

**Министерство образования и науки Пензенской области  
Управление образования г. Пензы  
Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение  
средняя общеобразовательная школа №52 г. Пензы**

## **НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА**

**Экспериментальное установление адсорбционных возможностей  
активированного угля**

**Выполнила:**

**Монахова Анастасия, ученица  
11 А класса**

**МБОУ СОШ № 52 г. Пензы**

**Научный руководитель:**

**учитель химии**

**МБОУ СОШ № 52 г. Пензы**

**Цымбал Людмила Петровна**

**Пенза, 2021 год**

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Глава I. Теоретические основы изучения явления адсорбции.....	5
1.1. Из истории изучения адсорбции.....	5
1.2. Количественное определение адсорбции.....	7
1.3. Сущность метода нейтрализации.....	10
Глава II. Исследование адсорбции уксусной кислоты на активированном угле.....	12
Заключение.....	16
Литература.....	17
Приложение.....	18

## **Введение**

Для исследования в качестве адсорбента нами выбран активированный уголь. Это наиболее распространённый пористый адсорбент, который получают из каменного угля, дерева, животных костей, ореховых косточек и др. Адсорбирующее действие активированного угля обусловлено его большой удельной поверхностью, что позволяет использовать его для различных целей: извлечение из растворов посторонних веществ, поглощение газов и т. д. В качестве адсорбирующего вещества (адсорбата) используются водные растворы уксусной кислоты. Уксусная кислота содержится в некоторых пищевых продуктах (майонез, маринады), образуется при прокисании вина, используется как консервант и как усилитель вкуса. Употребление продуктов, содержащих уксусную кислоту, может привести к неприятным ощущениям, устранить которые можно с помощью активированного угля.

Поэтому **актуальность** нашей работы состоит в экспериментальном установлении адсорбционных возможностей активированного угля, изготовленного на ЗАО «МЕДИСОРБ» г. Пермь.

Основной **целью** настоящей работы является количественно изучить адсорбцию на активированном угле, выбрать модель процесса.

Цель исследования определила следующие **задачи**:

1. Изучить литературу по теме исследования.
2. Рассмотреть вопрос об истории адсорбции.
3. Экспериментальным путём получить данные об удельной адсорбции в зависимости от равновесной концентрации раствора;
4. Изучить явление адсорбции на примере активированного угля, используя методы качественного и количественного анализа;
5. Построить изотерму адсорбции (график зависимости адсорбции от равновесной концентрации).

**Объект исследования:** активированный уголь.

**Предмет исследования:** адсорбция уксусной кислоты из растворов разной концентрации на активированном угле.

Для решения поставленных задач в процессе исследования использовались следующие **методы:** экспериментальный, сравнительно-сопоставительный, статистический.

**Гипотеза:** активированный уголь является хорошим адсорбентом и может применяться для адсорбции водных растворов уксусной кислоты.

## ГЛАВА I

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ ЯВЛЕНИЯ АДСОРБЦИИ

#### 1.1. Из истории изучения адсорбции

По определению, данному Большой Советской Энциклопедией, адсорбция - поглощение какого-либо вещества из газообразной среды или раствора поверхностным слоем жидкости или твёрдого тела. Вещество, на поверхности которого происходит адсорбция, называется адсорбентом. Адсорбент может быть твёрдым или жидким. Вещество, которое перераспределяется и может находиться в газообразной или жидкой фазе, называют адсорбатом. Таким образом, адсорбат адсорбируется на адсорбенте.

Различают физическую (молекулярную) адсорбцию, хемосорбцию (образование химического соединения между адсорбентом и адсорбатом) и ионный обмен.

Для физической адсорбции характерно взаимодействие адсорбента и адсорбата за счёт слабых межмолекулярных сил и водородных связей.

Хемосорбция отличается от физической адсорбции тем, что обусловлена образованием химических связей между адсорбентом и адсорбатом.

