

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
**«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Утверждаю  
Декан ХТФ  
\_\_\_\_\_ В.М.Погребенков  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2009 г.

**ИЗУЧЕНИЕ АДСОРБЦИИ УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ НА  
АКТИВИРОВАННОМ УГЛЕ**

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Поверхностные явления и дисперсные системы» и «Коллоидная химия» для студентов ХТФ, ФТФ, ЭЛТИ, ИГНД

Составители: Михеева Е.В., Катюхин В.Е

Издательство  
Томского политехнического университета  
Томск 2009

УДК 541.1(075)

**Изучение адсорбции уксусной кислоты на активированном угле:**  
методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Поверхностные явления и дисперсные системы» и «Коллоидная химия», для студентов ХТФ, ФТФ, ЭЛТИ, ИГНД. /Сост. Е.В. Михеева, В.Е.Катюхин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 20 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы  
к изданию методическим семинаром кафедры  
физической и аналитической химии ХТФ  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2009 г.

Зав. кафедрой ФАХ  
доктор хим. наук, профессор \_\_\_\_\_ *А.А. Бакибаев*  
Председатель  
учебно-методической комиссии ХТФ \_\_\_\_\_ *Н.В. Ушева*

*Рецензент*

Кандидат химических наук, доцент кафедры ФАХ

*Н.П. Пикула*

© Михеева Е.В., Катюхин В.Е., составление, 2009

© Составление. Томский политехнический университет, 2009

© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2009

## **Изучение адсорбции уксусной кислоты на активированном угле**

### **План коллоквиума по теме «Адсорбция»**

1. Адсорбция, основные понятия и определения. Количественные способы выражения величины адсорбции. Физическая и химическая адсорбция. Основные экспериментальные зависимости адсорбции.

2. Теория мономолекулярной адсорбции Лэнгмюра. Основные положения. Уравнение мономолекулярной адсорбции Лэнгмюра (вывод). Анализ и применение уравнения адсорбции Лэнгмюра. Расчет констант в уравнении Лэнгмюра.

3. Эмпирическое уравнение адсорбции Фрейндлиха. Расчет констант в уравнении Фрейндлиха.

4. Теория полимолекулярной адсорбции Поляни. Основные положения. Адсорбционный потенциал. Особенности характеристической кривой.

5. Теория адсорбции БЭТ. Основные положения. Уравнение полимолекулярной адсорбции БЭТ. Расчет констант в уравнении БЭТ. Применение уравнения теории БЭТ к описанию изотерм адсорбции различного вида. Ограничения теории БЭТ.

6. Адсорбция на пористых сорбентах. Классификация пористых сорбентов. Капиллярная конденсация на пористых сорбентах.

### **Список литературы**

1. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. – М.: Химия, 1989. – С.129-174.

2. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. – СПб: Химия, 1995. – С.150-178.

3. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. – М.:Химия, 1976. – С.8-113.

4. Зимон А.Д., Лещенко Н.Ф. Коллоидная химия. – М.: Химия, 1995. – С. 62-64, 68-77, 98-102.

5. Карбаинова С.Н., Пикула Н.П., Анисимова Л.С., Катюхин В.Е., Романенко С.В. Поверхностные явления и дисперсные системы. – Томск: Изд.ТПУ, 2000. – С. 36-51.

## Теоретическая часть

### Адсорбция. Основные понятия и определения

Поверхностная энергия любой термодинамической системы стремится самопроизвольно уменьшиться. Это выражается в уменьшении или площади межфазной поверхности, или поверхностного натяжения. К явлениям, происходящим вследствие стремления к самопроизвольному снижению поверхностного натяжения, относится адсорбция.

На любой границе раздела фаз существует так называемый «*поверхностный слой*» – переходная область от одной объемной фазы к другой. Поверхностный слой имеет очень малую толщину (всего несколько молекул), но в нем сосредоточен весь избыток поверхностной энергии и массы вещества.

*Адсорбция* – процесс самопроизвольного перераспределения компонентов системы между поверхностным слоем и объемной фазой, т.е. поглощение одного вещества поверхностью другого.

