

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 03.02.2021 15:24:33  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

## МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
Учреждение высшего профессионального образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра фундаментальной химии и химической технологии



## ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ

Методические указания к лабораторным работам  
по дисциплине «Коллоидная химия» для студентов  
направления 18.04.01 (240100.62) «Химическая технология»,  
04.03.01 (020100.62) «Химия» и специальности  
04.05.01 (020201.65) «Фундаментальная и прикладная химия»

Курск 2015

УДК 541.18 (076.5)

Составитель: Г.В.Бурых

Рецензент

Кандидат химических наук, доцент С.Д.Пожидаева

**Поверхностное натяжение:** методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Коллоидная химия» /Юго-зап.гос.ун-т; сост.: Г.В.Бурых. Курск, 2015. 15 с.: табл.2, рис 2. Библиогр.: с.15

Содержат теоретические сведения и практические рекомендации по выполнению лабораторных работ по курсу «Коллоидная химия» раздел поверхностные явления. Рассматриваются лабораторные работы по определению поверхностного натяжения на границе водный раствор-воздух различными методами

Методические указания предназначены для использования в текущем контроле лабораторных работ для студентов направления 18.04.01 (240100.62);04.03.01 (020100.62) и специальности 04.05.01 (020201.65)

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.  
Усл.печ.л. . Уч.-изд.л. . Тираж 30 экз. Заказ . Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет  
305040 Курск, ул.50 лет Октября, 94.

## Содержание

Введение	4
Лабораторная работа	6

Определение поверхностного натяжения методом максимального давления в пузырьке	
Лабораторная работа	9
Определение поверхностного натяжения сталагмометрическим методом	
Контрольные вопросы	13
Библиографический список	14

## **Введение**

Коллоидные системы – это высокоразвитые гетерогенные системы, характеризующиеся сильно развитой поверхностью раз-

дела фаз. Поверхностный слой, как известно, находится в особых условиях по сравнению со всем объемом вещества. Молекулы поверхностного слоя дисперсной фазы граничат не только с себе подобными молекулами, но и с молекулами окружающей ее дисперсионной среды. Поэтому равнодействующая молекулярных сил в поверхностном слое не равна нулю. Для увеличения поверхности, т.е. переноса некоторого количества молекул из объема в поверхностный слой, надо совершить работу против сил молекулярного сцепления. Производимая над системой работа в этом случае приводит к увеличению свободной поверхностной энергии. Свободная поверхностная энергия  $A$  выражается уравнением (1):

$$A = \sigma S \quad (1)$$

где  $S$  — поверхность;

$\sigma$  — свободная энергия единицы поверхности, или, иначе, удельная свободная поверхностная энергия

Изотермическая обратимая работа, производимая для образования поверхности, полностью переходит в свободную энергию вновь образованной поверхности. Поэтому величине  $\sigma$  можно дать и другое определение —  $\sigma$  численно равна изотермической обратной работе, необходимой для увеличения поверхности на  $1 \text{ см}^2$ .

Удельную свободную поверхностную энергию на границе какого-либо вещества с собственным паром обычно называют поверхностным натяжением.

В соответствии с уравнениями (2) и (3)

$$U_s = \sigma - T \left( \frac{\delta \sigma}{\delta T} \right)_p \quad (2)$$

или

$$U_s = \sigma + q_s \quad (3)$$

полная поверхностная энергия  $U_s$  содержит две составляющие  $q_s$  и  $\sigma$ . С повышением температуры поверхностное натяжение  $\sigma$  уменьшается, а теплота образования единицы поверхности  $q_s$  увеличивается. Это объясняется тем, что с повышением температуры расстояние между молекулами в жидких телах увеличивается и соответственно равнодействующая межмолекулярных сил (и, следовательно, поверхностное натяжение) уменьшается. Вместе с тем с

ростом разрыхленности поверхностного слоя увеличивается его энтропия. При линейной зависимости поверхностного натяжения от температуры, что обычно наблюдается для большинства жидкостей, поверхностное натяжение уменьшается на величину  $Td\sigma/dT$ , тогда как энтропийная составляющая  $q_s$  увеличивается. Таким образом, полная поверхностная энергия для таких систем является температурным инвариантом.

