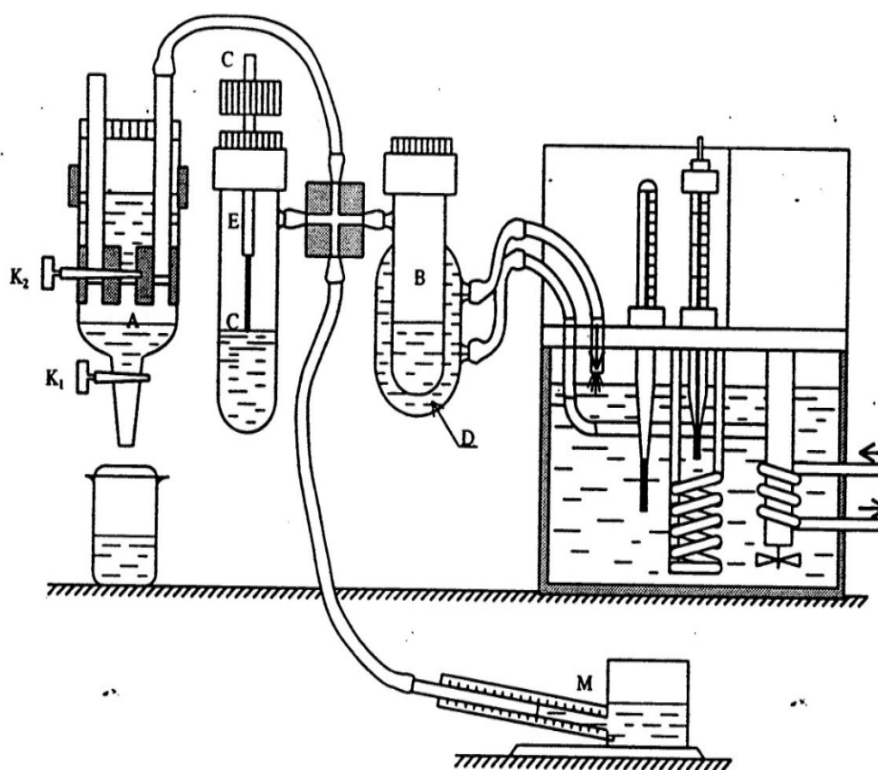


Рис. 1: Схема установки для измерения температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения

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.

## 5 Результаты измерений и обработка данных

Оцените погрешность измерения давления и температуры. Рассчитайте величину коэффициента поверхностного натяжения воды  $\sigma(T)$ , используя значение диаметра иглы, полученное при измерениях на спирте (или измеренное на микроскопе).

Таблица 1: Результаты измерений

T, C	T (error)	$\Delta h$ , mm	$\Delta h$ (error)	$\Delta P$ , Pa	$\sigma$ , mN/m	$\sigma$ , mN/m (error)
23	0.004	86	0.012	169	57	8.5
25.6	0.004	84	0.012	165	55	8.3
30.5	0.003	85	0.012	167	56	8.4
35.3	0.003	82	0.012	161	54	8.1
40.1	0.002	82	0.012	160	54	8.0
45	0.002	80	0.013	157	53	7.9
50	0.002	78	0.013	152	51	7.6
55	0.002	77	0.013	151	51	7.6
60	0.002	76	0.013	149	50	7.5

Постройте график зависимости  $\sigma(T)$  и определите по графику температурный коэффициент  $d\sigma/dT$ . Оцените точность результата.