В однокомпонентных системах при формировании поверхностного слоя происходит изменение его структуры (сгущение, уплотнение), которые часто называют автоадсорбцией. В многокомпонентных системах при перераспределении компонентов в поверхностный слой предпочтительнее переходит тот компонент, который сильнее уменьшает межфазное (поверхностное) натяжение.

Если поглощаемое вещество диффундирует вглубь поглотителя и распределяется по всему объему, то такое явление называют *абсорбцией* (поглощение объемом).

*Адсорбент* – вещество, на поверхности которого идет адсорбция. *Адсорбат* – вещество, адсорбированное поверхностью адсорбента. *Адсорбтив* – вещество, находящееся в объемной фазе, способное к адсорбции.

*С термодинамической точки зрения адсорбция* – самопроизвольный процесс выравнивания химических потенциалов компонента в объеме системы и поверхностном слое. Этот процесс происходит вследствие стремления к минимуму поверхностной энергии или энергии Гиббса системы.

### Количественные способы выражения адсорбции

Количественно величину адсорбции выражают двумя способами:

1. **Абсолютная адсорбция ( $A$ )** – количество вещества (моль) в поверхностном слое, приходящееся на единицу площади поверхности или единицу массы адсорбента (моль/м<sup>2</sup>, моль/г).

$$A = \frac{n_s}{S} = \frac{C_s V_s}{S} = C_s h, \quad (1)$$

где:  $C_s$  – концентрация компонента в поверхностном слое объемом  $V_s$ ,  $S$  – площадь поверхности адсорбента,  $h$  – толщина поверхностного слоя.

2. **Гиббсовская (избыточная) адсорбция ( $\Gamma$ )** – избыточное число моль адсорбата в поверхностном слое (на единицу площади поверхности) по сравнению с тем числом моль, который бы находился в адсорбционном объеме в отсутствие адсорбции.

$$\tilde{A} = \frac{N_{\text{ад}} - C_v V}{S} = \frac{V(C_0 - C_v)}{S} = \frac{V(C_s - C_v)}{S} = \tilde{A} - \tilde{N}_v h, \quad (2)$$

где:  $N_{\text{ад}}$  – общее число моль адсорбтива;  $C_v$  – равновесная объемная концентрация адсорбтива;  $V$  – объем фазы;  $S$  – площадь поверхности адсорбента;  $C_0$  – исходная концентрация адсорбтива;  $C_s$  – концентрация адсорбата в поверхностном слое.

При больших избытках адсорбата в поверхностном слое ( $C_s \gg C_v$ ), равновесной концентрацией адсорбтива в объеме фазы ( $C_v$ ) можно пренебречь, поэтому величины  $A$  и  $\Gamma$  приблизительно равны.

При экспериментальном определении величину адсорбции рассчитывают по разности исходных и равновесных концентраций адсорбтива, т.е. определяют величину  $\Gamma$ .

$$\Gamma = \frac{V(C_0 - C_p)}{S}, \quad (3)$$

где:  $C_0$  – концентрация адсорбтива до адсорбции;  $C_p$  – равновесная концентрация адсорбтива после адсорбции,  $S$  – площадь межфазной поверхности,  $V$  – объем раствора.

Если адсорбентом является твердое пористое тело, общую поверхность которого определить невозможно, то адсорбцию  $\Gamma$  относят к единице массы адсорбента (моль/г).

### Теория мономолекулярной адсорбции Лэнгмюра

В настоящее время не создано общей теории, которая бы достаточно корректно описывала бы все виды адсорбции на различных поверхностях раздела фаз. Рассмотрим основные

положения «классической» теории адсорбции, разработанной в начале XX века Лэнгмюром:

1. Адсорбция молекул адсорбата происходит на активных центрах, всегда существующих на поверхности адсорбента. Активные центры адсорбента энергетически равноценны.

2. Каждый активный центр может адсорбировать только одну молекулу адсорбата. В результате этого на поверхности адсорбента образуется *мономолекулярный слой* адсорбата.

3. Адсорбированные молекулы не взаимодействуют друг с другом. Поэтому время пребывания молекул на активных центрах не зависит от того, заняты молекулами соседние активные центры или нет.

4. Адсорбция носит динамический характер. Адсорбат удерживается на поверхности адсорбента некоторое время, а потом десорбируется.

