

Лабораторная работа № 4

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ РАСТВОРА ОТ ЕГО КОНЦЕНТРАЦИИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ПО МЕТОДУ РЕБИНДЕРА

Цель работы: ознакомление с устройством прибора Ребиндера; экспериментальное определение зависимости коэффициента поверхностного натяжения от концентрации раствора и температуры.

Приборы и принадлежности: прибор Ребиндера, манометр, набор исследуемой жидкости, термометр, пробирка, стеклянная трубка с капилляром, кипятильник.

Основные понятия и определения

Если жидкость граничит со своим собственным (насыщенным) паром, т.е. в случае, когда мы имеем дело с одним веществом, сила притяжения, испытываемая молекулами поверхностного слоя, направлена внутрь жидкости. Это объясняется тем, что плотность молекул в жидкости во много больше, чем в паре над жидкостью, и поэтому сила притяжения, испытываемая молекулой поверхностного слоя, со стороны молекул жидкости больше, чем со стороны пара. Отсюда следует, что, перемещаясь из поверхностного слоя внутрь жидкости, молекула под действием молекулярных сил совершает положительную работу. Наоборот, переход молекул из объема жидкости к поверхности сопровождается отрицательной работой, т.е. требует затрат энергии. Представим себе, что по тем или иным причинам поверхность жидкости увеличивается (растягивается). Это значит, что некоторое количество молекул переходит из объема жидкости в поверхностный слой. Для этого, как мы говорили, надо затратить энергию. Другими словами, увеличение поверхности жидкости сопровождается отрицательной работой, а сокращение поверхности – положительной.

Если при постоянной температуре обратимым путем изменить поверхность жидкости на бесконечно малую величину dS , то необходимая для этого работа $dA = -\alpha dS$, так как $dS > 0$, знак минус указывает на то, что увеличение поверхности сопровождается работой, совершаемой внешними слоями.

Коэффициент α является основной величиной, характеризующей свойства поверхности, и называется коэффициентом поверхностного натяжения ($\alpha > 0$).

Следовательно, коэффициент поверхностного натяжения измеряется работой, которую надо совершить для увеличения площади поверхности жидкости при постоянной температуре на единицу площади.

В системе СИ α имеет единицу измерения Дж/м², а в системе СГС – эрг/см². Иногда применяется размерность исходя из следующего соотношения:

$$\alpha = \frac{dA}{dS} = \frac{Fdx}{\ell dx} = \frac{F}{\ell},$$

т.е. в системе СИ – Н/м, а в системе СГС – дин/см.

Таким образом, коэффициентом поверхностного натяжения называется величина, численно равная силе, приложенной к единице длины прямолинейного края поверхностного слоя жидкости.

Описание прибора

Установка (прибор Ребиндера) в подготовленном виде (рис.1) состоит из наполненного водой аспиратора 1, соединенного с помощью резиновой трубки с манометром (2). Другой вывод манометра соединен с пробиркой (3). Через пробку в пробирку с отводом помещена стеклянная трубочка, заканчивающаяся капилляром (4), соприкасающимся с исследуемой жидкостью, второй конец трубочки выходит в атмосферу. Пробирка помещается в специальный сосуд (5) с жидкостью, проходящей через сосуд. Температура жидкости замеряется термометром (6), помещенным в тот же сосуд.

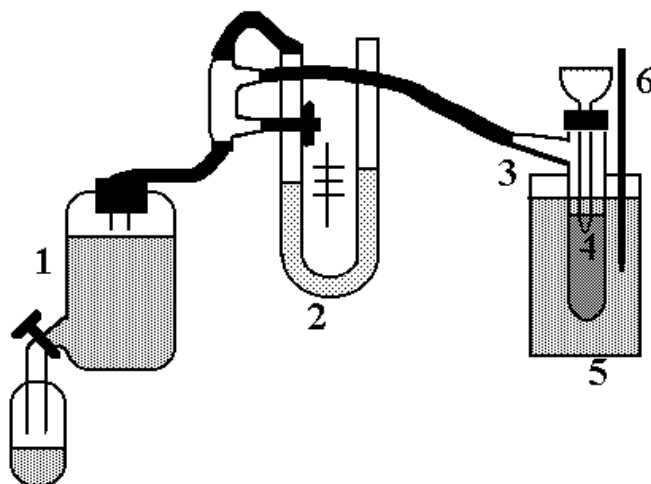


Рис. 1.

При изучении зависимости коэффициента поверхностного натяжения растворов от концентрации смешиваемых жидкостей (воды и спирта) отвод поочередно вставляется в сосуды, на которых указано содержание спирта. При изучении зависимости коэффициента поверхностного натяжения от температуры пробирка переносится в сосуд.

