

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО–СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра химии и инженерной экологии в строительстве

Громаков Н.С.

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ РАСТВОРОВ

**«Сталагмометрическое измерение поверхностного натяжения
на границе раздела водных растворов ПАВ и воздуха»**

Методические указания
к лабораторной работе №1 по коллоидной химии

Казань, 2017

УДК 544.72

ББК 22.0

Г 32

Г 32 Поверхностное натяжение растворов: Методические указания по коллоидной химии для студентов дневной и заочной форм обучения / Сост. Н.С.Громаков. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2017 – 10 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

Методические указания составлены в соответствии с программой курса коллоидной химии для студентов направления подготовки Техносферная безопасность. Профиль: "Инженерная защита окружающей среды".

В экспериментальной части даются краткое представление о основах сталагмометрического метода и подробные методические указания для выполнения лабораторной работы по измерению поверхностного натяжения различных растворов различными методиками.

Ил. 1, приложение 1.

Рецензент:

кхн, доцент кафедры ТСМИК КГАСУ Фахрутдинова В. Х.

УДК 544.72

ББК 24.0

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2017.

© Громаков Н.С., 2017

Лабораторная работа №1

Цель работы: Научиться определять поверхностное натяжение растворов поверхностно-активных веществ на границе вода – воздух либо методом счёта капель либо взвешиванием (сталагмометрический метод измерения поверхностного натяжения). Экспериментально установить зависимость поверхностного натяжения от концентрации растворенного вещества (ПАВ), рассчитать и построить график зависимости адсорбции от концентрации, вычислить толщину адсорбционного слоя и площадь, занимаемую одной молекулой ПАВ.

Оборудование: Прибор для измерения поверхностного натяжения – сталагмометр в виде бюретки; лабораторные весы; 5-6 бюксов или стаканчиков ёмкостью 10 – 25 мл; 5-6 колб вместимостью 50 мл; 5-6 колб вместимостью 100 мл; 5-6 мерных колб вместимостью 100 мл; пипетка вместимостью 25 мл; растворы ПАВ.

Предварительно следует приготовить раствор необходимой концентрации из числа ПАВ указанных преподавателем. Затем из полученного раствора (№1) приготовить серию из 5 разбавленных растворов путём последовательного разбавления *вдвое*. Для этого в мерную колбу вместимостью 50 мл внести 25 мл раствора ПАВ концентрации №1 и довести его объём до 50 мл дистиллированной водой и тщательно перемешать. Из приготовленного таким образом раствора (№2) отобрать 25 мл раствора и перенести в другую мерную колбу на 50 мл, объём раствора опять довести до метки дистиллированной водой. Таким образом, готовят раствор №3, №4 и №5.

В данной работе по заданию преподавателя используется одна из двух методик сталагмометрического определения поверхностного натяжения, основанных либо на взвешивании, либо на счёте капель.

Сталагмометрический метод. Определение поверхностного натяжения этим методом заключается в измерении объёма или веса капли жидкости, медленно отрывающейся от кончика капилляра в нижнем конце сталагмометрической трубки. В основе метода лежит положение о том, что в момент отрыва сила тяжести капли q уравнивается силами поверхностного натяжения F . Силы поверхностного натяжения действуют вдоль окружности шейки капли и препятствуют её отрыву. В момент отрыва можно считать, что

$$q = F \approx 2\pi r \sigma_{ж-г} \quad (1)$$

где r – внутренний радиус капилляра.

Обычно отрыв капель не происходит по линии внутреннего периметра капилляра сталагмометрической трубки радиусом r , а осуществляется в шейке капли, имеющей меньший радиус. Поэтому для определения значения $\sigma_{ж-г}$ в выражении (1) величину r следует умножить на поправочный коэффициент β , зависящий от радиуса и объёма капли:

$$q = F \approx 2\pi \beta r \sigma_{ж-г} \quad (2)$$

Вес капли чаще всего определяют следующим образом. Сталагмометрическую трубку заполняют исследуемой жидкостью определённого объёма V и измеряют число капель n , вытекающих из данного объёма. Вес капли q рассчитывают по уравнению:

$$q = \frac{V \rho g}{n} \quad (3)$$

где ρ – плотность жидкости.