На основе приведенных исходных положений Лэнгмюром было предложено уравнение *изотермы мономолекулярной адсорбции*, которое для адсорбции из растворов имеет вид:

$$\hat{A} = \hat{A}_{\infty} \frac{\hat{E}C}{1 + \hat{E}C}, \quad (4)$$

где:  $C$  – равновесная концентрация адсорбтива;  $K$  – константа адсорбционного равновесия, характеризующая энергию взаимодействия адсорбата и адсорбента;  $A_{\infty}$  – предельная адсорбция (емкость адсорбционного монослоя).

Типичный вид изотермы Лэнгмюра показан на рисунке 1.

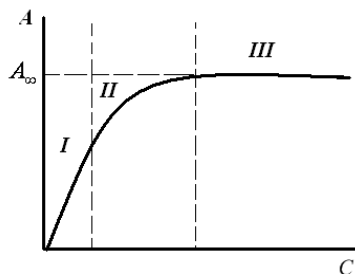


Рис. 1. Изотерма мономолекулярной адсорбции Лэнгмюра в координатах  $A=f(C)$ .

На изотерме адсорбции Лэнгмюра выделяют три участка:

**I** - область малых концентраций ( $KC \ll 1$ ), тогда:  $A = A_\infty KC$ , величина адсорбции линейно растет с увеличением концентрации (уравнение Генри).

**III** – область больших концентраций ( $KC \gg 1$ ), тогда:  $A = A_\infty$ , вся поверхность адсорбента занята молекулами адсорбата.

**II** – область средних концентраций: расчет ведут по уравнению (4).

### Расчет констант уравнения Лэнгмюра

Константы ( $K$  и  $A_\infty$ ) уравнения Лэнгмюра рассчитывают двумя способами:

1. Аналитический способ: в уравнение (4) подставляют экспериментальные значения  $A$  при соответствующих значениях  $C$ , решают систему уравнений с двумя неизвестными, находят  $A_\infty$  и  $K$ .

2. Графический способ: уравнение (4) приводят к линейному виду:  $y = a + bx$ .

$$\frac{C}{A} = \frac{1}{A_\infty K} + \frac{1}{A_\infty} C \quad (5)$$

Строят изотерму адсорбции в координатах линейной формы уравнения Лэнгмюра (рис.2):

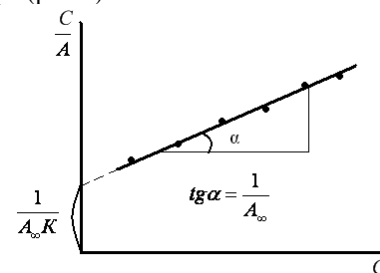


Рис.2. Изотерма адсорбции в координатах линейной формы уравнения Лэнгмюра.

Экстраполяция зависимости до оси ординат дает отрезок, равный  $\frac{1}{A_\infty K}$ , тангенс угла наклона прямой равен  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{A_\infty}$ .

Уравнение Лэнгмюра, выведенное для описания процесса адсорбции газа на твердой поверхности, используют и для описания молекулярной адсорбции из растворов.

### Эмпирическое уравнение адсорбции Фрейндлиха

Для описания процесса адсорбции также используют эмпирическое уравнение Фрейндлиха.

$$A = \beta \cdot C^{1/n}, \quad (6)$$

где:  $C$  – равновесная концентрация адсорбтива;  $\beta$  и  $n$  – константы, определяемые опытным путем.

Константа  $\beta$  по своему физическому смыслу представляет собой значение адсорбции при равновесной концентрации адсорбтива, равной единице (при  $C=1, A = \beta$ ). Эта константа для различных адсорбционных систем колеблется в пределах  $2 \div 2,5$ .

Показатель  $1/n$  характеризует степень отклонения изотермы адсорбции от прямой линии ( $1/n \approx 0,2 \div 0,7$ ).

Константы уравнения Фрейндлиха из опытных данных определяют графически. Для этого уравнение (6) логарифмируют:

$$\lg A = \lg \beta + \frac{1}{n} \lg C, \quad (7)$$

Уравнение (7) представляет собой уравнение прямой в координатах  $\lg A - \lg C$ .