Явление адсорбции было открыто в 1785 году Товием Егоровичем Ловицем (1757 – 1804). Ловиц наблюдал поглощение веществ из растворов углём. В 1928 году отечественный учёный Пётр Александрович Ребиндер (1898 – 1972) совершил открытие, которое сам назвал как «эффект адсорбционного понижения прочности твёрдого тела, находящегося в напряжённом состоянии, вследствие обратимой адсорбции на его поверхности частиц из окружающей среды». Эффект Ребиндера имеет большое практическое значение. Именно им объясняется хрупкое разрушение металлов, растрескивание стёкол, керамики, горных пород,

твёрдых полимерных материалов в присутствии воды, органических растворителей или других жидкостей. Этот эффект может приносить значительный вред, но может быть и полезным: он облегчает обработку металлов резанием, бурение твёрдых горных пород, измельчение руды перед её переработкой. Дмитрий Иванович Менделеев предполагал, что первой стадией катализа служит адсорбция исходных веществ на поверхности гетерогенного катализатора.

Большой адсорбционной способностью обладает активированный уголь.

Активированный уголь – это адсорбент – вещество с развитой пористой структурой, которое получают из различных углеродсодержащих материалов органического происхождения. Наиболее качественными из доступных сорбентов являются уголь из кокосовой скорлупы и берёзовый уголь.

Адсорбционную способность древесных углей впервые заметили в конце 18 века. Так, в 1773 г. Карл Шееле сообщал об адсорбции газов на древесном угле. Через несколько лет, в 1785 г., Ловиц установил, что древесный уголь может обесцвечивать определённые жидкость, что привело к первому промышленному применению дрсного угля на английском сахаро-рафинадном заводе в 1794 г.

Адсорбционная способность угля обеспечивается его пористостью. Чем больше пор, тем больше поверхность угля и тем больше адсорбционная способность. Обычно поры древесного угля частично заполнены различными веществами, что снижает его адсорбционную способность. Для усиления адсорбции, уголь подвергают специальной обработке – нагревают в струе водяного пара, чтобы освободить его поры от загрязняющих веществ. Обработанный таким образом уголь называется активированным.

Практическое применение адсорбционных явлений очень велико. Адсорбцией извлекают малые количества веществ, растворённых в

больших объёмах жидкости. Этим способом пользуются в технологии получения редких металлов.

Адсорбция широко применяется для очистки сахарного сиропа от примесей, придающих ему желтоватый цвет, для очистки растительных масел и жиров. Современная медицина широко применяет специальные угли для извлечения токсичных веществ из крови, лимфы, плазмы для повышения иммунитета, для консервирования крови, при инфекционных заболеваниях желудочно-кишечного тракта. Разработанный российским учёным Н.Д.Зелинским противогаз с активным углем в качестве сорбента до сих пор является наилучшим способом защиты от летучих ядовитых веществ.

Проанализировав литературные источники, мы пришли к выводу, что экспериментальное изучение адсорбции представляет интерес, т. к. это явление в школьной программе почти не изучается.

## 1.2. Количественное определение адсорбции

Изучение адсорбции уксусной кислоты на активированном угле основано на определении концентрации раствора до контакта с адсорбентом  $C_0$  и после наступления адсорбционного равновесия  $C$ . Количество адсорбированной кислоты рассчитывается по формуле:

$$v = V(C_0 - C),$$

где  $V$  – объём раствора, из которого идёт адсорбция,  $\text{дм}^3$ .

Тогда удельная адсорбция:

$$a = v / m = V(C_0 - C) / m, \quad (1)$$

где  $a$  – количество вещества, адсорбированного одним граммом адсорбента;  $m$  – масса адсорбента, г.

После определения адсорбции из серии растворов различной концентрации строится график изотермы адсорбции в координатах « $a - c$ ».

Для описания процесса адсорбции разработано несколько теорий, наиболее часто используемыми из которых являются теории Ленгмюра и Фрейндлиха.