Для определения полной поверхностной энергии необходимо знать поверхностное натяжение и его температурный коэффициент.

Наиболее доступными для экспериментального измерения поверхностного натяжения являются системы жидкость — газ и жидкость — жидкость. Существующие методы дают возможность измерять поверхностное натяжение при неподвижной межфазной поверхности (статические) и при движущейся поверхности раздела (динамические). Недостатком динамических методов является сложность их аппаратного оформления. Кроме того, для надежного измерения поверхностного натяжения растворов, и, в частности, растворов ПАВ, необходимо их выдерживать определенное время для установления равновесия в поверхностном слое.

На практике наиболее часто используют статические или полустатические методы, позволяющие измерять равновесные значения поверхностного натяжения жидкостей. К статическим относятся методы капиллярного поднятия жидкости и висячей (лежащей) капли. Полустатическими являются методы максимального давления в капле (пузырьке), отрыва кольца или пластины и сталагмометрический метод.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА**

### ***Определение поверхностного натяжения методом максимального давления в пузырьке***

*Цель работы:* измерение поверхностного (межфазного) натяжения; определение зависимости поверхностного натяжения чистых жидкостей от температуры; расчет полной поверхностной энергии и ее составляющих

*Оборудование и реактивы:* прибор для определения поверхностного натяжения, термостат, пипетки, исследуемая и стандартная жидкости

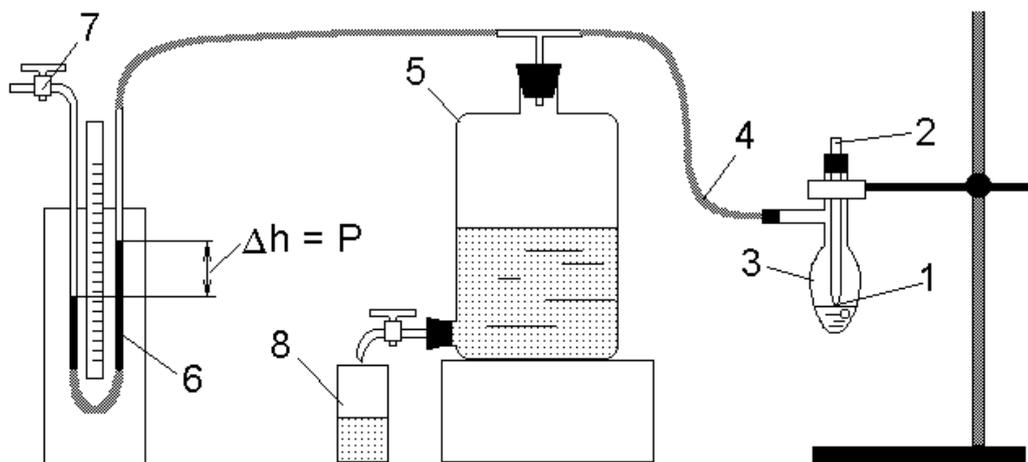
Метод максимального давления в пузырьке основан на измерении давления, при котором происходит отрыв пузырька газа (воздуха), выдуваемого в жидкость через капилляр.

При медленном продавливании пузырька из капилляра в жидкость в нем возникает избыточное внутреннее давление  $\Delta p$ , которое согласно закону Лапласа определяется поверхностным натяжением  $\delta_{ж-г}$  и кривизной поверхности пузырька. Радиус кривизны  $r_M$  изменяется по мере продавливания пузырька в жидкость. Со временем радиус кривизны уменьшается, пузырек становится все более выпуклым и при  $r_M = r$  избыточное давление внутри пузырька достигает максимального значения  $\Delta p_{\text{макс}}$ . Это давление соответствует внешнему давлению в капилляре. Для дальнейшего увеличения размера пузырька не требуется повышение внешнего давления, поскольку с ростом пузырька внутреннее давление в нем в соответствии с уравнением Лапласа уменьшается. В результате воздух, находящийся в трубке, устремляется к сформировавшему пузырьку и приводит к его отрыву от капилляра. Таким образом, определение поверхностного натяжения рассматриваемым методом сводится к измерению внешнего давления, равного  $\Delta p_{\text{макс}}$ .

