



Физтех-школа аэрокосмических технологий

16 февраля 2024 года

Лабораторная работа 2.5.1

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Зайцев Александр

Б03-305

Цель 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.

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

Теоретические сведения, используемые в данной работе

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:

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

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, $P_{\text{вн}}$ и $P_{\text{снар}}$ – 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 ΔP , необходимое для выталкивания в жидкость пузырька воздуха.

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 разрежения воздуха в колбе с иглой пузырьки воздуха начинают пробулькивать через жидкость. Поверхностное натяжение можно определить по величине разрежения ΔP (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 нее по каплям. В колбах В и С, соединенных 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.

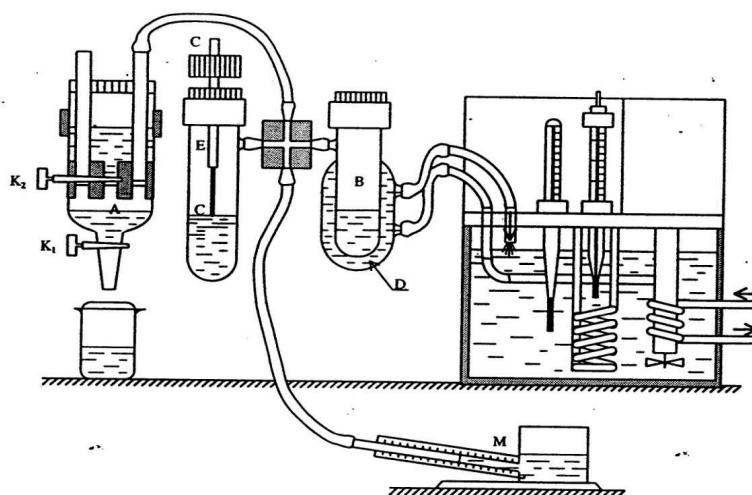


Рис. 1. Схема установки для измерения температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения.

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.

Обе погрешности можно устранить, погрузив кончик трубки до самого дна. Полное давление, измеренное при этом микроманометром, $P = \Delta P + \rho gh$. Заметим, что ρgh от температуры практически не зависит, так как подъём уровня жидкости компенсируется уменьшением ее плотности (произведение ρh определяется массой всей жидкости и поэтому постоянно). 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 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, замеряя расстояние между верхним концом иглы и любой неподвижной частью прибора при положении иглы на поверхности и в глубине колбы. В частности подобную же операцию необходимо сделать и при заполнении водой аспиратора А. В противном случае при заполнении аспиратора водой давление воздуха в системе повышается, спирт из трубки микроманометра выдавливается, в узлах соединений микроманометра образуются воздушные пузыри. Наличие этих пузырей приводит к полному нарушению калибровки манометра и невоспроизводимости измерений.

Эксперимент

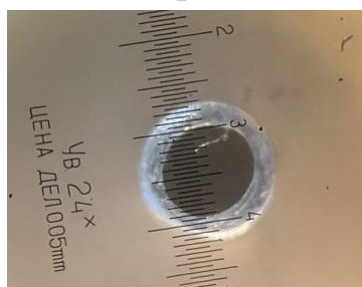


Рис.2 Измерение диаметра иглы при помощи микроскопа

Измерено максимальное давление $\Delta P_{\text{спирта}}$ при пробулькивании пузырьков воздуха через спирт. По разбросу результатов оценена случайная погрешность измерения. Пользуясь табличным значением коэффициента поверхностного натяжения спирта, определен по формуле (1) диаметр иглы. Полученный результат подлежит сравнению с диаметром иглы, измеренным по микроскопу.

Таблица 1. Теоретическая установка диаметра иглы

Давление $\Delta P_{\text{спирта}}$, Па	Диаметр иглы d , м
$88,200 \pm 0,196$	$(0,99 \pm 0,12) \cdot 10^{-3}$
$82,320 \pm 0,196$	$(1,07 \pm 0,12) \cdot 10^{-3}$
$84,280 \pm 0,196$	$(1,04 \pm 0,12) \cdot 10^{-3}$
$84,280 \pm 0,196$	$(1,04 \pm 0,12) \cdot 10^{-3}$

Экспериментальное значение диаметра $d \approx 9$ мм, оно совпадает с теоретическим значением в пределах погрешности. Для удобства всех последующих расчетов в данной лабораторной работе будет использоваться именно экспериментально полученное значение.

Предварительно промытая и высушенная от спирта игла перенесена в колбу с дистиллированной водой. Измерено максимальное давление P_1 при пробулькивании пузырьков, когда игла лишь касается поверхности воды. Аспиратор предварительно заполнен водой почти доверху. Измерено расстояние между верхним концом иглы и любой неподвижной частью прибора h_1 .

Затем игла была утоплена до предела (между концом иглы и дном небольшой зазор, чтобы образующийся пузырёк не касался дна). Измерено расстояние h_1 .

Измерено максимальное давление в пузырьках P_2 . По разности давлений $\Delta P = P_2 - P_1$ определена глубина погружения Δh иглы и она сравнена с $\Delta h = h_1 - h_2$.

