

2.5.1

Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости.

Семёнов Андрей Б02-016

29 апреля 2021г.

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, стакан.

Теория

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:

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

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

Экспериментальная установка

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 (при известном радиусе иглы).

Разрежение в системе создается с помощью aspirатора А. Кран К2 разделяет две полости aspirатора. 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 aspirатора, 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, $P = \Delta P + \rho gh$. ρgh не зависит от температуры жидкости. Величину ρgh следует измерить двумя способами. Во-первых, замерить величину $P1 = \Delta P'$, когда кончик трубки только касается поверхности жидкости. Затем при этой же температуре опустить иглу глубже в жидкость и замерить $P2 = \rho gh + \Delta P''$ ($\Delta P'$, $\Delta P''$ – давление Лапласа). Из-за несжимаемости жидкости можно положить $\Delta P' = \Delta P''$ и тогда $\rho gh = P2 - P1$. Во-вторых, при измерениях $P1$ и $P2$ замерить линейкой глубину погружения иглы h .

1 Выполнение работы

Измеряем максимальное давление $\Delta P_{alcohol}$ при пробулькивании пузырьков воздуха через спирт. Записываем все в таблицу. Измеряем диаметр иглы по микроскопу, так же записываем в таблицу. Измеряем диаметр, полученный при измерении разности давлений спирта по формуле $d = \frac{4\sigma}{\Delta P}$, $\sigma = 0.02266N/m$

$$\sigma_{\Delta P} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta P_i - P_{average})^2}{n(n-1)}}$$

ΔP , Па	$\sigma_{\Delta P}$, Па	d , мм	σ_d , мм
82,4	0.93	1,10	0,12
80,1	0.93	1,13	0,12
84,7	0.93	1,07	0,12
82,4	0.93	1,10	0,12
$d_{alcohol} = (1,1 \pm 0,12)$ мм, $d_{microscope} = (1,1 \pm 0,05)$ мм			

Измеряем при комнатной температуре h_1 и h_2 относительно какой-нибудь неподвижной детали, и измеряем P_{1max} и P_{2max} по ΔP найдем Δh и сравним с $h_1 - h_2$. Учитываем, что при подсчете мы измеряем с помощью манометра $P = \Delta P + \rho g \Delta h$. Записываем результаты в таблицу.

$$\begin{aligned} \sigma_{P_1} &= 2.26 \\ \sigma_{P_2} &= 1.03 \\ \sigma_{\Delta h} &= \sqrt{\sigma_{P_1}^2 + \sigma_{P_2}^2} = 2.48 \end{aligned}$$

P_1 , Па	h_1 , см	P_2 , Па	h_2 , см
274	1,8	363	0,8
274,7	1,8	360	0,8
273,3	1,8	365	0,8
265	1,8	363	0,8
271,75	1,8	362,75	0,8
$h_1 - h_2 = 1$ см, $\frac{P_2 - P_1}{\rho g} = (0,93 \pm 0,24)$ см			
$\rho g \Delta h = (91 \pm 2,66)$ Па			

T, K	P, Pa	σ_P, Pa	$\Delta P, Pa$	$\sigma_{water} \cdot 10^{-3}, H/M$	$\sigma_{\sigma_{water}} \cdot 10^{-3}, H/M$
25,00	364,00	2.14	273,00	75,08	0,61
30,00	362,00	2.14	271,00	74,53	0,61
35,00	359,00	2.14	268,00	73,70	0,61
40,00	357,00	2.14	266,00	73,15	0,61
45,00	353,00	2.14	262,00	72,05	0,61
50,00	350,00	2.14	259,00	71,23	0,61
55,00	347,00	2.14	256,00	70,40	0,61
60,00	343,00	2.14	252,00	69,30	0,61
50,00	345,00	2.14	254,00	69,85	0,61
45,00	347,00	2.14	256,00	70,40	0,61
30,00	350,00	2.14	259,00	71,23	0,61

Представляем данные в виде графика и находим $\frac{d\sigma}{dT}$

С помощью МНК определим значение коэффициента угла наклона данного графика:

$$k = \frac{\langle \sigma T \rangle - \langle \sigma \rangle \langle T \rangle}{\langle T^2 \rangle - \langle T \rangle^2} = -0.16;$$

$$a = \langle \sigma \rangle - k \langle T \rangle = 79.13 \quad \sigma_k = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle \sigma^2 \rangle - \langle \sigma \rangle^2}{\langle T^2 \rangle - \langle T \rangle^2}} = 0.01$$

$$q = -T \frac{d\sigma}{dT} T K q D j$$

2 Выводы

1. Диаметр полученный нами в результате измерения разности давлений спирта совпал с измеренным под микроскопом значением.
2. Экспериментальное значение глубины погружения иглы отклонилось от истинного на 7
3. $\frac{d\sigma}{dT}$ отклонился от $\frac{d\sigma_t}{dT}$ на 0.06.