При определении поверхностного натяжения методом максимального давления в пузырьке следует также учитывать гидростатическое давление слоя жидкости, находящейся над ним. Однако, если глубина погружения капилляра в жидкость незначительна и радиус мал, поправкой на это давление можно пренебречь.

Максимальное давление в пузырьке в простейшем варианте можно измерить с помощью прибора Ребиндера. Прибор состоит из измерительной ячейки с капилляром, аспиратора, с помощью которого создают внешнее давление, и микроманометра (рисунок 1).

1- жидкость; 2- капилляр; 3-ячейка;4-соединительная трубка; 5-аспиратор; 6-регулятор уровня манометрической жидкости;



7-трехходовой кран; 8-приемник

Рисунок 1 – Схема установки Ребиндера

Измерения  $\Delta P_{\text{макс}}$  проводят следующим образом. Исследуемую жидкость наливают в ячейку до уровня, при котором кончик капилляра погружается в нее не более чем на 1 мм (избыток жидкости отбирают с помощью капилляра). Ячейку соединяют отводной трубкой с аспиратором и краном микроманометра.

Вращая регулятор уровня манометрической жидкости, устанавливают мениск в манометрической трубке против нулевой отметки. Кран поворачивают по часовой стрелке, соединяя микроманометр с системой разрежения, в результате чего манометрическая жидкость поднимается в трубке.

Сформировавшийся на конце капилляра пузырек воздуха при достижении  $\Delta p_{\text{макс}}$ , пробивая поверхностный слой, лопается. В этот момент давление в системе снижается и манометрическая жидкость начинает опускаться, но затем в результате образования нового пузырька она снова поднимается. Таким образом, уровень манометрической жидкости все время колеблется. Чтобы уменьшить пульсацию жидкости в измерительной трубке, добиваются равномерного проскока пузырьков, с интервалом 20-30 с. Время образования и отрыва пузырьков воздуха регулируют путем изменения скорости вытекания воды из аспиратора. Если показания манометра  $\Delta p_{\text{макс}}$  в течение 2-3 мин не изменяется, то его считают установившимся и записывают в журнал.

Чтобы исключить трудоемкую операцию по измерению радиуса капилляра, для определения поверхностного натяжения используют относительный метод. Для этого находят константу ячейки  $\mathfrak{R}$ , которую рассчитывают по значения максимального давления  $\Delta p_{\text{ст}}$  и поверхностного натяжения  $\sigma_{\text{ст}}$  для стандартных жидкостей (обычно дистиллированной воде) по формуле (1):

$$\mathfrak{R} = \frac{\sigma_{\text{ст}}}{\Delta p_{\text{ст}}}$$

Определив коэффициент  $\mathfrak{R}$  и измерив давление  $\Delta p_{\text{макс}}$  для исследуемой жидкости, рассчитывают значение поверхностного натяжения по формуле (2)

$$\delta_{\text{ж-г}} = \mathfrak{R} \Delta p_{\text{макс}} . \quad (2)$$

Полученные результаты заносят в таблицу 1.

Измеряют поверхностное натяжение исследуемой жидкости при нескольких значениях температуры. Перед измерениями проводят термостатирование жидкостей при каждом значении температуры.

Таблица 1 – Экспериментальные и расчетные данные для вычисления полной поверхностной энергии жидкости

Тем-	Изме-	Поверхно-	Темпера-	Теплота	Полная
------	-------	-----------	----------	---------	--------

температура, К	температурный коэффициент для расчета, $\sigma_{ж-г}$	поверхностное натяжение $\sigma_{ж-г}$ , Дж/м <sup>2</sup>	температурный коэффициент $\frac{d\sigma}{dT}$	образованная единица поверхности, Дж/м <sup>2</sup>	поверхностная энергия, Дж/м <sup>2</sup>

По данным измерений, после проведения эксперимента:

- строят график зависимости  $\sigma = f(T)$ ;
- по тангенсу угла наклона полученной прямой находят значение температурного коэффициента  $d\sigma/dT$ ;
- для каждой температуры по уравнениям 1 и 2 рассчитывают  $U_s$  и  $q_s$ ;
- делают вывод о влиянии температуры на термодинамические параметры поверхностного слоя жидкости.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### *Определение поверхностного натяжения сталагмометрическим методом*

*Цель работы:* измерение поверхностного (межфазного) натяжения сталагмометрическим методом водных растворов веществ, принадлежащих одному гомологическому ряду

*Оборудование и реактивы:* прибор для определения поверхностного натяжения, термостат, пипетки, исследуемая и стандартная жидкости.