В связи со сложностью определения радиуса капилляра r и коэффициента β поверхностное натяжение находят путём сравнения данных по истечению из сталагмометрической трубки исследуемой жидкости и жидкости с известным поверхностным натяжением. Значение $\sigma_{ж-г}$ рассчитывают по формуле

$$\sigma_{ж-г} = \sigma_{ст} \frac{\rho n_{ст}}{\rho_{ст} n} \quad (4)$$

где $\sigma_{ст}$, $\rho_{ст}$ и $n_{ст}$ – значения σ , ρ и n для стандартной жидкости.
или

$$\sigma = k m_{капли} \quad (5)$$

где $k = \frac{\sigma_{ст} \cdot n_{ст}}{V \cdot \rho_{ст} \cdot g}$ – постоянная капилляра, $m_{капли} = \frac{V \cdot \rho_{ст} \cdot g}{n}$ – масса капли (6)

У нас в качестве стандартной жидкости используется дистиллированная вода, у которой $\sigma_{H_2O} = 72,7$ мДж/м² при 20°C. Зависимость поверхностного натяжения от температуры (°C) имеет вид:

$$\sigma_0 = 73,5 - 0,15(t - 15) \text{ дин/см (Н/м)}. \quad (7)$$

Таблица 1. Поверхностное натяжение воды σ в контакте с воздухом в зависимости от температуры 0 - 100 °C

t, °C	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\sigma, 10^{-3}$	75,6	74,9	74,2	72,8	71,2	69,6	67,9	66,2	64,4	62,6	60,8	58,9

При учёте всех поправок погрешность сталагмометрического метода не превышает 1%. Метод используется для измерения полустатического поверхностного натяжения при продолжительности образования капли 2–10 с.

Ход работы:

1) Собрать лабораторную установку, изображённую на рисунке 1.

Предварительно следует поупражняться в работе с бюреткой и провести работу по определению постоянной капилляра k . Для этого заливают в бюретку (предварительно тщательно вымытую) 3 мл дистиллированной воды. Носик бюретки удобнее всего заполнить с помощью резиновой груши отсасывая воздух через верхнее отверстие бюретки, при этом носик бюретки с открытым краем погрузить в стакан с исследуемым раствором. После это-

го с помощью крана устанавливают постоянную скорость истечения исследуемого раствора (лучше 6–12 капель в минуту).

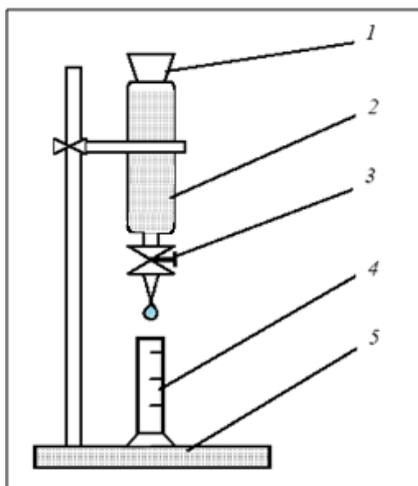


Рис.1.Схема лабораторной установки для измерения поверхностного натяжения:

1) воронка; 2) сталагмометр; 3) кран; 4) бюкс; 5) штатив.

При калибровке сталагмометра стандартной жидкостью (водой) используйте ту же методику, при помощи которой будете определять поверхностное натяжение исследуемых растворов.

1. Измерение поверхностного натяжения счётом капель

Измерение поверхностного натяжения исследуемого раствора проводят следующим образом.

1. Сначала проведите калибровку сталагмометра водой, как стандартной жидкостью.

2. Для этого наберите в бюретку (сталагмометр) ~10 мл исследуемой воды (в том числе и носик) и закройте кран сталагмометра.

3. По секундомеру установите скорость истечения жидкости 15 – 20 капель в минуту (лучше 6 – 12).

4. При установившейся скорости каплепадения воды из сталагмометра в стаканчик измерьте число капель n воды, приходящейся на 1 мл истекающей воды. Считайте сколько капель в 1 мл воды. Опыт повторите трижды.

5. Результаты измерения числа капель запишите в табл. 2.