Таблица 2. Максимальные давления на поверхности и на дне жидкости, соответствующие расстояния.

P_1 , Па	P_2 , Па	Расстояния h , см
$246,960 \pm 0,196$	$399,840 \pm 0,196$	$h_1 = 2,2 \pm 0,1$
$245,980 \pm 0,196$	$398,860 \pm 0,196$	$h_2 = 0,6 \pm 0,1$
$247,940 \pm 0,196$	$397,880 \pm 0,196$	$\rho g \Delta h = P_2 - P_1$
$248,920 \pm 0,196$	$399,840 \pm 0,196$	$\Delta h = 1,53 \pm 0,03$ см

Экспериментально рассчитанное расстояние:

$$\Delta h_{\text{эксп}} = 2,2 - 0,6 = 1,6 \pm 0,1 \text{ см}$$

Оно совпадает с теоретическим в пределах погрешности.

Снята температурная зависимость $\sigma(T)$ дистиллированной воды.

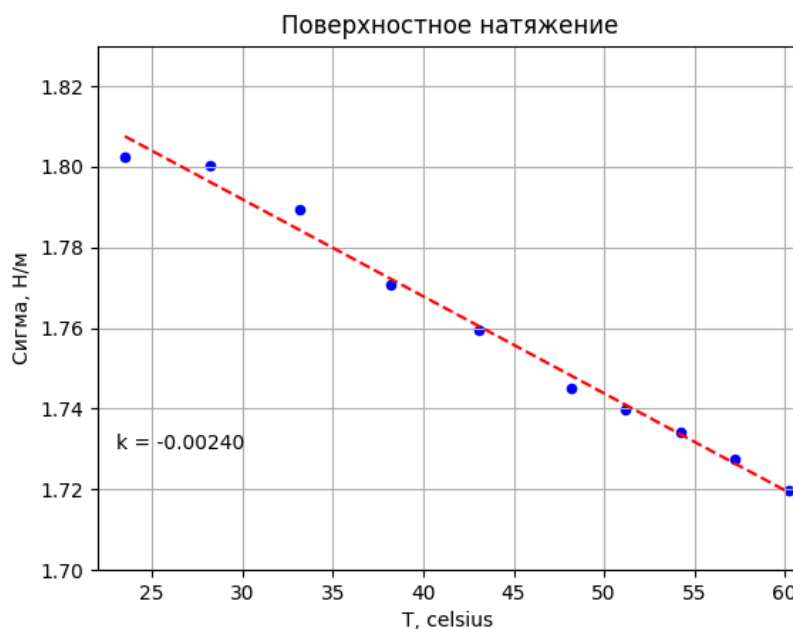


Рис. 3. График зависимости поверхностного натяжения жидкости от температуры

Здесь угловой коэффициент k и есть температурный коэффициент $\frac{d\sigma}{dT}$.

Зная его, можно построить еще два графика зависимости:

1. Зависимость теплоты образования единицы поверхности жидкости от температуры

$$q = -T \cdot \frac{d\sigma}{dT} \quad (2)$$

2. Зависимость поверхностной энергии U единицы площади:

