

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧЕРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

**И.И. Осовская, Е.Ю. Демьянцева,
О.С. Андранович**

Определение поверхностного натяжения методом отрыва кольца Дю-Нуи

Учебно-методическое пособие

**Санкт-Петербург
2016**

Осовская И.И., Демьянцева Е.Ю., Андранович О.С. Определение поверхностного натяжения методом отрыва кольца Дю-Нуи: учебно-методическое пособие/ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2016.- 24с.

Пособие содержит теоретический материал и указания к выполнению лабораторных работ по измерению поверхностного натяжения методом отрыва кольца как поверхностно-активных, так и инактивных веществ, и определению поверхностной активности и удельной адсорбции поверхностно-активных веществ.

Рекомендовано для бакалавров и магистров по направлению «Химическая технология».

Рецензент: доцент кафедры органической химии, канд.хим.наук. А.Н.. Евдокимов

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом университета в качестве учебно-методического пособия.

Редактор и техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан2016, поз.89

Подп. к печати 08.11.2016 Формат 60х84/16. Бумага тип №1. Печать офсетная. Печ.л. 1,5; уч.-изд.л. 1,5. Тираж 30 экз. Изд. № 89. Заказ

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. 198095, СПб, ул. Ивана Черных,4.

©Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, 2016

© Осовская И.И., Демьянцева Е.Ю., Андранович О.С. 2016

Оглавление

Введение.....	4
1. Поверхностные вещества.....	5
2. Поверхностное натяжение.....	10
2.1. Метод определения поверхностного натяжения.....	10
3. Виды изотерм.....	11
3.1. Изотермы поверхностного натяжения ПАВ.....	12
4. метод Дю-Нуи.....	16
5. Лабораторные работы измерения ПН методом Дю-Нуи.....	19
Библиографический список.....	23

Введение

Наиболее важной характеристикой поверхности является поверхностное натяжение. Оно характеризует избыток поверхностной энергии, приходящийся на 1 м^2 межфазной поверхности.

Поверхностное и межфазное натяжения являются важными характеристиками, потому что они определяют ход важных технологических процессов. Эти показатели важны для устойчивости дисперсий, суспензий, эмульсий и других дисперсных систем.

Пособие содержит материал о поверхностных веществах и методах измерения поверхностного натяжения; направлено на приобретение теоретических знаний и практических навыков студентов в области растворов полимеров.

1. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВЕЩЕСТВА.

Поверхностный слой жидкости, соприкасающийся с другой средой, находится в особых условиях по сравнению с остальной массой жидкости.

Эти особые условия возникают потому, что молекулы поверхностного слоя, в отличие от молекул внутренних слоев, подвергаются неодинаковому притяжению молекулами жидкости и газа.

Каждая молекула внутри жидкости со всех сторон притягивается с одинаковыми силами соседними молекулами, расположенными на расстоянии радиуса сферы действия межмолекулярных сил (рис. 1).

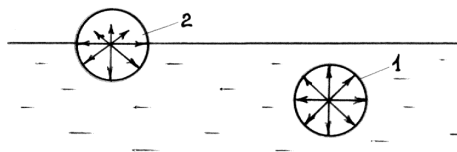


Рис.1 Схема действия межмолекулярных сил внутри жидкости и на ее поверхности

В результате, силы притяжения компенсируются и равнодействующая сил для молекулы 1 равна 0. У молекул поверхностного слоя (молекула 2) одна часть сферы действия межмолекулярных сил находится в жидкости, другая — в газовой фазе. Так как плотность газа меньше плотности жидкости, то силы притяжения молекул газа очень малы и равнодействующая всех сил притяжения будет направлена внутрь жидкости перпендикулярно ее поверхности.

Таким образом, поверхностные молекулы жидкости всегда находятся под действием силы, стремящейся втянуть их внутрь и, тем самым, сократить поверхность жидкости.

Этим объясняется шарообразная форма капли жидкости (шар имеет минимальную поверхность).

При увеличении поверхности, например, при растяжении жидкой пленки, некоторое число молекул из внутренних областей жидкости переходит на

поверхность. Этот переход молекул из равновесного состояния в особое состояние молекул поверхностного слоя требует затраты внешней работы.

Работа, затрачиваемая на увеличение площади поверхности жидкости, переходит в потенциальную энергию молекул поверхностного слоя – поверхностную энергию.