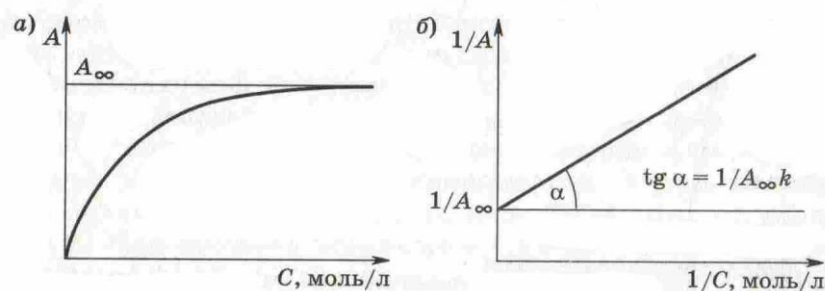
Теория адсорбции Ленгмюра основана на следующих положениях:

- поверхность адсорбента однородна, т.е. адсорбция частиц адсорбата на любом участке поверхности даёт одинаковый выигрыш в энергии;
- адсорбция частиц происходит только в один слой;
- адсорбированные частицы не взаимодействуют между собой.

На основе этих положений было получено уравнение изотермы адсорбции:

$$A = A_{\infty} \frac{kC}{1+kC} \quad (1),$$

где  $A_{\infty}$  - предельная адсорбция,  $k$  - константа,  $C$  - концентрация раствора.



Изотерма адсорбции Ленгмюра в двух формах:  
 а — в координатах  $A-C$ ; б — в координатах  $1/A - 1/C$

Изотерма адсорбции Ленгмюра изображена на рисунке.

Для определения соответствия теории результатам эксперимента уравнение изотермы приводят к линейному виду и строят соответствующий график. Уравнение 1 можно привести к линейной форме путем деления 1 на обе части уравнения:

$$\frac{1}{A} = \frac{1+kC}{A_{\infty}kC} \quad (2)$$

График, соответствующий уравнению 2, имеет вид восходящей прямой. Если экспериментальные данные, отложенные в координатах  $1/A - 1/C$ , ложатся



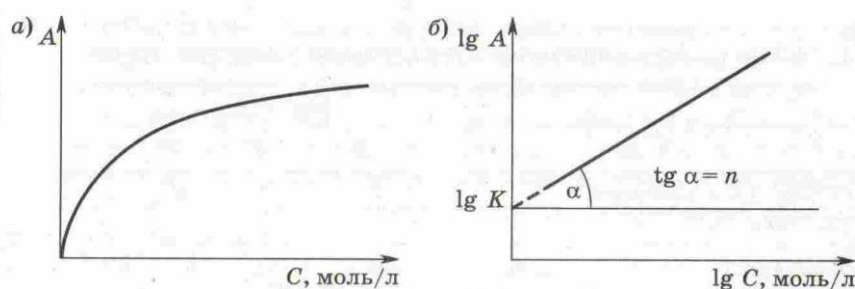
на прямую, то это означает, что теория адсорбции Ленгмюра адекватно описывает данный процесс. Нахождение  $\operatorname{tg} \alpha$  и пересечения прямой с осью ординат позволит рассчитать  $A_{\infty}$  и  $k$ . Если прямая не получается, то это означает, что данная модель непригодна для адекватного описания адсорбции в конкретной системе.

В адсорбционной модели Фрейндлиха в основном используются те же положения, что и в теории Ленгмюра, кроме положения об однородности поверхности адсорбента. Фрейндлих предположил, что на поверхности есть более выгодные для адсорбции участки и менее выгодные. Он получил следующее уравнение изотермы адсорбции:

$$A = KC^n \quad (3)$$

где  $K$  и  $n$  - константы,  $C$  - концентрация раствора.

Изотерма адсорбции Фрейндлиха в координатах  $A$ - $C$  изображена на рисунке.



Изотерма адсорбции Фрейндлиха в двух формах:  
 $a$  — в координатах  $A$ — $C$ ;  $b$  — в координатах  $\lg A$ — $\lg C$

Уравнение 3 приводится к линейному виду путем логарифмирования:

$$\lg A = \operatorname{tg} K + n \cdot \lg C \quad (4)$$

График, соответствующий уравнению 4, имеет вид восходящей прямой. По аналогии с первой моделью, если экспериментальные данные отложить в координатах  $\lg A$ - $\lg C$  и при этом они лягут на прямую, то это будет означать применимость модели Фрейндлиха для описания адсорбции в данном случае. Нахождение  $\operatorname{tg} \alpha$  и пересечения прямой с осью ординат позволит рассчитать  $K$  и  $n$ . При этом надо учитывать, что экспериментальные данные могут иметь некоторый разброс значений из-за случайных ошибок.