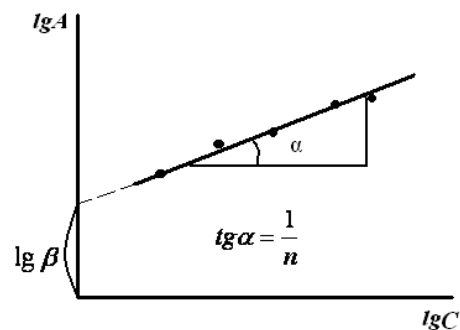


Рис.3. График для нахождения констант в уравнении Фрейндлиха

Экстраполяция зависимости до оси ординат дает отрезок, равный  $\lg \beta$ , тангенс угла наклона прямой равен  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{n}$ .



## Экспериментальная часть

### Изучение адсорбции уксусной кислоты из ее водных растворов на активированном угле с использованием титриметрического метода определения концентраций (вариант I)

#### Цель работы:

1. Изучить процесс адсорбции на границе твердое тело – раствор на примере адсорбции уксусной кислоты на активированном угле с использованием титриметрического метода определения концентраций.

2. Сравнить изотерму адсорбции, полученную экспериментально, с изотермами адсорбции, рассчитанными по уравнениям Лэнгмюра и Фрейндлиха. Сделать вывод о том, какое из уравнений более пригодно для описания адсорбции уксусной кислоты на активированном угле.

#### Приборы и реактивы:

1. Две серии склянок по шесть штук в каждой. На каждой склянке указывается концентрация раствора уксусной кислоты. Склянки второй серии берутся с пробками.
2. Конические колбы для титрования.
3. Пипетки.
4. Мерный цилиндр.
5. Воронки и фильтровальная бумага.
6. Бюретки.
7. Растворы уксусной кислоты, концентрации 0,6 моль/л и 0,4 моль/л.
8. Раствор гидроксида натрия, концентрации 0,1 моль/л.
9. Активированный уголь.
10. Фарфоровый тигель.
11. Индикатор – фенолфталеин.
12. Встряхиватель.
13. Дистиллированная вода.

#### Порядок выполнения работы:

##### 1. Приготовление растворов уксусной кислоты

В шесть склянок первой серии приливают по 100,0 мл раствора уксусной кислоты следующих концентраций: 0,6 М, 0,4 М, 0,3 М, 0,2 М, 0,1 М, 0,05 М. Растворы с концентрацией 0,3 М и ниже готовят

последовательным разбавлением исходных 0,6 М и 0,4 М растворов уксусной кислоты.

Например: для приготовления 0,3 М раствора исходный 0,6 М раствор уксусной кислоты разбавляют в два раза, т.е. в колбу (бутылку) отбирают мерным цилиндром 50,0 мл 0,6 М раствора кислоты и приливают к нему 50,0 мл дистиллированной воды. Аналогичным образом проводят разбавление для приготовления растворов кислоты концентрации 0,2 М, 0,1 М и 0,05 М. Для приготовления 0,2 М раствора кислоты исходный 0,4 М раствор разбавляют в два раза. 0,1 М раствор кислоты готовят разбавлением исходного 0,4 М в четыре раза или разбавлением полученного 0,2 М в два раза и т.д.

## 2. Проведение процесса адсорбции

В шесть склянок с пробками второй серии насыпают по 1 г предварительно растертого в фарфоровом тигле активированного угля и приливают по 50,0 мл приготовленных растворов уксусной кислоты концентраций: 0,6 М, 0,4 М, 0,3 М, 0,2 М, 0,1 М, 0,05 М. Склянки закрывают пробками, помещают на встряхиватель и проводят процесс адсорбции при встряхивании содержимого в колбах в течение 30 минут, считая, что за это время установится адсорбционное равновесие. При этом концентрация раствора уксусной кислоты уменьшится за счет адсорбции ее молекул на частицах угля и станет  $C_K^{равн}$ .

## 3. Определение точной концентрации приготовленных растворов уксусной кислоты методом титрования

Пока идет процесс адсорбции, уточняют концентрации приготовленных растворов уксусной кислоты титрованием 0,1 М раствором гидроксида натрия. Для этого в конические колбы для титрования отбирают аликвоты приготовленных растворов уксусной кислоты: по 2,0 мл (для 0,6 М и 0,4 М растворов), по 5,0 мл (для 0,3 М и 0,2 М растворов) и по 10,0 мл (для 0,1 М и 0,05 М растворов). В колбы с аликвотами по 2–5 мл приливают по 10 мл дистиллированной воды.

