

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННОЙ  
ЗАВИСИМОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО  
НАТЯЖЕНИЯ РАСТВОРОВ  
ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Методические указания к лабораторной работе  
по курсу «Физическая химия»  
для студентов всех форм обучения  
металлургических специальностей

Определение концентрационной зависимости  
поверхностного натяжения растворов  
поверхностно-активных веществ

Екатеринбург

УрФУ

2011

УДК 532.61 : 661.185 (076.5)

Составитель: доктор химических наук, профессор Л. Н. Шибанова

Научный редактор: кандидат технических наук, доцент  
А. М. Панфилов

**Определение концентрационной зависимости  
поверхностного натяжения растворов поверхностно-активных  
веществ** : методические указания к лабораторной работе по курсу  
«Физическая химия» / сост. Л. Н. Шибанова. Екатеринбург : УрФУ,  
2011. 12 с.

В данном руководстве изложены теория и методика проведения лабораторной работы по определению концентрационной зависимости поверхностного натяжения растворов поверхностно-активных веществ.

Библиогр.: 5 назв. Рис. 3. Прил. 1.

Подготовлено кафедрой  
«Теория металлургических процессов»

© УрФУ, 2011.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Теоретическая часть . . . . .	4
Методика и порядок проведения опытов . . . . .	6
Порядок выполнения работы . . . . .	8
Обработка результатов . . . . .	9
Вопросы для самоконтроля . . . . .	9
Библиографический список . . . . .	9
Приложение . . . . .	11

Целью работы является определение поверхностного натяжения  $\sigma$  растворов. Экспериментальная зависимость  $\sigma$  от активности (концентрации) поверхностно-активного вещества используется для расчета концентрационной зависимости адсорбции.

### Теоретическая часть

Растворами называются однородные (гомогенные) смеси двух или большего числа чистых веществ, образующие термодинамически равновесные системы, составы которых можно в определенных пределах изменять непрерывно.

Простейшие составные части раствора, которые могут быть выделены в чистом виде, называются компонентами раствора. Между компонентами в растворах имеют место физические и химические взаимодействия.

Основными параметрами, характеризующими состояние растворов, являются давление, температура и концентрация компонентов.

Состояние вещества у поверхности раздела соприкасающихся фаз отличается от его состояния внутри этих фаз, так как в объеме частицы имеют большее число соседей, чем в поверхностном слое. При выходе частицы в поверхностный слой часть ее связей разрывается, следовательно, при образовании поверхности затрачивается работа, необходимая для разрыва исчезающих связей (рис. 1).

Работу обратимого изобарно-изотермического процесса, затрачиваемую на образование единицы поверхности жидкости, называют поверхностным натяжением.

Если поверхность уменьшается ( $\Delta\omega < 0$ ), то система может совершать работу

$$A = -\sigma \cdot \Delta\omega, \quad (1)$$

где  $\omega$  – площадь поверхности.

Уменьшение поверхности сопровождается понижением энергии Гиббса

$$-\Delta G = A = -\sigma \cdot \Delta\omega \quad (2)$$

и, следовательно, является самопроизвольным процессом.

Поверхностное натяжение численно равно работе разрыва связей, следовательно, чем выше энергия связей, тем больше величина  $\sigma$ . Измерение поверхностного натяжения раствора и его концентрационной зависимости дает информацию о строении поверхностного слоя и соотношения сил межчастичных взаимодействий в растворе.