Расчетная формула

При открытом кране K_p аспиратора, когда вода вытекает, в пространстве над водой создается разрежение, давление становится меньше атмосферного, соответственно понижается и давление в сосуде над исследуемой жидкостью. Манометр показывает разность атмосферного давления P_0 и давления в

сосуде P . По мере увеличения разности давлений атмосферный воздух начинает поступать через трубочку с оттянутым концом. На конце трубки образуются пузырьки воздуха, которые отрываются в тот момент, когда разность давлений $\Delta P = P_o - P$ уравнивает максимальное давление P_1 , вызываемое поверхностным натяжением.

Обозначим коэффициент поверхностного натяжения исследуемой жидкости через α .

Давление внутри газового пузырька в жидкости в момент отрыва равно атмосферному P_o . Это давление уравнивается давлением P над поверхностью жидкости в сосуде и давлением P_1 , обусловленным поверхностным натяжением, т.е. $P_o = P + P_1$ или $P_1 = P_o - P = \Delta P$, где ΔP – разность давлений, регистрируемая манометром в момент отрыва пузырька.

Давление P_1 называют давлением Лапласа, или поверхностным давлением. Для его определения рассмотрим пузырек газа радиусом R . Работа при малом изменении поверхности пузырька, в соответствии с первым началом термодинамики, определится выражением

$$dA = (P_o - P)dV - \alpha dS, \quad (1)$$

где $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ – объем пузырька, $S = 4\pi R^2$ – его поверхность.

В (1) первое слагаемое справа представляет работу сил давления, второе – работу сил поверхностного натяжения.

В равновесном состоянии $dA = 0$. Тогда из (1) получаем:

$$P_o = P + \alpha \frac{dS}{dV} = P + \frac{dS}{dV} \alpha. \quad (2)$$

Учитывая, что $\frac{dS}{dR} = 8\pi R$; $\frac{dV}{dR} = 4\pi R^2$, из (2) имеем

$$P_o - P = \frac{2\alpha}{R}. \quad (3)$$

Из (3) следует, что $P_o - P = \Delta P = \frac{2\alpha}{R}$ или

$$P_1 = \frac{2\alpha}{R}. \quad (4)$$

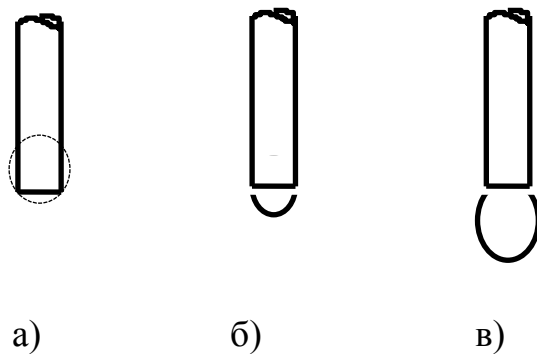


Рис. 2. Воздушные пузырьки на конце трубки.

По мере вытекания воды из аспиратора и увеличения ΔP радиус пузырька, как видно из рис. 1, вначале уменьшается и растущая разность давлений ΔP уравнивается поверхностным натяжением в соответствии с формулой (4). Затем уменьшение радиуса r прекращается. Как видно из рис. 2, радиус пузырька не может быть меньше радиуса капиллярной трубки r_1 . Давление, которое компенсируется поверхностным натяжением, не превосходит величину

$$\Delta P = \Delta P_{\max} = \frac{2\alpha}{r_1}. \quad (5)$$

Коэффициент поверхностного натяжения определяется с помощью формулы (5):

$$\alpha = r_1 \frac{\Delta P}{2} \quad (6)$$

или
$$\alpha = K \Delta P, \quad (7)$$

где K – постоянная прибора, которая определяется измерением P для жидкости с известным коэффициентом натяжения, например для воды.

Соответственно этому
$$K = \frac{\alpha_{\text{вод}}}{\Delta P_{\text{вод}}}, \quad \alpha_{\text{жс}} = K * \Delta P_{\text{жс}}. \quad (8)$$

Определение постоянной прибора

Собрав прибор согласно рис.1, налив в аспиратор воды и укрепив отсасывающую головку на сосуде с дистиллированной водой, открывают зажим аспиратора так, чтобы изменение происходило достаточно медленно и можно было отсчитать высоту уровней в манометре в момент отрыва пузырька.

Когда частота образования пузырьков установится, начинают производить отсчет по манометру, отмечая высоту уровней в обоих коленах. Отсчеты производятся не менее чем для 10 пузырьков, из них берется среднее.

Подставив в формулу (8) полученное значение для ΔP и взятое из табл. 1 по графику значение коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды α_e для температуры, при которой производится опыт, находят постоянную прибора.