Проводят титрование растворов кислоты 0,1 М раствором гидроксида натрия в присутствии индикатора фенолфталеина (1-2 капли). Фиксируют объем щелочи, пошедшей на титрование (в точке

эквивалентности окраска индикатора из бесцветной становится малиновой). Титрование каждого раствора проводят 2-3 раза, определяют средний объем щелочи, пошедшей на титрование. Точную концентрацию приготовленных растворов уксусной кислоты рассчитывают по формуле:

$$C_K^{точн} = \frac{C_{NaOH} \cdot V_{NaOH}}{V_K}, \quad (8)$$

где:  $C_K^{точн}$  - точная концентрация уксусной кислоты, моль/л;  
 $C_{NaOH}$  - концентрация щелочи, используемой для титрования, моль/л;  
 $V_{NaOH}$  - объем щелочи, пошедшей на титрование, мл;  
 $V_K$  - объем аликвоты уксусной кислоты, взятой для титрования, мл.  
 Результаты титрования и расчеты заносят в таблицу 1.

Таблица 1  
 Результаты титрования приготовленных растворов уксусной кислоты до адсорбции

Исходный раствор титруемой кислоты, моль/л	Объем аликвоты кислоты, взятой для титрования ( $V_K$ ), мл	Объем щелочи, пошедший на титрование, мл	Среднее значение объема щелочи $V_{NaOH}$ , мл	Рассчитанная концентрация кислоты до адсорбции ( $C_K^{точн}$ ), моль/л
0,6	2	$V_1$ $V_2$ $V_3$		
0,4	2			
0,3	5			
0,2	5			
0,1	10			
0,05	10			

#### 4. Фильтрация растворов уксусной кислоты после адсорбции

По истечении 30 минут от начала процесса адсорбции встряхиватель выключают, склянки вынимают.

Проводят фильтрацию растворов уксусной кислоты после адсорбции в предварительно вымытые склянки первой серии. Для

фильтрации используют бумажные фильтры. С целью устранения ошибок, первые порции фильтрата отбрасывают.

#### 5. Определение точной концентрации уксусной кислоты после адсорбции методом титрования

Проводят титрование отфильтрованных растворов кислоты 0,1 М раствором гидроксида натрия в присутствии индикатора фенолфталеина (1-2 капли). Аликвоты каждого из отфильтрованных растворов кислоты титруются аналогично (п.3). Концентрации отфильтрованных растворов уксусной кислоты рассчитывают по уравнению (8). Результаты титрования заносят в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты титрования отфильтрованных растворов уксусной кислоты после адсорбции

Исходный раствор титруемой кислоты, моль/л	Объем аликвоты кислоты, взятой для титрования ( $V_K$ ), мл	Объем щелочи, пошедший на титрование, мл	Среднее значение объема щелочи $V_{NaOH}$ , мл	Рассчитанная концентрация кислоты после адсорбции ( $C_K^{равн}$ ), моль/л
0,6	2	$V_1$ $V_2$ $V_3$		
0,4	2			
0,3	5			
0,2	5			
0,1	10			
0,05	10			

Далее проводят обработку экспериментальных данных (стр.16).

#### Изучение адсорбции уксусной кислоты из ее водных растворов на активированном угле с использованием кондуктометрического метода определения концентраций (вариант II)

##### Цель работы:

1. Изучить процесс адсорбции на границе твердое тело – раствор на примере адсорбции уксусной кислоты на активированном угле с использованием кондуктометрического метода определения концентраций.

2. Сравнить изотерму адсорбции, полученную экспериментально, с изотермами адсорбции, рассчитанными по уравнениям Лэнгмюра и Фрейндлиха. Сделать вывод о том, какое из уравнений более пригодно для описания адсорбции уксусной кислоты на активированном угле.