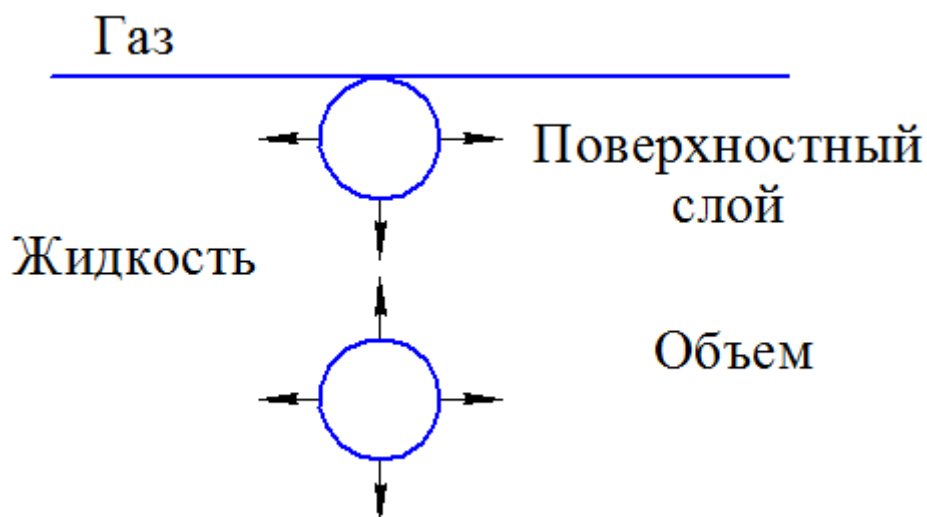


Рис.1. Схема возникновения поверхностного натяжения

Силы взаимодействия между различными частицами в растворах неодинаковы. Частицы (атомы, молекулы, ионы), образующие слабые химические связи, вытесняются в поверхностный слой, так как для разрыва слабых связей требуется меньше энергии, чем для разрыва связей сильных; поверхностное натяжение при этом уменьшается. Например, добавка в жидкое железо нескольких сотых долей процента кислорода или серы приводит к уменьшению поверхностного натяжения с 1700 до 1000 мДж/м<sup>2</sup>; при этом поверхностные концентрации добавок в сотни раз превышают объемные. Такие вещества, концентрирующиеся в поверхностном слое и понижающие натяжение, называют поверхностно-активными или капиллярно-активными. Добавки, повышающие натяжение, называются поверхностно-инактивными или капиллярно-инактивными; концентрация таких веществ в поверхностном слое раствора меньше, чем в объеме.

Разность числа молей  $i$ -го компонента в объемах сравнения, выбранных в поверхностном слое и в глубине фазы, отнесенная к единице поверхности, называется адсорбцией. По определению

Гуггенгейма объемы сравнения должны содержать одинаковые общие количества молей. Количественно адсорбцию выражают в моль/м<sup>2</sup>:

$$\Gamma_i = (n_i^{\omega} - n_i^V) / \omega, \quad (3)$$

где  $\Gamma_i$  – адсорбция;  $n_i^{\omega}$  и  $n_i^V$  – число молей компонента в поверхностном слое и в объемном слое сравнения соответственно.

Адсорбция  $\Gamma_i$  при постоянной температуре связана с активностью  $a_i$  компонента  $i$  уравнением изотермы адсорбции Гиббса:

$$\Gamma_i = -\frac{a_i}{R \cdot T} \cdot \left( \frac{d\sigma}{da_i} \right)_{T,P}; \quad (4)$$

здесь  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – температура;  $\frac{d\sigma}{da_i}$  – зависимость поверхностного натяжения от активности компонента  $i$  в растворе.

Если в объеме концентрация поверхностно-активного вещества невелика, а в поверхностном слое близка к насыщению, на изотерме адсорбции (4) появляется максимум.

В случае разбавленных растворов ( $da_i = dC_i$ ) определение адсорбции значительно упрощается:

$$\Gamma_i = -\frac{C_i}{R \cdot T} \cdot \left( \frac{d\sigma}{dC_i} \right)_{T,P}, \quad (5)$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го компонента;  $T$  – температура, при которой проводится эксперимент. Величину  $d\sigma/dC_i$  находят графическим дифференцированием концентрационной зависимости поверхностного натяжения при постоянной температуре.

### **Методика и порядок проведения опытов**

В работе для определения поверхностного натяжения применяется один из вариантов метода «висящей капли» – «отрыв капли», когда капли раствора, отрываясь, вытекают из огнеупорной кварцевой или стеклянной трубки (капилляра) радиусом  $r$ .

При выходе жидкости из капилляра радиус кривизны поверхности капли сначала убывает, а затем, достигнув минимума, начинает возрастать (рис. 2).

Для образования поверхности капли необходима затрата определенного количества энергии, эквивалентного силе  $F$ , отнесенной к единице длины  $l$  формирующейся поверхности. Для капли жидкости сферической формы

$$\sigma = \frac{F}{l} = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot r}. \quad (6)$$