Поверхностная энергия, отнесенная к единице поверхности, называется поверхностным натяжением (ПН):

$$\sigma = \frac{G}{S} \quad (1)$$

где σ – поверхностное натяжение (Дж/м² или Н/м);

G - поверхностная энергия; (мДж·м/кг)

S - площадь поверхности (м²).

Так как ПН определяется работой создания единицы площади поверхности, расходуемой на разрыв межмолекулярных связей, то чем прочнее межмолекулярные связи, тем больше ПН жидкости (например, вода ПН_{воды}=71,95 мН/м, бензол ПН_{бензола}=28,2 мН/м при 25 °С). С повышением температуры ПН снижается, так как ослабляются межмолекулярные связи. Таким образом, поверхностная энергия – это прямое проявление межмолекулярных взаимодействий.

Молекулы, находящиеся на поверхности жидкости или твердого тела испытывают воздействие неуравновешенных молекулярных сил, вследствие чего получают дополнительную энергию по сравнению с молекулами, которые находятся внутри жидкости или твердого тела.

Проявляет себя поверхностная энергия как сила, которая стремится уменьшить площадь поверхности до минимально возможной величины.

В твердых телах подвижность молекул на поверхности отсутствует, поэтому поверхностная энергия здесь не может наблюдаться в виде поверхностного натяжения. Измерять поверхностную энергию можно лишь косвенными методами. Дополнительная свободная энергия на поверхности раздела двух конденсированных фаз называется межфазным натяжением.

ПН и межфазное натяжение являются важными характеристиками, потому что они определяют ход важных технологических процессов. Эти показатели важны для устойчивости дисперсий, суспензий, эмульсий и других дисперсных систем.

ПН растворов обычно отличается от ПН растворителя. Растворенное вещество может не изменять поверхностное натяжение ($\sigma_{\text{растворителя}}$) повышать или понижать его.

Поверхностная свободная энергия стремится к минимуму, поэтому при повышении σ вещество будет удаляться с поверхности внутрь жидкости. Полному удалению молекул растворенного вещества с поверхности препятствует тепловое движение, под действием которого вещество стремится к равномерному распределению в объеме.

Под влиянием этих двух факторов устанавливается равновесие, в результате которого концентрация вещества в поверхностном слое уменьшается по сравнению с концентрацией в объеме.

Если растворенное вещество снижает $\sigma_{\text{растворителя}}$, то концентрация его в поверхностном слое увеличивается.

Самопроизвольное изменение концентрации вещества в поверхностном слое, отнесенное к единице поверхности, называется адсорбцией, обозначается через Γ и выражается в кмоль/м², или моль/см².

Если $\Gamma > 0$ адсорбцию называют положительной, если $\Gamma < 0$ - отрицательной.

Если растворенное вещество не изменяет $\sigma_{\text{растворителя}}$ адсорбция $\Gamma = 0$ и вещество равномерно распределено между поверхностным слоем и объемом.

Простое термодинамическое соотношение между поверхностной концентрацией

Γ и изменением ПН с активной концентрацией растворяемого вещества $\frac{d\sigma}{da}$ было выведено Гиббсом:

$$\Gamma = -\frac{a}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{da} \quad (2)$$

где a - активность раствора (моль/л);

R - универсальная газовая постоянная (8,31 Дж/моль · К⁻¹);

T - температура(К)

Для разбавленных растворов активность заменяют концентрацией C :

$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc} . \quad (3)$$

Из уравнения следует, что только те вещества показывают положительную адсорбцию, с повышением концентрации которых ПН понижается, $\frac{d\sigma}{dc} < 0$. Если

$\frac{d\sigma}{dc} > 0$, концентрация растворенного вещества в поверхностном слое будет уменьшаться: $\Gamma < 0$.

Все растворимые вещества по их способности адсорбироваться на границе жидкость-воздух можно разделить на две группы: поверхностно-активные вещества и поверхностно-инактивные вещества.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) способны накапливаться в поверхностном слое, и, следовательно, при этом должна происходить положительная адсорбция ($\Gamma > 0$). Поверхностно-активные вещества должны обладать поверхностным натяжением меньшим поверхностного натяжения растворителя (иначе накопление вещества на поверхности термодинамически невыгодно) и сравнительно малой растворимостью (иначе они бы стремились уйти с поверхности вглубь раствора). Иначе говоря, взаимодействия между молекулами ПАВ (в целом) и молекулами растворителя всегда меньше взаимодействия между молекулами растворителя. Поэтому ПАВ будут преимущественно выталкиваться из объема раствора на поверхность, то есть $\Gamma > 0$. В результате накопления на поверхности раствора молекул этих веществ, слабо взаимодействующих друг с другом, межмолекулярное взаимодействие в поверхностном слое уменьшается и ПН падает.