### 1.3. Сущность метода нейтрализации

Титрование – это постепенное прибавление рабочего раствора известной концентрации к анализируемому раствору. Основной реакцией метода нейтрализации является реакция нейтрализации, которая происходит при взаимодействии кислот с основаниями и выражается уравнением:



Этот метод применяется для количественного определения кислот и щелочей. В методе нейтрализации в качестве индикаторов применяют вещества, изменяющие свою окраску в зависимости от изменения концентрации ионов водорода в растворе. Так как цвет раствора зависит от цвета ионов и недиссоциированных молекул, то в качестве индикаторов применяют слабые органические кислоты или основания, у которых цвет недиссоциированных молекул отличается от цвета ионов.

Если индикатор – слабая кислота, то её формулу можно обозначить через HInd. Такой индикатор распадается на ионы по схеме:



При прибавлении к раствору кислоты индикатор находится в недиссоциированном состоянии вследствие влияния одноимённого иона  $\text{H}^+$ . Так что цвет индикатора в достаточно кислой среде соответствует окраске его недиссоциированных молекул HInd. По мере титрования кислоты щёлочью в растворе уменьшается концентрация ионов водорода, следовательно, возрастает количество диссоциированных молекул индикатора. Этим объясняется изменение окраски раствора при титровании.

Титровать растворы – значит определять объёмы, в которых они эквивалентны между собой. Расчёт концентрации исследуемого раствора проводится по формуле:

$$C_k = C_{\text{щ}} V_{\text{щ}} / V_k, \text{ где} \quad (2)$$

$C_{\text{щ}}$  – концентрация титрованного раствора щёлочи, моль/ дм<sup>3</sup>

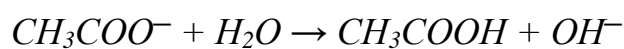
$V_{\text{к}}$  – объём кислоты, взятый на титрование, см<sup>3</sup>

$V_{\text{щ}}$  – объём щёлочи, затраченный на титрование, см<sup>3</sup>

Расчёт концентрации кислоты по результатам титрования проводится на основании закона эквивалентности.

### **Вывод**

Для титрования выбран индикатор фенолфталеин, т. к. слабая кислота титруется сильной щёлочью, и в конце титрования образуется раствор натриевой соли титруемой кислоты, который вследствие гидролиза этой соли имеет щелочную реакцию, в которой отчётливо видно появление окраски:



## ГЛАВА II ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИИ УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ НА АКТИВИРОВАННОМ УГЛЕ

### Приборы и реактивы.

- 1) Весы учебные лабораторные.
- 2) Фарфоровая ступка с пестиком.
- 3) Конические колбы на 500 мл – 12 шт.
- 4) Мерные колбы на 25 мл, 20 мл.
- 5) Бюретка для титрования на 25 см<sup>3</sup>.
- 6) Градуированные пипетки на 2, 5, 10 и 25 мл.
- 7) Водный раствор уксусной кислоты CH<sub>3</sub>COOH (0,4 н).
- 8) Водный раствор гидроксида натрия NaOH (0.1 н).
- 9) Фенолфталеин.
- 10) Фильтровальная бумага.
- 11) Активированный уголь.

Ход работы. Активированный уголь измельчают в фарфоровой ступке так, чтобы не было зёрен крупнее 1 мм, и не образовывалась излишне тонкая пыль. На технических весах берут 5 навесок около 0,3 г каждая.

В шести конических колбах емкостью по 500 мл готовят растворы уксусной кислоты 0,4 н (Приложение 2), разбавляя раствор водой.