#### **Приборы и реактивы:**

1. Учебно-лабораторный комплекс «Химия» в комплектации:
  - центральный контроллер;
  - модуль «Электрохимия» в комплекте с двумя стаканами (50,0 см<sup>3</sup>), двумя электродами в одной обойме для кондуктометрических измерений.
2. Серия стандартных растворов уксусной кислоты концентраций: 0,60 М; 0,50 М; 0,40 М; 0,30 М; 0,20 М; 0,10 М.
3. Две серии склянок по шесть штук в каждой. На каждой склянке указывается концентрация раствора уксусной кислоты. Склянки второй серии берутся с пробками.
4. Мерные цилиндры на 25 мл и 100 мл.
5. Воронки и фильтровальная бумага.
6. Растворы уксусной кислоты, концентрации 0,6 моль/л и 0,4 моль/л.
7. Активированный уголь.
8. Фарфоровый тигель.
9. Встряхиватель.
10. Дистиллированная вода.

#### **Порядок выполнения работы:**

##### **1. Приготовление растворов уксусной кислоты для проведения процесса адсорбции**

В шесть склянок первой серии помещают по 100,0 мл раствора уксусной кислоты следующих концентраций: 0,6 М, 0,4 М, 0,3 М, 0,2 М, 0,1 М, 0,05 М. Растворы с концентрацией 0,3 М и ниже готовят последовательным разбавлением исходных 0,6 М и 0,4 М растворов уксусной кислоты.

Например: для приготовления 0,3 М раствора исходный 0,6 М раствор уксусной кислоты разбавляют в два раза, т.е. в колбу (бутылку) отбирают мерным цилиндром 50,0 мл 0,6 М раствора кислоты и приливают к нему 50,0 мл дистиллированной воды.

Аналогичным образом проводят разбавление для приготовления растворов кислоты концентрации 0,2 М, 0,1 М и 0,05 М. Для приготовления 0,2 М раствора кислоты исходный 0,4 М раствор разбавляют в два раза. 0,1 М раствор кислоты готовят разбавлением исходного 0,4 М в четыре раза или разбавлением полученного 0,2 М в два раза и т.д.

## 2. Проведение процесса адсорбции

В шесть склянок с пробками второй серии насыпают по 1 г предварительно растертого в фарфоровом тигле активированного угля и приливают по 50,0 мл приготовленных растворов уксусной кислоты концентраций: 0,6 М, 0,4 М, 0,3 М, 0,2 М, 0,1 М, 0,05 М. Склянки закрывают пробками, помещают на встряхиватель и проводят процесс адсорбции при встряхивании содержимого в колбах в течение 30 минут, считая, что за это время установится адсорбционное равновесие.

## 3. Построение градуировочного графика

Используя серию стандартных растворов уксусной кислоты, строят градуировочный график зависимости электрической проводимости стандартных растворов кислоты от концентрации  $L = f(C_K)$ . Для этого в сосуд для измерения электрической проводимости приливают последовательно каждый из стандартных растворов уксусной кислоты, начиная с раствора наименьшей концентрации 0,10 М, помещают электроды и измеряют электрическую проводимость растворов. Полученные данные заносят в таблицу 3. По результатам измерений строят градуировочный график. Градуировочный график должен иметь вид прямой.

Таблица 3

Результаты кондуктометрических измерений для построения градуировочного графика

Концентрация стандартных растворов кислоты ( $C_K$ ), моль/л	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05
$L$ , мСм							

#### 4. Измерение электрической проводимости растворов уксусной кислоты до адсорбции

Пока идет процесс адсорбции измеряют электрическую проводимость приготовленных растворов уксусной кислоты ( $L_0$ ). Для этого в сосуд для измерения электрической проводимости приливают последовательно каждый из приготовленных растворов уксусной кислоты, помещают электроды и измеряют электрическую проводимость приготовленных растворов. Результаты измерений заносят в таблицу 4. С помощью градуировочного графика определяют точную концентрацию приготовленных растворов уксусной кислоты ( $C_K^{точн}$ ). Данные заносят в таблицу 4.

#### 5. Фильтрация растворов уксусной кислоты после адсорбции.

По истечении 30 минут от начала процесса адсорбции встряхиватель выключают, склянки с растворами вынимают.