ПАВ являются многие органические соединения, а именно жирные кислоты, соли этих жирных кислот (мыла), сульфокислоты и их соли, спирты, амины и др.

Характерной особенностью строения ПАВ является их дифильность, т.е. молекула состоит из двух частей — полярной группы и неполярного углеводородного радикала (рис.2). Обладающая значительным дипольным моментом и хорошо гидратирующаяся полярная группа (OH , COOH , RNH_2) обуславливает сродство ПАВ к воде. Гидрофобный углеводородный радикал является причиной неполной растворимости этих соединений.

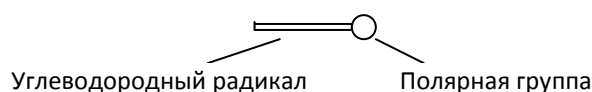


Рис. 2.Строение ПАВ

Поверхностно-инактивные вещества (ПИВ) стремятся уйти с поверхности жидкости в объем, в результате чего происходит отрицательная адсорбция ($\Gamma < 0$). ПИВ обладают поверхностным натяжением, большим поверхностного натяжения растворителя (иначе они самопроизвольно накапливались бы в поверхностном слое), и обычно высокой растворимостью, что способствует их стремлению уйти с поверхности в объем. Другими словами, взаимодействие между самими молекулами ПИВ и растворителя всегда больше, чем взаимодействие между самими молекулами растворителя, поэтому ПИВ стремятся перейти в объем раствора.

ПИВ являются все неорганические электролиты- кислоты, щелочи, соли, органические вещества, у которых неполярная часть молекулы отсутствует или очень мала.

Вещества, не влияющие на ПН растворителя, распределяются равномерно между поверхностным слоем и объемом раствора и, следовательно, для них $\Gamma = 0$. Такие вещества обладают ПН, близким к поверхностному натяжению растворителя. Примером веществ, малоактивных в отношении воды, могут служить сахара.

2. ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ

Наиболее важной характеристикой поверхности является поверхностное натяжение. Оно характеризует избыток поверхностной энергии, приходящийся на 1 м^2 межфазной поверхности.

Поверхностное натяжение (σ) – это удельная свободная поверхностная энергия, т. е. свободная поверхностная энергия, приходящаяся на единицу межфазной поверхности.

Поверхностное натяжение характеризует различия в интенсивности межмолекулярных взаимодействий граничащих фаз. Чем больше эти различия, тем больше σ . Для границы «конденсированная фаза (твердая или жидкая) – воздух» можно пренебречь межмолекулярными взаимодействиями в воздухе и, значит, поверхностное натяжение характеризует интенсивность межмолекулярных сил в конденсированной фазе.

2.1. Методы определения поверхностного натяжения

Наиболее доступными для экспериментального измерения поверхностного натяжения являются системы жидкость-газ и жидкость-жидкость. Существующие методы дают возможность измерить ПН при неподвижной межфазной поверхности (статические) и при движущейся поверхности (динамические). Недостатком динамических методов является сложность их аппаратного оформления. Кроме того, для надежного измерения поверхностного натяжения растворов, и, в частности, растворов поверхностно-активных веществ, необходимо их выдерживание определенное время для установления равновесия в поверхностном слое.

На практике наиболее часто используются 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 пузырьке, отрыв кольца или пластины и сталагмометрический метод.

3.ВИДЫ ИЗОТЕРМ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ

Поверхностное натяжение растворов σ отличается от поверхностного натяжения чистого растворителя σ_0 . Зависимость σ от концентрации растворенного вещества при $T=\text{const}$ называют изотермой поверхностного натяжения

На рис.3 приведены изотермы ПН для ПАВ, ПИВ и вещества не влияющие на поверхностное натяжение растворителя.