$$\frac{U}{F} = \sigma - T \cdot \frac{d\sigma}{dT} \quad (3)$$

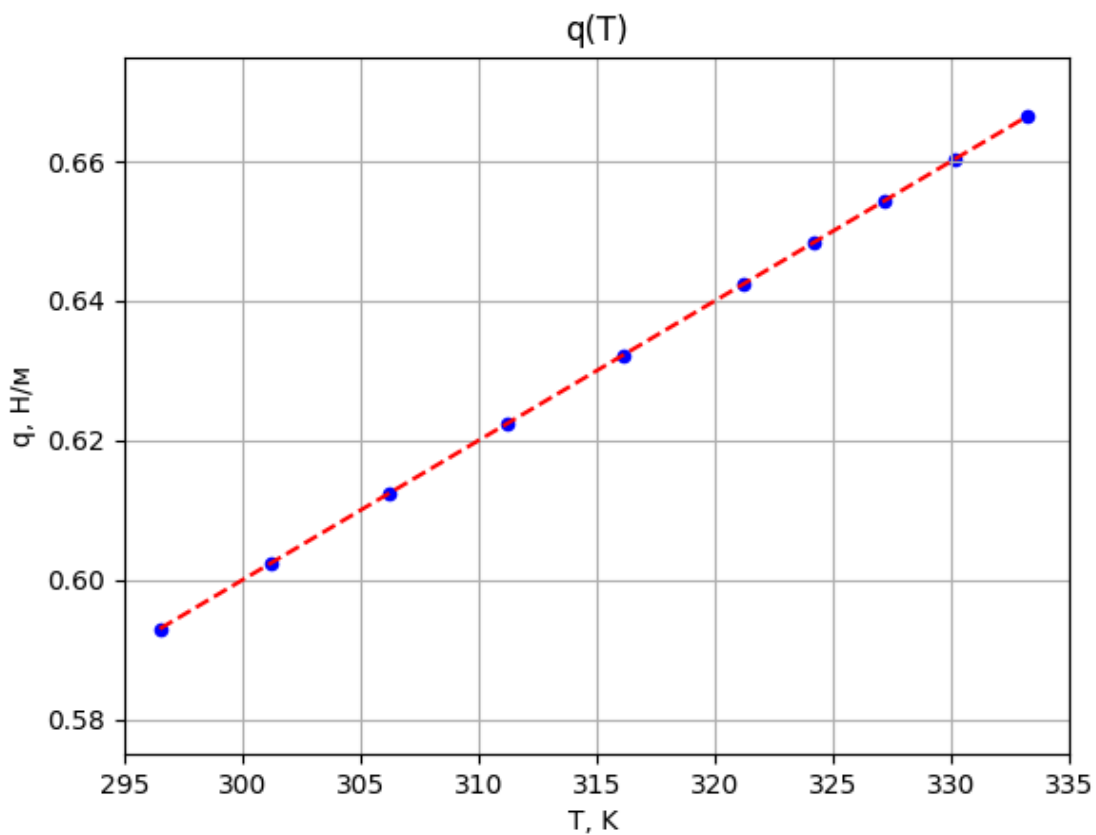


Рис. 4. График зависимости теплоты образования единицы поверхности жидкости от температуры

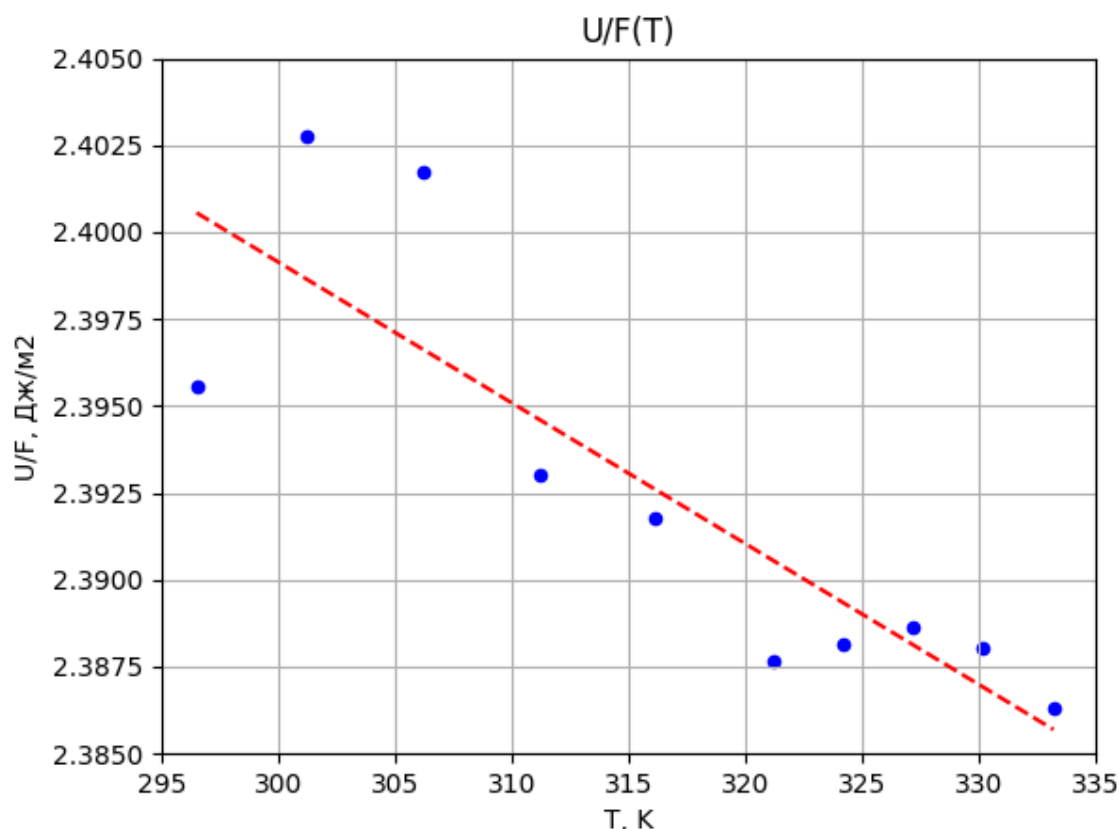


Рис. 5. График зависимости поверхностной энергии единицы площади от температуры

Последний график можно считать горизонтальной прямой в силу малости значений на оси ординат.

Вывод

С использованием экспериментальной установки и микроманометра были проведены измерения давления и температуры исследуемой жидкости (дистиллированной воды) при различных температурах. Путем измерения разности давлений, необходимых для пробулькивания пузырьков воздуха через поверхность жидкости при различных глубинах погружения иглы, был определен коэффициент поверхностного натяжения воды. Была изучена температурная зависимость коэффициента поверхностного натяжения воды. По полученным данным был построен график зависимости коэффициента поверхностного натяжения от температуры. Таким образом, выполнение данной лабораторной работы позволило не только определить коэффициент поверхностного натяжения жидкости, но и изучить его зависимость от температуры, а также провести оценку свойств жидкости с точки зрения поверхностной энергии и теплоты.