Измерение поверхностного натяжения *сталагмометрическим методом* основано на том, что в момент отрыва капли от нижнего конца вертикальной трубки вес капли  $g$  уравнивается силой поверхностного натяжения  $F$ , которая, действует вдоль окружности шейки капли, и препятствует ее отрыву. В первом приближении можно считать, что

$$F = 2\pi r\sigma \quad (3)$$

где  $r$  - внутренний радиус трубки.

При более точном определении поверхностного натяжения следует учитывать, что разрыв происходит в шейке капли, которая имеет меньший радиус, чем трубка. Поэтому значение радиуса необходимо умножить на некоторый коэффициент  $k$ , зависящий от отношения объема капли  $V$  к кубу радиуса трубки, т.е.

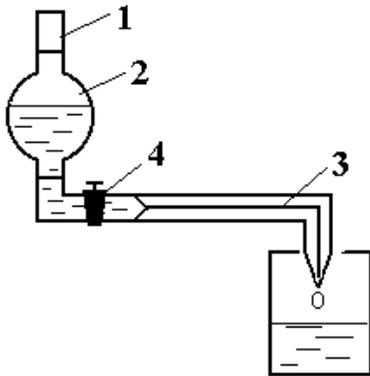
$$k = f(V/r^3) \quad (4)$$

Экспериментально установлено, что коэффициент не очень сильно меняется при изменении объема капель даже в 1000 раз.

Для капель, сравнительно мало отличающихся по объему, этот коэффициент можно считать одинаковым. В момент отрыва, определив вес образующейся капли, можно определить поверхностное натяжение.

Для определения веса капли пользуются сталагмометром (рисунок 2), который представляет собой стеклянную трубку (1), с расширением посередине (2) и заканчивающейся внизу капилля

Рисунок 2 -Принципиальная схема сталагмометра



- 1 - стеклянная трубка;  
 2 - расширение;  
 3 - капилляр;  
 4 - винтовой зажим.

ром (3). Трубка обычно имеет горизонтальную коленчатую часть, в которую впаян капилляр для того, чтобы жидкость капала медленнее.

Расширенная часть трубки ограничена двумя метками. Для измерения поверхностного натяжения в сталагмометр засасывают исследуемую жидкость выше верхней метки, начинают считать число капель  $n$  жидкости, вытекающей из трубки до тех пор, пока уровень жидкости не достигнет нижней метки.

Если известны объем расширенной части сталагмометра  $V$  и плотность жидкости  $\rho$ , то вес капли  $g$  можно вычислить по формуле:

$$g = \frac{Vg\rho}{n} \quad (5)$$

где  $g$  - ускорение силы тяжести,  
 $n$  - число капель жидкости.

Очевидно, что при отрыве капли должно соблюдаться равенство:

$$2k\pi r\sigma = \frac{Vg\rho}{n} \quad (6)$$

Обычно проводят относительное определение поверхностного натяжения, сравнивая скорость истечения из данного сталагмометра исследуемой жидкости и жидкости с известным поверхностным натяжением. В этом случае справедливо соотношение:

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_{cm}} = \frac{\rho_x}{\rho_{cm}} \cdot \frac{n_{cm}}{n_x} \quad (7)$$

В уравнении индекс "х" относится к параметрам исследуемой жидкости, а индекс "см" к параметрам жидкости с известным поверхностным натяжением.

Если стандартной жидкостью является вода, величину  $n_{см}$  называют "водяным числом" сталагмометра. При измерении сталагмометром поверхностного натяжения растворов эмульгаторов, смачивателей и моющих средств, имеющих большие молекулы, необходимо учитывать время образования капли. В противном случае, если капля образуется быстро, на ее поверхности из-за медленной диффузии таких молекул не успевает установиться равновесное значение поверхностного натяжения. Для подобных растворов измерение проводят при различных, все уменьшающихся скоростях истечения, пока число капель  $n_x$  не приобретет максимальное постоянное значение. Это значение и берут для расчета. Для увеличения времени образования капли в простейшем случае пользуются винтовым зажимом, позволяющим изменить скорость истечения. При правильно выбранном времени образования капель сталагмометрический метод дает достаточно точные значения поверхностного натяжения растворов ПАВ.