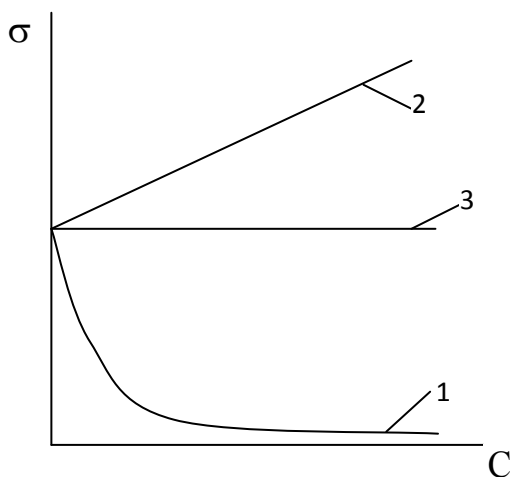


Рис. 3. Зависимость поверхностного натяжения от концентрации раствора: 1 - для поверхностно-активного вещества; 2 - для поверхностно-неактивного вещества; 3 - вещества не влияющие на поверхностное натяжение растворителя.

3.1.Изотермы поверхностного натяжения ПАВ

Типичный вид изотермы ПН (σ) систем жидкость-газ или жидкость- жидкость в зависимости от концентрации ПАВ приведен на рис.4.

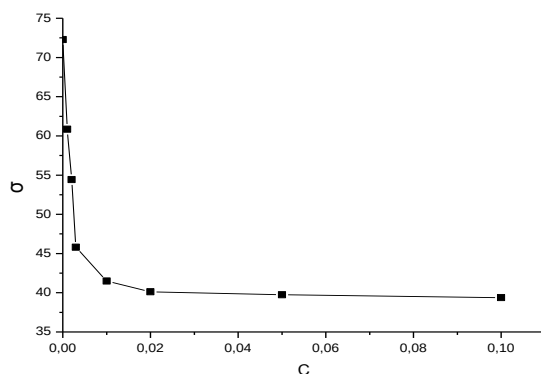


Рис. 4.Типичная изотерма поверхностного натяжения σ - C .

Начальный участок- поверхностной инактивности (при низких концентрация ПАВ адсорбция мала и не определяется экспериментально)- имеет место на всех изотермах, если их строить, начиная от достаточно низких концентраций . В системах жидкость-жидкость, если ПАВ неограниченно смешивается обеих фаз изотерма имеет вид, показанный на рис.5. Начальный (криволинейный) участок обусловлен процессом адсорбции ПАВ на межфазной поверхности, а прямолинейный- понижением поверхностного натяжения благодаря смешению жидких фаз и уменьшению разности их полярностей при увеличении концентрации ПАВ.

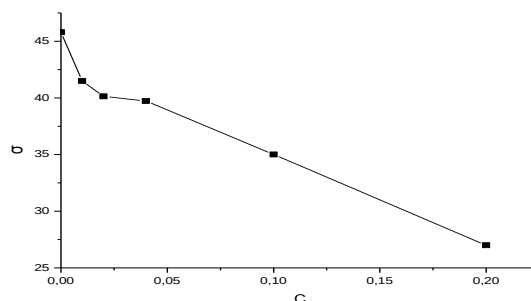


Рис. 5.Изотерма поверхностного натяжения в системах жидкость-жидкость при неограниченном смешении ПАВ с обеими фазами.

Если в системе присутствуют несколько ПАВ, резко различающихся по поверхностной активности, то изотерма в ряде случаев имеет ступенчатый вид рис.6, однако часто эти ступеньки сливаются в сплошную линию, так что их отсутствие не говорит о чистоте веществ, но наличие указывает на присутствие в системе несколько ПАВ.

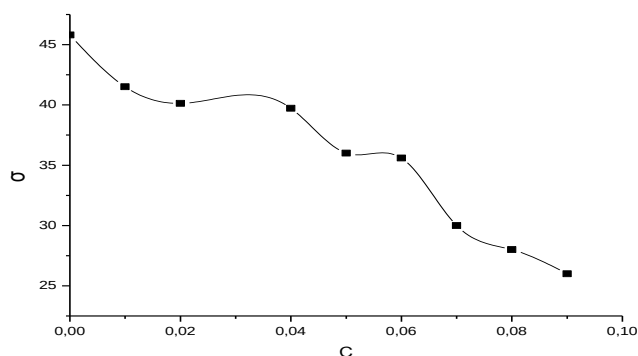


Рис. 6.Изотерма поверхностного натяжения смеси ПАВ, резко рознящихся по поверхностной активности

Больше информации можно получить при построении изотермы в полулогарифмических координатах σ -lgC рис.7. Начальный криволинейный участок соответствует понижению ПН при адсорбции молекул ПАВ. В соответствие с уравнением Гиббса возрастает адсорбция и понижается ПН. В точке перехода от прямолинейного к криволинейному наклонному участку достигается предельная адсорбция Γ_m , и в соответствии с уравнением Гиббса зависимость σ от lgC линейна.