Таблица 2. Результаты исследования поверхностного натяжения воды.

t опыта	Плотность $\rho_{ст}$, кг/м ³	Объем воды V , мл	Количество капель n , шт.				Поверхностное натяжение $\sigma_{ст}$, мДж/м ²	Постоянная сталагмометра k
			1	2	3	среднее		
...	1000	1	n_1	n_2	n_3	$n_{ст}$...	

Постоянная капилляра рассчитывается по формуле (6): $k = \frac{\sigma_{\text{ст}} \cdot n_{\text{ст}}}{V \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot g}$

Величину поверхностного натяжения воды $\sigma_{\text{ст}}$ используйте на основе уравнения 7 или данных таблицы 1 в зависимости от температуры опыта (обязательно учитывать температуру воды и использовать соответствующее значение поверхностного натяжения).

Далее приступают к измерению поверхностного натяжения исследуемых растворов по той же методике.

6. Наберите в бюретку (сталагмометр) ~10 мл исследуемого раствора (в том числе и носик) и закройте кран сталагмометра.

7. По секундомеру установите скорость истечения жидкости 15 – 20 капель в минуту (лучше 6 – 12).

8. При установившейся скорости каплепадения раствора из сталагмометра в стаканчик измерьте число капель n , приходящихся на 1 мл истекающего раствора. Считайте число капель, входящих в 1 мл раствора. Опыт повторите трижды.

9. Результаты измерения числа капель исследуемой жидкости запишите в табл. 3.

Таблица 3. Результаты исследования зависимости σ от концентрации

Температура опыта $t = \dots \text{ }^\circ\text{C}$				Постоянная сталагмометра $k = \dots, \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{кг})$					
№ опыта	Концентрация раствора c , моль/л	Плотность раствора ρ , г/мл	Объём раствора V , мл	Количество капель n , шт.				Масса одной капли m_k , мг	Поверхностное натяжение σ , Дж/м ²
				1	2	3	Среднее		
1			1						
2			1						
3			1						
4			1						

10. Повторите измерения при той же постоянной температуре, но при разной концентрации исследуемого раствора. Используйте растворы, приготовленные в начале занятия путём разбавления вдвое. Измерение поверхностного натяжения растворов ПАВ разной концентрации начинают с самой маленькой концентрации. Перед отбором капель бюретку каждый раз промывают исследуемым раствором.

Каждое измерение массы капли повторяют не менее трех раз и рассчитывают среднее значение поверхностного натяжения раствора данной концентрации ПАВ. Занесите полученные данные в табл. 3.

Для расчёта поверхностного натяжения исследуемых растворов используйте формулу (5) : $\sigma = km_{\text{капли}}$ и данные табл. 3.

Массу каплю рассчитывают по уравнению: $m_{\text{капли}} = \frac{V \cdot \rho \cdot g}{n}$

На основании полученных данных постройте график зависимости поверхностного натяжения от концентрации $\sigma = f(c)$. Кривая (изотерма) зависимости поверхностного натяжения от концентрации ПАВ начинается из точки на оси ординат, отвечающей поверхностному натяжению воды при температуре эксперимента, и постепенно ниспадает с возрастанием концентрации раствора поверхностно-активного вещества. По графику $\sigma = f(c)$ можно вычислить величину адсорбции для любой концентрации и, следовательно, построить изотерму адсорбции $\Gamma = f(c)$. (Построение графиков и обобщение полученных результатов удобнее провести после изучения темы «Адсорбция»).

2. Измерение поверхностного натяжения взвешиванием

Измерение поверхностного натяжения исследуемого раствора взвешиванием проводят следующим образом. (Перед началом работы для удаления загрязнений из капилляра сталагмометрическую трубку несколько раз промывают хромовой смесью и водой).

1) На аналитических весах взвешивают три небольших сухих бюкса или стаканчика (примерно, на 15 – 25 мл) и записывают результат.

2) Заливают в бюретку (предварительно тщательно вымытую) ~10 мл дистиллированной воды.

3) С помощью крана устанавливают постоянную скорость истечения исследуемого раствора (примерно, 1 капля за 5 – 10 секунд).

4) При установившемся каплепадении по очереди в каждый из трёх сухих и предварительно взвешенных бюксов (колб) отобрать от 30 до 40 капель воды, после чего кран закрыть. Число капель n записать в таблицу.

