

Работа 2.5.1

Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости.

Панферов Андрей

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.

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 дается формулой Лапласа:

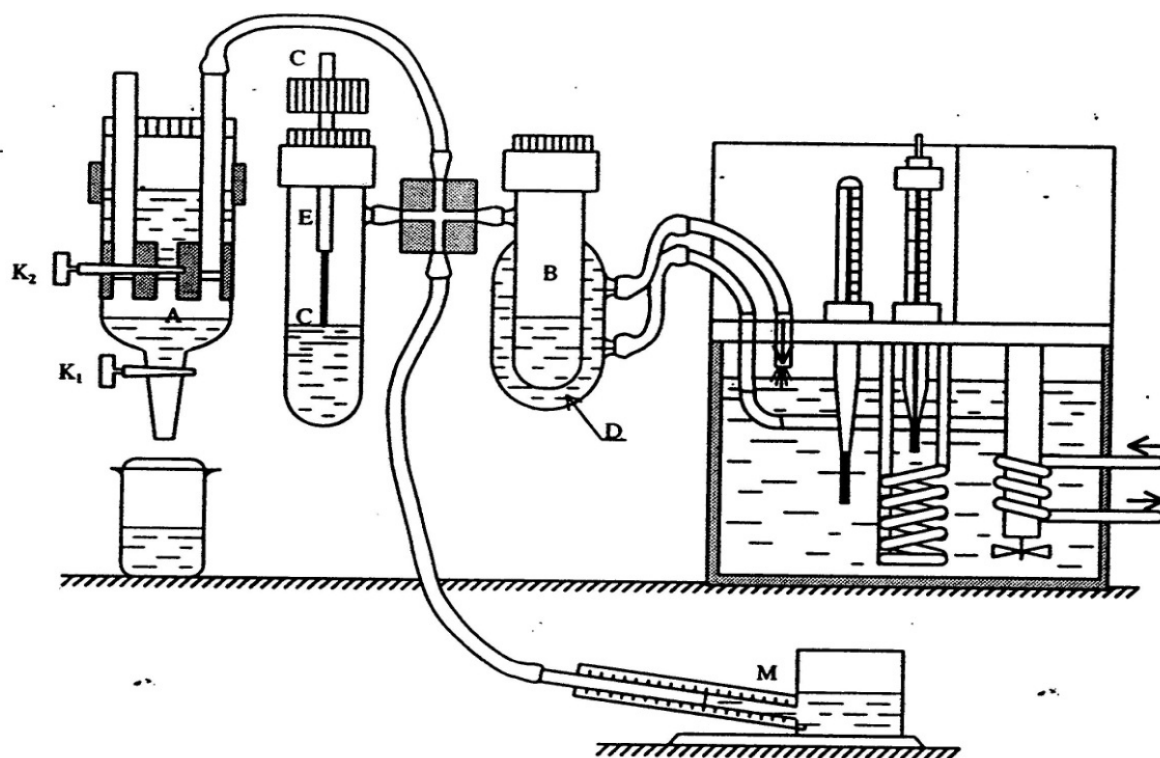
$$\Delta P = P_{inside} - P_{outside} = \frac{2\sigma}{r}, \quad (1)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, P_{inside} и $P_{outside}$ – 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. 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 $P(1)$, 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.



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 её плотности (произведение h 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.

Измерения

Проведем измерения для спирта. Для этого установим частоту падения капель из аспиратора около 1 капли в 5 секунд. Измерим максимальное добавочно давление в системе и занесем данные в *Таблицу 1* (пересчет единиц шкалы в паскалы произведем потом).

Далее вынем иглу, просушим ее и измерим микроскопом ее диаметр (внутренний):

$$d = 0.95 \pm 0.05 \text{ mm}$$

Из табличного значения коэффициента поверхностного натяжения спирта $\sigma = 22.8 \text{ мН/м}$ по *Формуле (1)* получим:

$$d = 0.93 \pm 0.02 \text{ мм}$$

Затем установим иглу в воду так, чтобы она едва касалась воды. Проведя измерения давления и занеся результаты в *Таблицу 1*, опустим иглу до дна, предварительно измерив высоту. Вновь измерим высоту

$$h_1 = 17.5 \pm 0.5 \text{ мм}$$

$$h_2 = 10.5 \pm 0.5 \text{ мм}$$

Проведем серию измерений P_2 для различных температур воды, регулируемых термостатом, занесем результаты в *Таблицу 1*.

Обработка данных

Проведем пересчет экспериментальных данных для нахождения $\sigma(T)$, оценим погрешности.

Построим график зависимости $\sigma(T)$

Из график *методом наименьших квадратов* найдем:

$$\frac{d\sigma}{dT} = (-0.12 \pm 0.01) \text{ мН} \cdot \text{м/}^\circ\text{С}$$

Сравним с табличным:

$$\frac{d\sigma_{\text{т}}}{dT} = -0.17 \text{ мН} \cdot \text{м/}^\circ\text{С}$$

Вывод

Теория точно описывает вид наблюдаемых зависимостей, хоть численно и отличается на величину, значительно превышающую оцененную погрешность измерений, что указывает на низкую точность представленного метода измерений, которая может быть связана с необходимостью учета сложных не квазистационарных процессах, происходящих при пробулькивании пузырька через жидкость.

Данные

Спирт		Вода									
21,3	T, C	21,3	21,3	25,2	30,2	35,2	40,2	45,2	50,2	55,2	60,2
P1		P1	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
49		138	172	173	172	171	169	167	166	165	163
49		138	172	173	172	171	169	166	166	165	164
49		138	172	173	172	170	169	167	166	165	164
49		138	172	173	172	170	169	167	166	165	163
49		138	172	173	172	171	169	167	166	165	163
94	$P1_{cp}$, Па	266	330	332	330	328	324	320	319	318	314
2	$\Delta P1_{cp}$, Па	2	2	2	2	3	2	3	2	2	3
21.8	σ , мПа · м	61.8	61.8	62.3	61.8	61.4	60.4	59.5	59.3	59.0	58.1
0.5	$\Delta\sigma$, мПа · м	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
22.3	σ_T , мПа · м	72.1	72.1	71.7	71.2	70.4	69.6	68.8	67.9	67.0	66.2

Таблица 1: Измерения