В точке перехода к горизонтальному участку изотермы наступает критическая концентрация мицеллообразования-ККМ (предел растворимости ПАВ) или же достигается такое поверхностное натяжение, после которого ПН не может понижаться.

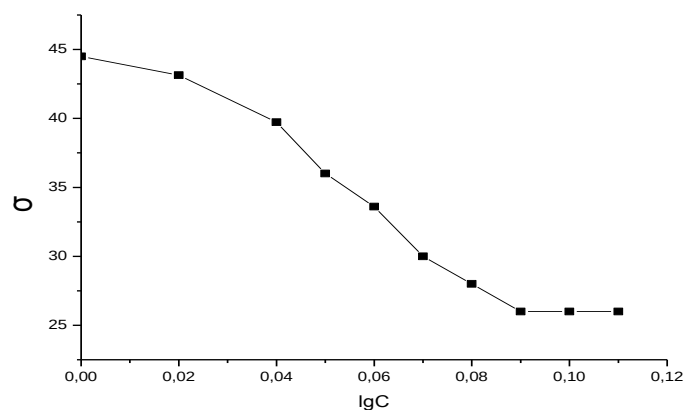


Рис. 7. Типичная изотерма поверхностного натяжения в координатах σ -lgC

На изотерме ПН в координатах σ -lgC имеются две характерные точки. Это точка достижения предельной адсорбции, которая определяется по переходу криволинейного участка в прямолинейный, и точка ККМ - точка перегиба изотермы с выходом на участок практически параллельный оси абсцисс.

При содержании в ПАВ небольшого числа примесей изотерма отличается от показанной на рис.7 наличием небольшого минимума рис.8.

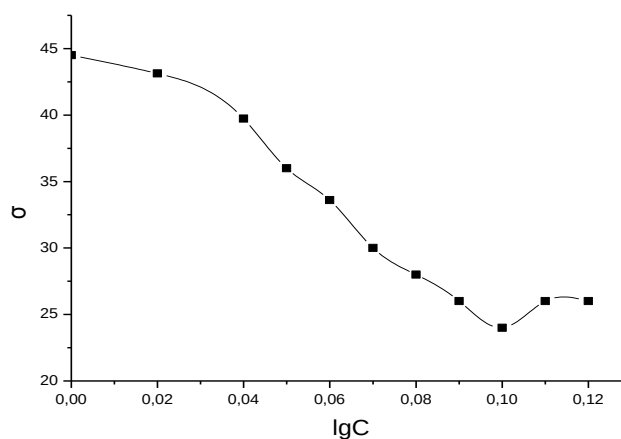


Рис. 8. Изотерма поверхностного натяжения σ -lgC при содержании в ПАВ небольшого количества примесей

Если ПАВ содержит много примесей или представляет собой смесь веществ, то минимум исчезает и изотерма в координатах σ -lgC имеет вид плавной S-образной кривой, не разделенной четко на участки рис.9.

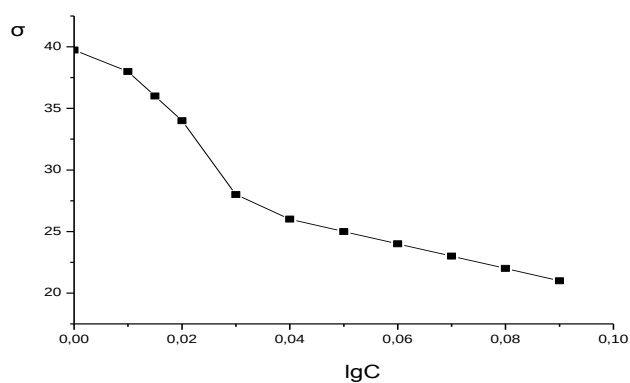


Рис. 9.Изотерма поверхностного натяжения σ -lgC смеси ПАВ

Для низших членов гомологических рядов ПАВ (кислот, аминов, спиртов), неограниченно растворимых в воде, характерна изотерма, показанная на рис. 10.