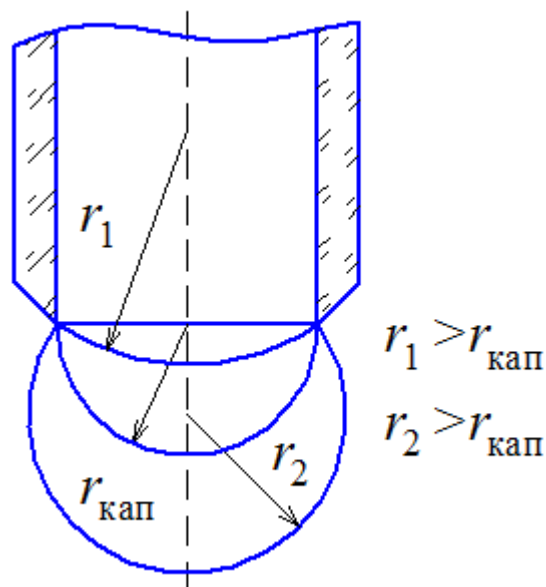


Рис. 2. Образование капли

Вес  $m_0 g$  капли в момент отрыва уравнивается силой  $F$  поверхностного натяжения,  $F = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sigma = d \cdot \pi \cdot \sigma$ . Принимается, что диаметр  $d$  шейки капли в момент отрыва соответствует диаметру  $d$  узкого конца трубки.

Таким образом,

$$\sigma = \frac{F}{d\pi} = \frac{m_0 g}{d\pi} = \frac{m_0 g}{\alpha}. \quad (7)$$

Здесь  $m_0 = \frac{m}{n}$ , где  $m$  – масса определенного ( $n$ ) количества капель раствора.

Принципиальная схема установки представлена на рис. 3 и состоит из бюретки (капилляра) 1, закрепленной в лапке штатива 2,



крана 3, которым производится открытие / закрытие капилляра, а также устанавливается скорость падения капель, электронных весов 4, стакана А 5, и стакана Б 6.

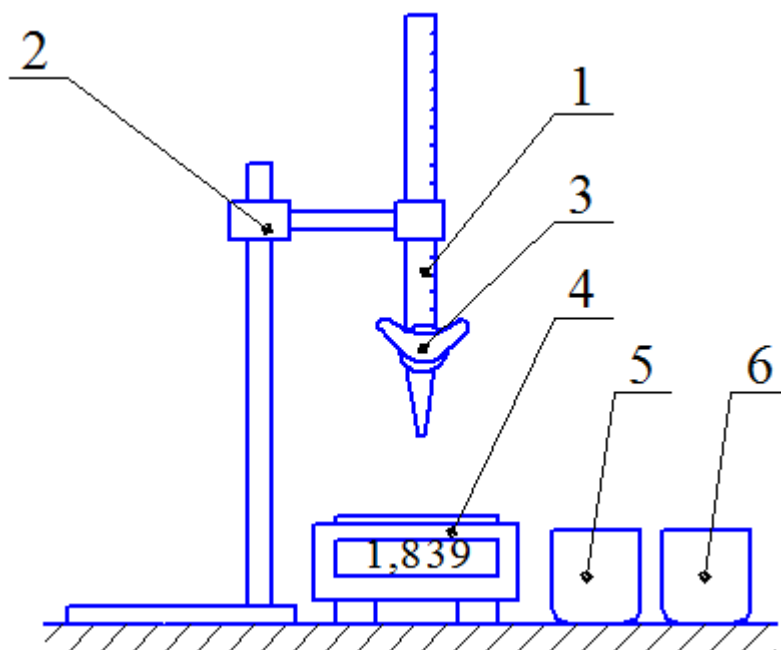


Рис. 3. Принципиальная схема установки:

1 – бюретка; 2 – штатив; 3 – кран; 4 – электронные весы; 5 – стакан А; 6 – стакан Б

### Порядок выполнения работы

***Результаты всех измерений необходимо внести в протокол!***

1. Налить в бюретку исследуемый раствор.
2. Поместить пустой стакан А под узким концом бюретки.
3. Плавно открыть кран бюретки, установив малую скорость падения капель.
4. Осторожно убирая стакан А, одновременно поместить пустой стакан Б под узким концом бюретки.
5. Обнулить весы, нажав кнопку «Тара» (при этом весы примут массу стакана равной нулю) и начать отсчет количества капель, которые теперь будут падать в стакан Б.
6. Отсчитав  $n$  капель (задает преподаватель), закрыть кран бюретки.
7. Записать массу раствора в стакане Б в протокол измерений.
8. Повторить пункты 2–7 еще два раза для данного раствора.

9. Слить оставшийся в бюретке раствор в один из стаканов, открыв кран бюретки полностью.
10. Перелить раствор из стакана *B* в колбу.
11. Закрыть кран.
12. Повторить пункты 1–11 для остальных растворов.