Таблица 1

Коэффициент поверхностного натяжения воды

Температура, °С	Коэфф. поверхностного натяжения, дин/см	Температура, °С	Коэфф. поверхностного натяжения, дин/см
0	75,49	45	68,6
5	74,74	50	67,8
10	74,01	55	66,9
15	73,26	60	66,0

20	72,53	65	65,1
25	71,78	70	64,2
30	71,33	75	63,3
35	70,29	80	62,3
40	69,54		

Определение зависимости α_c от концентрации раствора

После определения постоянной прибора по дистиллированной воде последовательно головку отсасывающей системы переставляют в сосуды с 20, 40, 60, 80%-ными растворами спирта и повторяют измерения, производя не менее 10 отсчетов для каждой концентрации.

Определив, как и в первом случае, разности высот уровней, находят по формуле (4) соответствующее значение α . При определении K и α для исследуемых растворов наблюдаемые значения H_1 и H_2 заносят в табл. 2 и по ним строят график зависимости коэффициента поверхностного натяжения жидкости от концентрации раствора.

Таблица 2

Зависимость α_c от концентрации раствора С

$C, \%$	№	$H_1,$ мм	$H_2,$ мм	$\Delta P = \Delta$ $H, \text{мм}$	α	$\Delta\alpha$	$\varepsilon, \%$
20	1						
	...						
	5						
	Ср.						
40	1						
	...						
	5						
	Ср.						
60	1						
	...						
	5						
	Ср.						
80	1						
	...						
	5						
	Ср.						

По полученным результатам строят график зависимости α_c от концентрации раствора C .

Определение зависимости α_m от температуры

Предварительно нагревают воду в стакане до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, погружают в него сосуд с водой или с 20, 40, 60, 80%-ным раствором спирта, дают ему затем медленно остывать, производя через каждые 10°C по десять отсчетов H_1 и H_2 и занося результаты в табл. 3. Затем находят ΔH .

Таблица 3.

Зависимость α_m от температуры

$T, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$H_1, \text{ мм}$	$H_2, \text{ мм}$	α	$\Delta\alpha$	$\frac{\Delta\alpha}{\alpha_{\text{cp}}}$ * 100%
80					
60					
40					
20					

Определив по этим отсчетам α коэффициент поверхностного натяжения для нескольких температур, заносят полученные значения α_m в табл. 3, по которым строят график зависимости α_T от температуры.

Методические указания по выполнению работ

1. Прибор Ребиндера состоит из стеклянных элементов и для сохранения его в исправности, получения хороших результатов необходимо все операции производить аккуратно, соблюдать соответствующие требования техники безопасности.

2. При подключении отсасывающей системы к сосуду с очередной исследуемой жидкостью, не прилагая больших усилий, плотно закрыть сосуд пробкой. Трубка, сообщающая сосуд с атмосферой, заканчивается оттянутым концом, перемещается в (пробке) вниз до соприкосновения с поверхностью до образования мениска.

3. Отсасывание воздуха из системы начинается при вытекании воды из аспиратора. При открывании крана необходимо следить за показаниями манометра. Если вода вытекает, а давление в системе не меняется, надо проверить, хорошо ли поставлены пробка аспиратора, пробка на сосуде, уплотнение около трубок на пробке. Регулируя открытие крана, необходимо добиться, чтобы пузырьки воздуха отделялись от трубки регулярно по одному. После этого можно делать отсчеты высоты столбов воды в трубках манометра. Так как на шкале отсчет идет снизу вверх, записывается сначала отсчет по мениску столба воды, связанной с аспиратором, а затем – с измеряемой жидкостью. Отсчеты производятся для момента, когда

происходит выход пузырьков воздуха. При этом высота столба в открытой трубке минимальна. Для одного раствора берется не менее 10 отсчетов. При переносе отсасывающей головки из одного сосуда в другой следует следить, чтобы на трубке, сообщающей сосуд с атмосферой, не оставались капельки исходной жидкости.

4. При изучении зависимости коэффициента поверхностного натяжения от процентного состава двух смешивающихся жидкостей (вода – спирт) измерения последовательно повторяются, по крайней мере, два раза: начиная от дистиллированной воды с переходом к смесям с большим содержанием второй жидкости, затем в обратном порядке. По усредненным данным строится график.

Контрольные вопросы:

1. В зависимости от каких факторов изменяется коэффициент поверхностного натяжения?
2. Какими свойствами обладает поверхностный слой жидкости?
3. Каково направление действия сил поверхностного натяжения?
4. Что называется коэффициентом поверхностного натяжения, в каких единицах измеряется эта величина?
5. Почему газовый пузырек под действием сил поверхностного натяжения принимает форму шара?
6. Какой жидкостью следует наполнить манометр, чтобы погрешность измерения была минимальной?

Литература

1. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Молекулярная физика. – М., 1963.
2. Физический практикум /Под редакцией В.И. Ивероновой. – М., 1962.