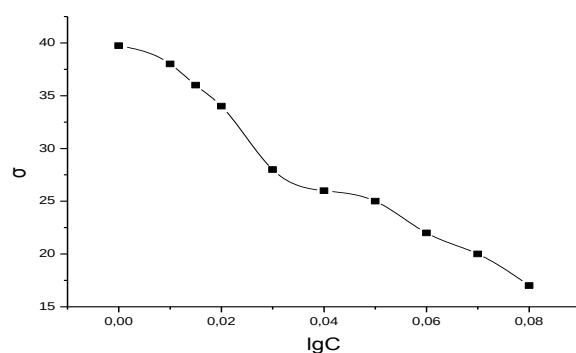


Рис.10 Изотерма поверхностного натяжения σ -lgC хорошо растворимых низших членов гомологического ряда

Иногда наблюдается изотермы вида, изображенного на рис.11. некоторые исследователи объясняют два перегиба наличием нескольких видов мицелл и, следовательно, нескольких ККМ.

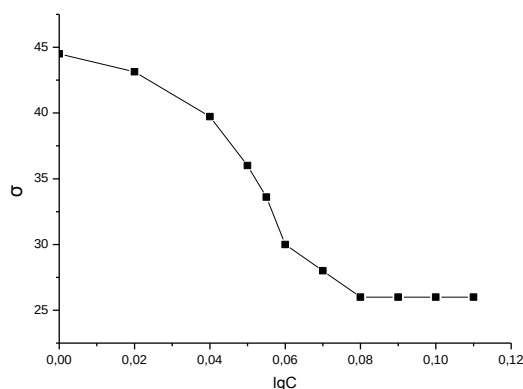


Рис. 1.Изотерма поверхностного натяжения σ -lgC ПАВ с двумя ККМ

4. МЕТОД ОТРЫВА КОЛЬЦА (ДЮ-НУИ)

Это классический метод для определения поверхностного/межфазного натяжения, который основан на измерении максимального усилия (F) для отрыва кольца с известной геометрией (длиной смачивания, L), сделанного из хорошо смачиваемого материала (угол смачивания = 0°). (рис. 12)

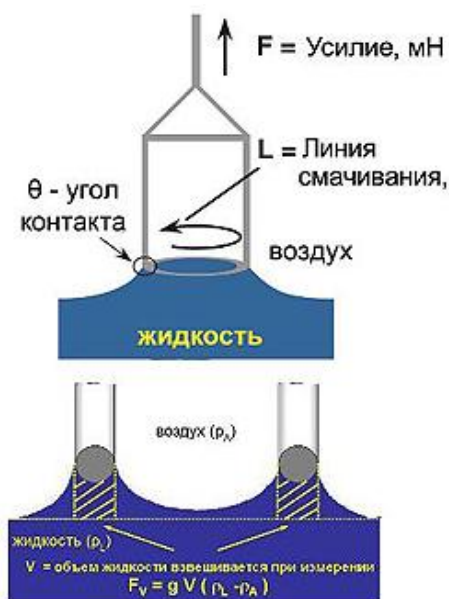


Рис. 12.Схема взаимодействия платинового кольца с поверхностью жидкости
при измерении поверхностного натяжения

При подъёме кольца жидкость стремится стечь с него, что приводит к постепенному утончению плёнки жидкости и отрыву кольца.

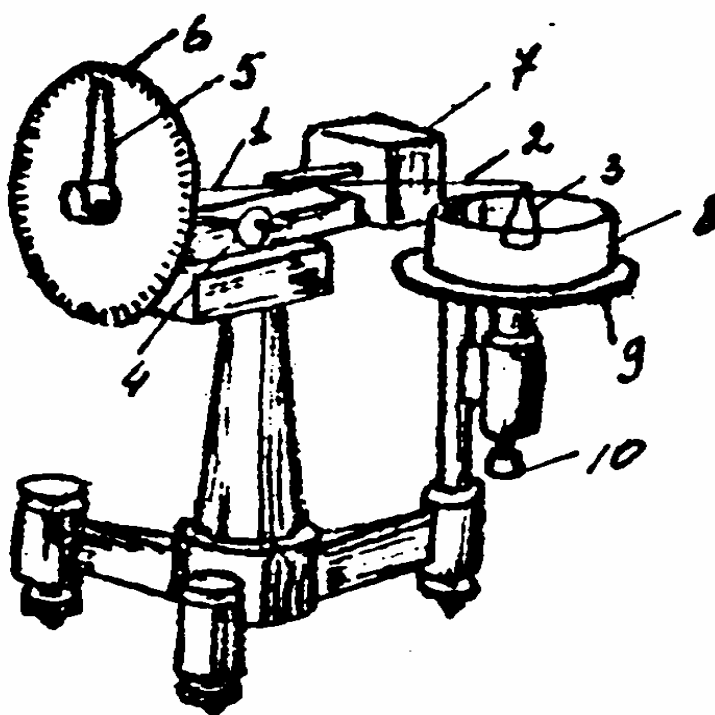


Рис.13.Схематическое изображения Дю-Нуи

1 – упругая металлическая нить; 2 – коромысло с крючком; 3 – платиновое кольцо; 4 – винт для закручивания нити; 5 – указатель с нониусом; 6 – отсчетный лимб; 7 – винт, соединенный с упругой нитью; 8 – кювета с двойными стенками; 9 – подвижный столик; 10 – винт для движения столика