Проводят фильтрацию растворов уксусной кислоты после адсорбции в предварительно вымытые склянки первой серии. Для фильтрации используют бумажные фильтры. С целью устранения ошибок первые порции фильтрата отбрасывают.

#### 6. Определение концентрации уксусной кислоты после адсорбции

Измеряют электрическую проводимость отфильтрованных растворов уксусной кислоты ( $L$ ). По градуировочному графику определяют концентрации растворов уксусной кислоты после адсорбции ( $C_K^{равн}$ ). Результаты заносят в таблицу 4.

Таблица 4

Результаты измерения электрической проводимости растворов кислоты

Исходная концентрация кислоты, моль/л	$L_0$ , мСм	Уточненная концентрация кислоты до адсорбции, $C_K^{точн}$ , моль/л	$L$ , мСм	Концентрация кислоты после адсорбции, $C_K^{равн}$ , моль/л
0,6				
0,4				
0,3				
0,2				
0,1				
0,05				

## Обработка экспериментальных данных

### 1. Расчет экспериментальной гиббсовской адсорбции уксусной кислоты ( $G_{\text{экс}}$ )

В процессе адсорбции концентрация раствора уксусной кислоты уменьшается за счет адсорбции ее молекул на поверхности частиц активированного угля и становится равновесной ( $C_K^{\text{равн}}$ ).

Величину адсорбции, то есть число миллимоль кислоты, адсорбированной 1 г активированного угля, для каждого объема раствора кислоты ( $V = 0,05$  л) рассчитывают по уравнению:

$$G_{\text{экс}} = \frac{C_K^{\text{точн}} - C_K^{\text{равн}}}{m} \cdot V \cdot 1000, \quad \text{ммоль/г}, \quad (9)$$

где:  $G_{\text{экс}}$  – значение экспериментальной гиббсовской адсорбции уксусной кислоты, ммоль/г;  $C_K^{\text{точн}}$  – исходная уточненная концентрация уксусной кислоты до адсорбции, моль/л;  $C_K^{\text{равн}}$  – равновесная концентрация уксусной кислоты после адсорбции, моль/л;  $V$  – объем раствора уксусной кислоты, л; 1000 – множитель для перевода моль в миллимоль.

Полученные для каждого раствора уксусной кислоты значения  $G_{\text{экс}}$  заносят в таблицы 5, 6 и 7.

### 2. Расчет адсорбции по уравнению Лэнгмюра

2.1 Для каждого из шести растворов уксусной кислоты с найденными значениями равновесных концентраций рассчитывают значения  $C_K^{\text{равн}} / G_{\text{экс}}$  и заносят в таблицу 5, при этом  $C_K^{\text{равн}}$  приводят к единицам измерения ммоль/л, т.е. умножают на коэффициент 1000.

Таблица 5

Расчет гиббсовской адсорбции по уравнению Лэнгмюра

№ раствора	$C_K^{\text{равн}}$ , ммоль/л	$G_{\text{экс}}$ , ммоль/г	$C_K^{\text{равн}} / G_{\text{экс}}$ , г/л	$G_{\text{Лэнг}}$ , ммоль/г
1				
2				
3				
4				
5				
6				



**2.2** Для нахождения величины предельной адсорбции  $\Gamma_{\infty}$  строят изотерму адсорбции в координатах линейной формы уравнения Лэнгмюра  $\frac{C_K^{равн}}{\Gamma_{экс}} = f(C_K^{равн})$ . При этом  $C_K^{равн}$  выражают в ммоль/л, а  $\Gamma_{экс}$  в ммоль/г. Изотерма адсорбции в координатах линейной формы уравнения Лэнгмюра получается в виде прямой линии, тангенс угла которой равен  $1/\Gamma_{\infty}$ , отрезок, отсекаемый прямой от оси ординат равен  $1/\Gamma_{\infty}K$ . Внешний вид изотермы представлен на рис.2.

**2.3** Рассчитывают константы  $\Gamma_{\infty}$  и  $K$  в уравнении Лэнгмюра.

**2.4** Используя найденные значения  $\Gamma_{\infty}$  и  $K$ , для каждой концентрации уксусной кислоты рассчитывают величину адсорбции по уравнению Лэнгмюра:

$$\Gamma_{Лэнг} = \Gamma_{\infty} \frac{K \cdot C_K^{равн}}{1 + K \cdot C_K^{равн}}, \quad (10)$$

Полученные значения  $\Gamma_{Лэнг}$  заносят в таблицу 5.