Точную концентрацию полученных растворов определяют титрованием 0,1 н раствором щелочи (Приложение 3) в присутствии индикатора – фенолфталеина, для этого в другие 6 конических колб емкостью по 500 мл отбирают пипеткой следующие объемы растворов: из колб № 1, 2 и 3 - по 50 мл, из колбы № 4 - 25 мл, из колбы № 5 - 10 мл и из колбы № 6 - 5 мл. В отобранные растворы добавляют по 2-3 капли индикатора и титруют, по каплям добавляя из бюретки раствор щелочи до появления устойчивой слабо розовой окраски раствора. Содержание уксусной кислоты в исходных

растворах вычисляют на основе закона эквивалентов, по объёму 0,1 н раствора щелочи, израсходованной на титрование:

$$С_{\text{кисл.}} \cdot V_{\text{кисл.}} = С_{\text{щел.}} \cdot V_{\text{щел.}}$$

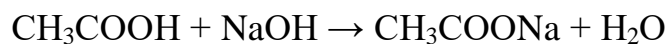
$$\text{Откуда } С_{\text{кисл.}} = \frac{С_{\text{щел.}} \cdot V_{\text{щел.}}}{V_{\text{кисл.}}}$$

Данные заносят в таблицу 1

№ колбы	Объём раствора уксусной кислоты, $V_{\text{кисл}}$ мл	Объём раствора щелочи, пошедшей на титрование, $V_{\text{щел}}$ мл	Концентрация раствора щелочи, $C_{\text{щел. н}}$	Концентрация уксусной кислоты, $C_0, н$
1	50,0	20,5	0,1	0,041
2	50,0	37,5	0,1	0,075
3	50,0	123	0,1	0,246
4	25,0	86	0,1	0,344
5	10,0	73	0,1	0,73
6	5,0	85	0,1	1,7

В каждую колбу первой серии, вносят по 1 г активированного угля и оставляют на 40 минут, взбалтывая содержимое колб через каждые 5 минут. Затем содержимое каждой колбы отфильтровывают. Первые порции фильтратов отбрасывают, а из оставшихся фильтратов отбирают порции для титрования: из колб №1, 2, 3 и 4 – по 25 мл, из колбы №5 – 10 мл и из колбы №6 – 5 мл. Концентрацию уксусной кислоты после адсорбции определяют титрованием щёлочью NaOH (0,1н) с использованием индикатора фенолфталеина методом нейтрализации.

При этом идёт процесс:



Титруют до устойчивой розовой окраски.

На основе результатов этого титрования рассчитывают равновесные концентрации уксусной кислоты. Полученные данные заносят в таблицу 2.

Таблица 2.

№ колбы	Объём раствора уксусной кислоты, $V_{\text{кисл.}}$ , мл	Объём раствора щелочи, пошедшей на титрование, $V_{\text{щел.}}$ , мл	Концентрация раствора щелочи, $C_{\text{щел.}}$ , н	Концентрация уксусной кислоты, $C_p$ , н
1	25,0	1,4	0,1	0,0056
2	25,0	1,9	0,1	0,0076
3	25,0	22,3	0,1	0,0892
4	25,0	68,5	0,1	0,274
5	10,0	76,2	0,1	0,663
6	5,0	82,7	0,1	1,574

По результатам опыта рассчитывают адсорбцию уксусной кислоты для каждого раствора по формуле

$$A = \frac{(C_0 - C_p)V}{m}$$

Где  $V$  – объём раствора уксусной кислоты, из которого проводилась адсорбция, л (в данном опыте 0,5 л),  $m$  – масса адсорбента (в данном опыте 1 г).

Данные заносят в таблицу 3.

Таблица 3

№ колбы	$C_p$	$A$	$1/C_p$	$1/A$	$\lg C_p$	$\lg A$
1	0,0056	0,0177	178,57	56,5	-2,252	-1,752
2	0,0076	0,022	131,58	29,67	-1,472	-1,472
3	0,0892	0,0404	11,21	12,76	-1,050	-1,106
4	0,274	0,035	3,65	28,57	-0,562	-1,456
5	0,663	0,0335	1,51	29,85	-0,178	-1,475
6	1,574	0,063	0,64	15,87	0,197	-1,201