Поверхностное натяжение водно-щелочных растворов измеряют методом отрыва кольца на приборе Дю-Нуи. Основная часть прибора – металлическая упругая нить 1, натянутая горизонтально. К нити прикреплено коромысло 2 с крючком, на который подвешивается кольцо 3. Отрывающее усилие создается закручиванием упругой нити с помощью винта 4. При вращении винта указатель 5, соединенный с закручиваемым концом нити, перемещается по отсчетному лимбу 6. Указатель имеет нониус, позволяющий определять десятые доли делений шкалы, нанесенный на лимбе.

Перед началом работы с помощью винта 4 для закручивания нити указатель 5 с нониусом устанавливают на нулевое деление отсчетного лимба и вращают винт 7, соединенный с упругой нитью до тех пор, пока коромысло с повешенным на

нем кольцом не примет горизонтального положения. Исследуемый раствор наливают в кювету 8 с двойными стенками. Кювету помещают на подвижный столик 9, снабженный винтом 10 для перемещения его в вертикальном направлении. Столик поднимают до тех пор, пока кольцо не коснется поверхности раствора. Затем с помощью винта 4 начинают закручивать нить 1. Это надо делать медленно и осторожно, особенно перед отрывом кольца. Отмечают положение указателя на лимбе в момент отрыва кольца от поверхности жидкости.

Чтобы вернуть прибор в рабочее положение, с помощью винта 10 опускают столик 9. Вращают винт 4, раскручивают нить. Указатель 5 при этом возвращается к нулю, двигаясь в направлении, обратном направлению при отрывании кольца. Далее помещают кольцо на коромысло и повторяют определение.

Кювету перед работой хорошо промывают водой и, прежде всего, измеряют показания шкалы при отрыве кольца от дистиллированной воды.

5. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ МЕТОДОМ ДЮ-НУИ

Лабораторная работа № 1

Определение поверхностного натяжения и поверхностной активности водно-щелочных растворов ПАВ методом отрыва кольца.

Цель данной работы установить ККМ мицеллообразования, путем измерения ПН методом отрыва кольца, а также рассчитать поверхностную активность и адсорбции. Гиббса.

Приборы и материалы:

- 1) прибор Дю-Нуи,
- 2) ПАВ,
- 3) мерные колбы на 100 мл ,
- 4) весы электронные,
- 5) платиновое кольцо,
- 6) кювета с двойным стеклом.

Ход работы

Готовят растворы ПАВ разной концентрации от 0,001 до 1% в мерных колбах на 100 мл. Затем методом Дю-Нуи измеряют поверхностное натяжение как описано выше в п.4

Поверхностное натяжение исследуемого раствора σ_p рассчитывают по формуле

$$\frac{\sigma_p}{\sigma_0} = \frac{n_p}{n_0} , \quad (4)$$

где σ_p – поверхностное натяжение воды на границе с воздухом;

n_0 – показание шкалы лимба при отрыве кольца от поверхности дистиллированной воды;

n_p – показание шкалы лимба при отрыве кольца от поверхности исследуемого раствора (среднее из 3-5 определений).

По полученным результатам строиться изотерма поверхностного натяжения $\sigma = f(C)$, C – концентрация раствора ПАВ.

ККМ изучаемого вещества (C_p) – это та наименьшая концентрация, при которой образуется насыщенный адсорбционный слой его на поверхности воды, т.е. когда Γ и σ становятся постоянными.

Поверхностная активность рассчитывается по формуле:

$$G = \lim_{c \rightarrow 0} (d\sigma / dC), \quad (5)$$

где G – поверхностная активность (мДж*м/кг)[7].

Относительная погрешность измерения составила 4.5 %.

Лабораторная работа №2

Определение поверхностных свойств метилцеллюлозы.

Цель данной работы исследовать поверхностные свойства метилцеллюлозы методом отрыва кольца.