### 3. Расчет адсорбции по уравнению Фрейндлиха

**3.1** Для каждого из шести растворов уксусной кислоты с найденными значениями равновесных концентраций  $C_K^{равн}$  (в ммоль/л) и  $\Gamma_{экс}$  (в ммоль/г) рассчитывают значения  $\lg \Gamma_{экс}$  и  $\lg C_K^{равн}$  и заносят в таблицу 6.

Таблица 6

Расчет гиббсовской адсорбции по уравнению Фрейндлиха

№ раствора	$C_K^{равн}$ , ммоль/л	$\lg C_K^{равн}$	$\Gamma_{экс}$ , ммоль/г	$\lg \Gamma_{экс}$	$\Gamma_{Фр}$ , ммоль/г
1					
2					
3					
4					
5					
6					

**3.2** Для нахождения констант в уравнении Фрейндлиха  $\beta$  и  $1/n$  строят прямую в координатах  $\lg \Gamma_{\text{экс}} = f(\lg C_K^{\text{равн}})$ . Тангенс угла наклона прямой в соответствии с уравнением Фрейндлиха в логарифмической форме равен  $1/n$ , а отрезок, отсекаемый прямой от оси ординат равен  $\lg \beta$ . Внешний вид прямой представлен на рис.3.

**2.3** Рассчитывают константы  $\beta$  и  $1/n$  в уравнении Фрейндлиха.

**2.4** Используя найденные значения  $\beta$  и  $1/n$  для каждой концентрации уксусной кислоты, рассчитывают величину адсорбции по уравнению Фрейндлиха:

$$\Gamma_{\text{Фр}} = \beta \cdot C_{\text{равн}}^{1/n}, \quad (11)$$

Полученные значения  $\Gamma_{\text{Фр}}$  заносят в таблицу 6.

#### **4. Сравнение значений адсорбции, рассчитанных по уравнениям Лэнгмюра и Фрейндлиха, с экспериментальными значениями**

**4.1** Рассчитанные значения  $\Gamma_{\text{экс}}$ ,  $\Gamma_{\text{Лэнг}}$  и  $\Gamma_{\text{Фр}}$  заносят в таблицу 7.

Таблица 7

Сравнительные данные расчета адсорбции по экспериментальным данным и уравнениям Лэнгмюра и Фрейндлиха

№ раствора	$C_K^{\text{равн}}$ , ммоль/л	$\Gamma_{\text{экс}}$ , ммоль/г	$\Gamma_{\text{Лэнг}}$ , ммоль/г	$\Gamma_{\text{Фр}}$ , ммоль/г
1				
2				
3				
4				
5				
6				

**4.2** Для сравнения значений адсорбции, рассчитанных по уравнениям Лэнгмюра и Фрейндлиха с экспериментальными значениями адсорбции, строят изотермы адсорбции в координатах:  $\Gamma_{\text{экс}} = f(C_{\text{равн}})$ ,  $\Gamma_{\text{Лэнг}} = f(C_{\text{равн}})$ ,  $\Gamma_{\text{Фр}} = f(C_{\text{равн}})$  на одном графике.

**4.3** Делают вывод о том, какое из уравнений (Лэнгмюра или Фрейндлиха) точнее отражает процесс адсорбции уксусной кислоты из ее водных растворов на активированном угле.

Учебное издание

**ИЗУЧЕНИЕ АДСОРБЦИИ УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ НА  
АКТИВИРОВАННОМ УГЛЕ**

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
по дисциплинам «Поверхностные явления и дисперсные системы» и  
«Коллоидная химия» для ХТФ, ФТФ, ЭЛТИ, ИГНД

Составители


Михеева Елена Валентиновна  
Катюхин Владимир Евгеньевич

Подписано к печати 00. 00.2009. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать Хегох. Усл. печ. л. 000. Уч.-изд. л. 000.  
Заказ . Тираж экз.



Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Томского политехнического университета  
сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту  
ISO 9001:2000



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.