### **Обработка результатов**

Закончив серию опытов в данной области составов, необходимо построить график концентрационной зависимости  $\sigma$  от величины  $\ln a_i$  (с этой целью следует проанализировать график  $a_i = a_i(N_i)$ , помещенный в приложении 1).

Графическим дифференцированием полученных кривых нужно определить  $\frac{d\sigma}{da_i}$ , вычислить адсорбцию  $\Gamma_i$  и построить график зависимости адсорбции  $\Gamma_i$  от активности  $a_i$  растворенного вещества.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Поясните термины «поверхностное натяжение», «адсорбция».
2. Поясните причины и механизм возникновения поверхностного натяжения жидкостей.
3. Какие вещества называют поверхностно-активными (ПАВ)? Инактивными?
4. Приведите уравнение изотермы адсорбции Гиббса для идеальных, регулярных и разбавленных растворов.
5. Поясните суть графического метода определения величины адсорбции поверхностно-активного вещества.

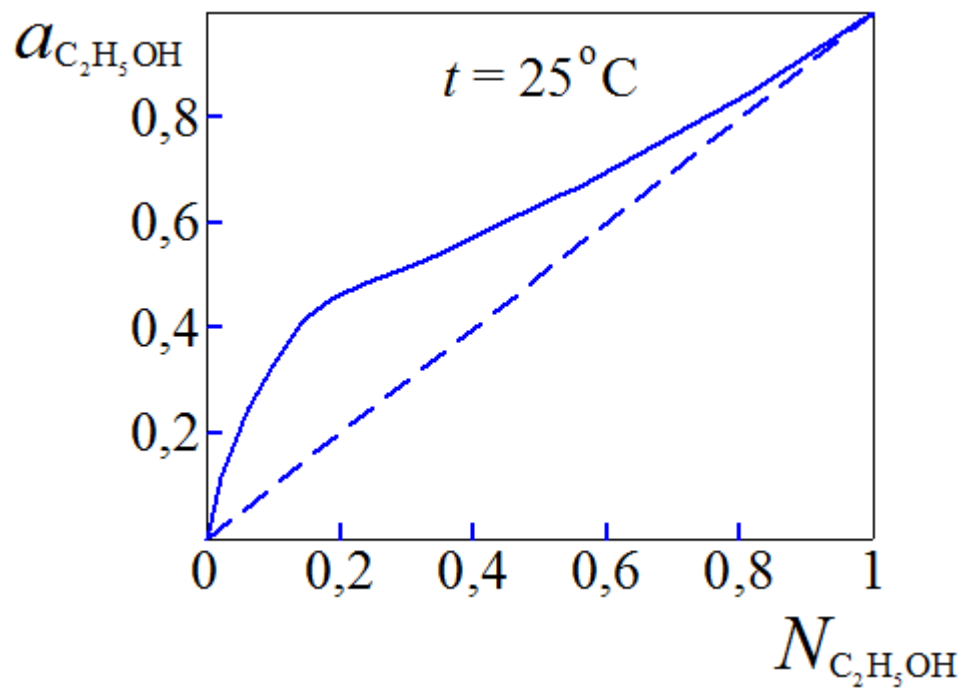
### **Библиографический список**

1. Жуховицкий А. А. Физическая химия / А. А. Жуховицкий, Л. А. Шварцман. М. : Metallurgy, 2001. 688 с.
2. Сотников А. И. Элементы физической химии металлургических процессов / А. И. Сотников, А. Н. Ватолин. Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2004. 125 с.
3. Попель С. И. Поверхностные явления в расплавах / С. И. Попель. М. : Metallurgy, 1994. 440 с.

4. Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя и А. М. Пономаревой. СПб : Медный всадник, 2003. 240 с.

5. Универсальный справочник по химии / под ред. А. А. Петрова. М. : Лист Нью, 2003. 432 с.

**Зависимость активности этилового спирта  $a_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}$   
в системе  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  от его мольной доли**



*Учебное издание*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ  
ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ РАСТВОРОВ  
ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Составитель **Шибанова** Людмила Николаевна

Редактор *В. И. Новикова*

Компьютерный набор *А. Ю. Постылякова*

Подписано в печать 15.06.11. Формат 60×84 1/16.  
Бумага писчая. Плоская печать. Усл. печ. л. 0,57.  
Уч.-изд. л. 0,5. Тираж 50 экз. Заказ \_\_\_\_\_

Редакционно-издательский отдел УрФУ  
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19  
rio@mail.ustu.ru

Ризография НИЧ УрФУ  
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19