Приборы и материалы:

- 1) прибор Дю-Нуи,
- 2) метилцеллюлоза,
- 3) мерные колбы на 100 мл,
- 4) весы электронные,
- 5) платиновое кольцо,
- 6) кювета .

Ход работы

Готовят растворы метилцеллюлозы разной концентрации от 0,001 до 0,5% в мерных колбах на 100 мл. Затем методом Дю-Нуи измеряют поверхностное натяжение как описано выше в п.4.

Поверхностное натяжение исследуемого раствора σ_p рассчитывают по формуле (4)

где σ_p – поверхностное натяжение воды на границе с воздухом;

n_0 – показание шкалы лимба при отрыве кольца от поверхности дистиллированной воды;

n_p – показание шкалы лимба при отрыве кольца от поверхности исследуемого раствора (среднее из 3-5 определений).

По полученным результатам строится изотерма поверхностного натяжения $\sigma = f(C)$, C – концентрация раствора метилцеллюлозы. И делается вывод о физической природе адсорбционных сил.

Лабораторная работа № 3

Определение поверхностных свойств растворов полимеров методом Дю-Нуи

Цель данной работы изучить поверхностные свойства полимерных растворов методом Дю-Нуи. (полиакриламид, карбоксиметилцеллюлоза. оксиэтилцеллюлоза. лигносульфонаты и др.)

Приборы и материалы:

- 1) прибор Дю-Нуи,
- 2) полимер,
- 3) мерные колбы на 100 мл ,
- 4) весы электронные,
- 5) платиновое кольцо,
- 6) кювета.

Ход работы

В мерных колбах на 100 мл готовят растворы полимеров с концентрацией 0,001 – 1 % и методом Дю-Нуи измеряют поверхностное натяжение приготовленных растворов, как описано в п. 4.

Сначала определяют p_0 – показание шкалы лимба при отрыве кольца от поверхности дистиллированной воды и находят ПН в справочнике или вычисляют его ПН относительно воды, так как в зависимости от полимера растворитель может быть любой.

Поверхностное натяжение исследуемого раствора σ_p рассчитывают по формуле (4).

Строится изотерма, по которой находят ККМ и делают вывод об активности вещества.

Библиографический список

1. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. – М.: Химия, 1975.
2. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии (Поверхностные явления и дисперсные системы): учебник. – М.: Химия, 1982.
3. Равдель А.А., Пономарева А.М. Краткий справочник физико-химических величин. Л.: Химия, 1983 -232 с.
4. Остроумов С.А. Биологические эффекты при взаимодействии поверхностно-активных веществ на организм. М.: Макс-Пресс-2001. С.37.
5. Milton J. Rosen Surfactants and interfacial phenomena//third edition- Surfactant Research Institute Brooklyn College The City University of New York- 2004. P 167-168.
6. Алыков Н. М., Литвинова Г. Н., Алыкова Т. В., Васько Ю. П. и др. Поверхностно-активные вещества. Строение. Свойства. Применение: монография / под ред. Алыкова Н. М. и Алыковой Т. В. – Астрахань: Изд. Астрахан. гос. пед. ун-та, 2002. - 130 с.
7. Абрамзон А.А., Бочаров В.В. и др. Поверхностно-активные вещества: справочник.-Л.: Химия, 1979.-376 с.
8. Поверхностно-активные вещества и композиции/под ред. М.Ю. Плетнев М.: ООО «Фирма Клавель», 2002. - 768 с.
9. Тагер А.А. Физика-химия полимеров.-М.: Научный мир, 2011.-576 с.
10. В.В. Соколов, Е.Ю. Демьянцева, О.В. Смирнова, А.Г. Насонов Коллоидно-химические основы производства бумаги :учебное пособие.-СПб.:СПбГТУРП, 2014.-26с.
11. И.И. Осовская Комплексное использование древесины:природные и химические волокна: учебное пособие.СПб.:СПбГТУРП,, 2015.-97с.

**И.И. Осовская, Е.Ю. Демьянцева,
О.С. Андранович**

Определение поверхностного натяжения методом отрыва кольца Дю-Нуи

Учебно-методическое пособие

Редактор и Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2016, поз.89

Подп. к печати 08.11.16 Формат 60x84/16. Бумага тип №1. Печать офсетная.
Печ.л. 1,5; уч.-изд.л. 1,5. Тираж 30 экз. Изд. № 89. Заказ

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. 198095, СПб, ул. Ивана Черных,4.