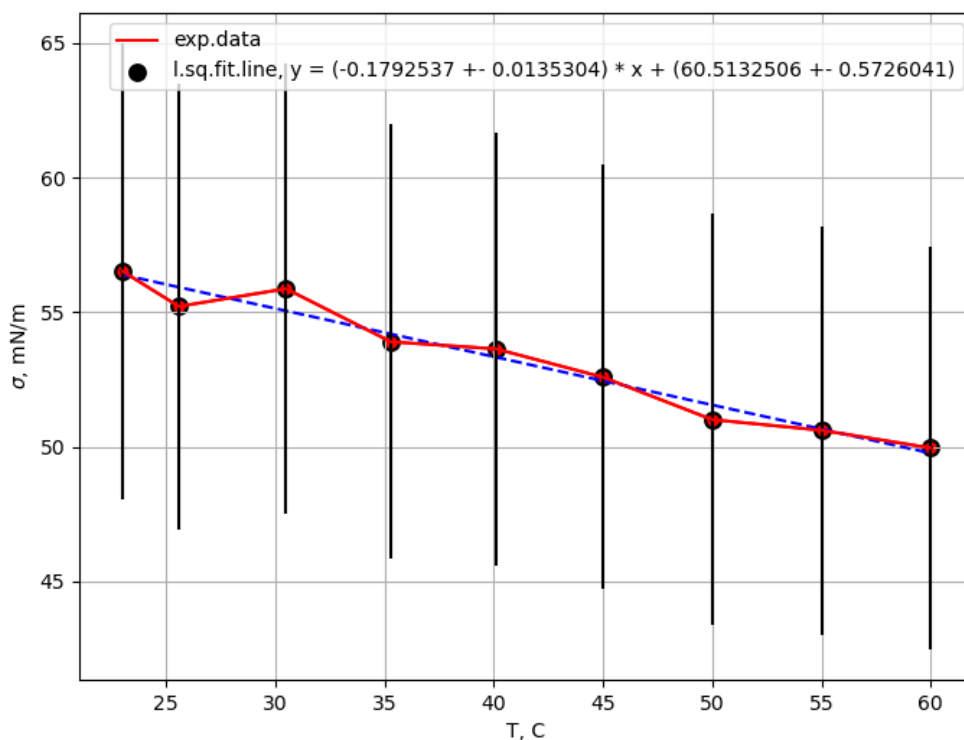


Рис. 2: График зависимости  $\sigma(T)$

$$\frac{d\sigma}{dT} = -0.18 \pm 0.04$$

На другом графике постройте зависимость от температуры  
а) теплоты образования единицы поверхности жидкости  $q = -T \frac{d\sigma}{dT}$  б) поверхностной энергии U единицы площади F:  $\frac{U}{F} = (\sigma - T \frac{d\sigma}{dT})$

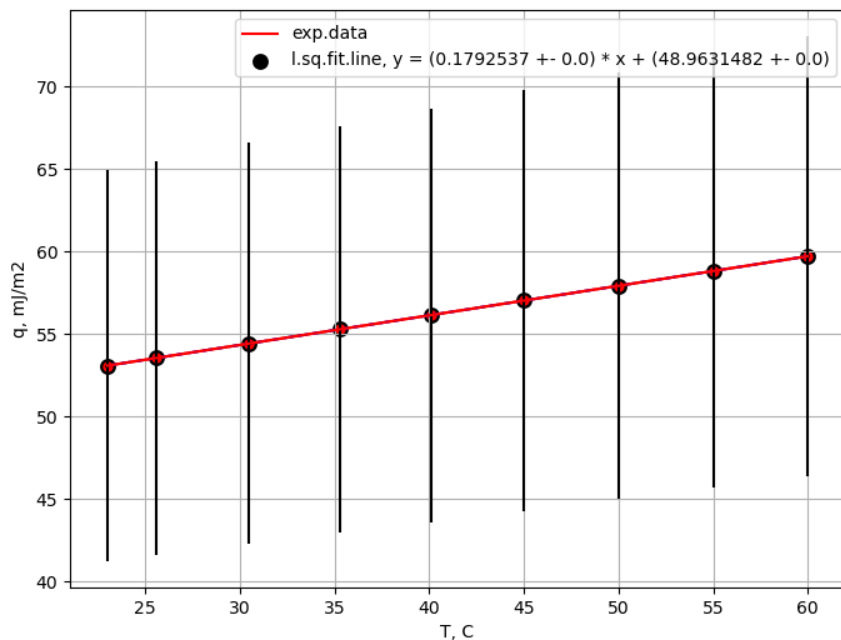


Рис. 3: График зависимости  $q(T)$

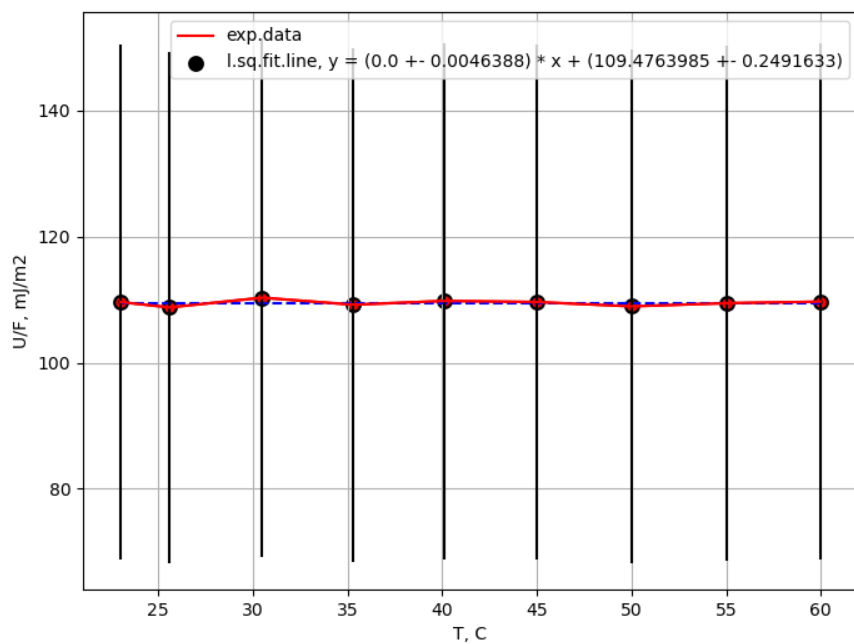


Рис. 4: График зависимости  $U/F(T)$

## 6 Обсуждение результатов

На графике 2 видно, что поверхностное натяжение убывает с температурой линейно (что вдали от критической точки соответствует теории). На графике 3 видно, что теплота образования единицы поверхности жидкости увеличивается с температурой линейно (что вдали от критической точки соответствует теории). На графике 4 видно, что поверхностная энергия остается постоянной при увеличении температуры (что вдали от критической точки соответствует теории).

## 7 Выводы

Вдали от критической температуры поверхностное натяжение с увеличением температуры убывает линейно.

Вдали от критической температуры теплота образования единицы поверхности жидкости с увеличением температуры увеличивается линейно.

Вдали от критической температуры поверхностная энергия с увеличением температуры остается постоянной.