5) Взвесить каждый из бюксов с водой и рассчитать массу одной капли ($m_{\text{капли}}$) в каждом из них.

6) Постоянную капилляра определяют по известному поверхностному натяжению дистиллированной воды, например, равному $\sigma_{\text{H}_2\text{O}} = 72,7$ мДж/м² при 20°С, и массе одной капли воды $m_{\text{капли}}$:

$$k = \frac{\sigma_{\text{H}_2\text{O}}}{m_{\text{капли}}} = \frac{72,7}{m_{\text{капли}}}$$

Величина k зависит от диаметра и материала капилляра, его чистоты и температуры опыта. Поэтому при расчёте k по общей формуле: $k = \frac{\sigma_{\text{H}_2\text{O}}}{m_{\text{капли}}}$ сле-

дует учитывать температуру воды и использовать соответствующее значение поверхностного натяжения. Величину поверхностного натяжения воды в за-

висимости от температуры опыта используйте на основе уравнения 7 или данных таблицы 1.

Измерение k повторить не менее трёх раз и рассчитать среднее значение.

Таблица 4. Результаты исследования поверхностного натяжения воды.

№	Температура, С	Масса сухого бюкса, г	Масса бюкса с водой, г	Число капель, n	Масса 1 капли воды, г	средняя $m_{\text{капли}}$	Постоянная сталагмометра k
1		m_1	m_1				
2		m_2	m_2				
3		m_3	m_3				

Аналогичным образом определяют поверхностное натяжение приготовленных растворов ПАВ заданной концентрации (начиная с самой маленькой концентрации). Перед отбором капель бюретку каждый раз промывают исследуемым раствором.

Каждое измерение массы капли повторяют не менее трех раз и рассчитывают среднее значение поверхностного натяжения раствора данной концентрации. Поверхностное натяжение определяют по формуле:

$$\sigma = km_{\text{капли}}$$

где k – постоянная капилляра, которая зависит от диаметра капилляра и материала капилляра, его чистоты.

Таблица 5. Результаты исследования зависимости σ от концентрации

Температура опыта $t = \dots$ °С				Постоянная сталагмометра $k = \dots$, Дж/(м ² ·кг)				
№ опыта	Концентрация р-ра c , моль/л	Объём раствора V , мл	Количество капель n , шт.				Масса капли m_k , мг	Поверхностное натяжение σ , Дж/м ²
			1	2	3	Среднее		
1		1						
2		1						
3		1						
4		1						

На основании полученных данных постройте график зависимости поверхностного натяжения от концентрации $\sigma = f(c)$. Кривая (изотерма) зависимости поверхностного натяжения от концентрации ПАВ начинается из точки на оси ординат, отвечающей поверхностному натяжению воды при температуре эксперимента, и постепенно ниспадает с возрастанием концентрации раствора поверхностно-активного вещества. По графику $\sigma = f(c)$ можно вычислить величину адсорбции для любой концентрации и, следовательно, построить изотерму адсорбции $\Gamma = f(c)$. (Построение графиков и обсуждение полученных результатов удобнее провести после изучения темы «Адсорбция».

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО–СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра химии и инженерной экологии в строительстве

ОБРАЗЕЦ

Лабораторная работа №1
по дисциплине «Коллоидная химия»

на тему:

«Определение поверхностного натяжения раствора
Измерение поверхностного натяжения счетом капель»
или Измерение поверхностного натяжения раствора взвешиванием

Выполнил(а) ст. группы 5ИЗ 201
Фамилия И.О.
Проверил доц. кафедры ХИЭС
Громаков Н.С.

Казань, 2017

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ РАСТВОРОВ

Методические указания
к лабораторной работе по коллоидной химии
для студентов дневной и заочной
форм обучения

Составители: Громаков Николай Семенович

Редактор Г.А.Рябенкова

Издательство
Казанского государственного архитектурно-строительного университета
Лицензия ЛР N 020379 от 22.01.92 г.

Подписано в печать

Заказ

Тираж 50 экз

Бумага тип N2

Печать офсетная

Формат 60 × 84/16

Усл.-печ.л. 2.0

Учетн.-изд.л. 2.0

Отпечатано в полиграфическом секторе
Издательства КГАСУ.
420043, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1.