При исследовании зависимости  $\sigma = f(C)$  водных растворов, принадлежащих к одному гомологическому ряду, было обнаружено, что каждый последующий член ряда сильнее понижает поверхностное натяжение воды, чем предыдущий, т.е при переходе от  $C_n$  к  $C_{n+1}$  одного гомологического ряда поверхностное натяжение изменяется в  $a$  раз:

$$a = G_n/G_{n+1} \quad (8)$$

где  $G$  – поверхностная активность вещества,

$n$  – число атомов углерода,

$a$  - константа, характерная для данного гомологического ряда.

Для проведения исследований готовят растворы ПАВ соответствующей концентрации в больших пробирках или отдельных колбах. Измерение поверхностного натяжения сталагмометрическим методом растворов проводят в порядке возрастания их концентрации, начиная с чистой воды.

Полученные результаты заносят в таблицу 2

Таблица 2- Результаты выполненного эксперимента

№	С, МОЛЬ/Л	$C_n$			$C_{n+1}$			$C_{n+2}$			Вода	
		$n_x$	$\sigma$ , Н/м	$\rho$ , КГ/М <sup>3</sup>	$n_x$	$\sigma$ , Н/м	$\rho$ , КГ/М <sup>3</sup>	$n_x$	$\sigma$ , Н/м	$\rho$ , КГ/М <sup>3</sup>	$n_{cm}$	$\rho$ , КГ/М <sup>3</sup>

После выполнения эксперимента необходимо:

- построить изотермы  $\sigma = f(C)$  для исследуемых растворов;
- определить поверхностную активность ПАВ ( $G_n, G_{n+1}, G_{n+2}$ );
- проверить правило Траубе двумя методами:
  - а) по угловому коэффициенту касательных, проведенных в точке  $[C] = 0$  моль/л (при  $\sigma = \sigma_0$ );
  - б) по правилу Траубе

$$\frac{G_{n+2}}{G_{n+1}} = \frac{G_{n+1}}{G_n}$$

### Контрольные вопросы

1. Что изучает коллоидная химия и каковы признаки ее объектов?
2. По каким признакам классифицируют объекты коллоидной химии? Приведите примеры дисперсных систем.
3. Какие поверхностные явления изучает коллоидная химия?
4. Что является мерой гетерогенности и степени раздробленности дисперсных систем?
5. Какими параметрами характеризуют степень раздробленности и какова связь между ними?
6. Что такое поверхностное натяжение и в каких единицах оно измеряется?
7. Как зависит поверхностное натяжение от природы вещества, образующего поверхность (межмолекулярного взаимодействия)?
8. Какие методы используются для определения поверхностного натяжения жидкостей и твердых тел?
9. На чем основано измерение поверхностного натяжения жидкостей методом капиллярного поднятия?
10. На чем основано измерение поверхностного натяжения жидкостей методом наибольшего давления пузырька воздуха? Положительным или отрицательным будет избыточное давление в жидкости на границе с воздушным пузырьком?
11. На чем основано определение поверхностного натяжения методом отрыва кольца и сталагмометрическим методом?
12. Как и почему зависит поверхностное натяжение тел от температуры?
13. По какому уравнению можно рассчитать полную поверхностную энергию? Какие данные необходимы для такого расчета?

### **Библиографический список**

1. Щукин Е. Д. Коллоидная химия: учебник / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. - 4-е изд., испр. - М. : Высшая школа, 2006. - 444 с.

2. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии (поверхностные явления и дисперсные системы). -М.: Химия, 1989.- 487 с.

3. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии/ Под ред. Ю.Г.Фролова. -М.: МХТИ им. Д.И.Менделеева, 1986. -310 с.

4. Баранова В.И., Бибик Е.Е., Кожевникова Н.М. Практикум по коллоидной химии. -М.: Высшая школа, 1983. -215 с.

5. Меерсон С.И., Хавкина Б.Л. Коллоидная химия. -М.: Изд-во Моск. текстильной академии, 1981.- 112с.