Чтобы построить изотермы адсорбции, по оси абсцисс откладывают равновесные концентрации  $C_p$ , а по оси ординат соответствующие им значения  $A$ . Для проверки применимости моделей адсорбции Ленгмюра или Фрейндлиха строят изотермы адсорбции в координатах  $1/A-1/C_p$  и  $\lg A-\lg C$ . Какой из графиков окажется более прямолинейным, та модель будет наиболее подходящей для описания процесса адсорбции уксусной кислоты активированным углем.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе нашей работы мы пришли к следующим выводам:

1. Изотерма адсорбции имеет «классическую» форму изотермы Лэнгмюра (приложение 1).
2. Адсорбция зависит от концентрации адсорбата только в некоторых низких пределах концентрации, т.к. молекула уксусной кислоты состоит из полярной части ( $-\text{COOH}$ ) и неполярного радикала ( $\text{CH}_3-$ ), и, согласно представлениям Лэнгмюра, полярная группа остаётся в воде, а неполярный радикал втягивается в неполярную фазу. При этом происходит ограничение размеров поверхностного слоя, образуется так называемый мономолекулярный слой.
3. Активированный уголь является хорошим адсорбентом на границе раздела фаз твёрдое тело – жидкость при небольших концентрациях уксусной кислоты.
4. Активированный уголь, изготовленный на ЗАО «МЕДИСОРБ», г. Пермь может применяться для адсорбции водных растворов уксусной кислоты.



## Литература

1. Фридрихсберг Л.А. Курс коллоидной химии. М. – «Химия», 1984.
2. Практикум по коллоидной химии. Под редакцией М.И. Гельфмана. М. – «Лань», 2005.
4. Шапиро С.А., Шапиро М.А. Аналитическая химия. М. – «Высшая школа», 1973.
5. Энциклопедия для детей. Химия том 17. М. – *Аванта*<sup>+</sup>, 2001.
6. Хомченко Г.П. Пособие для поступающих в ВУЗы. М. – «Новая Волна», 1997.
7. Детская энциклопедия. Том 3. Вещество и энергия. М. – «Педагогика», 1973.
8. Краткий медицинский справочник. М. – «Русское энциклопедическое товарищество», 2003.
9. Глинка Н.Л. Общая химия. Л. – «Химия», 1986.

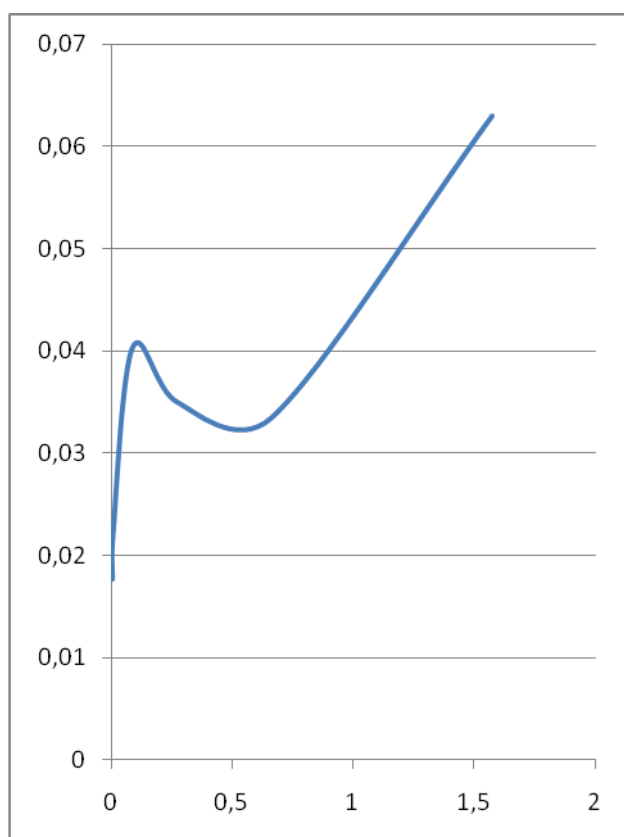
### Интернет-ресурсы

10. [www .volnistij-gorod.ru](http://www.volnistij-gorod.ru)
11. [www.krugosvet.ru](http://www.krugosvet.ru)
12. [www.alhimikov.net](http://www.alhimikov.net)

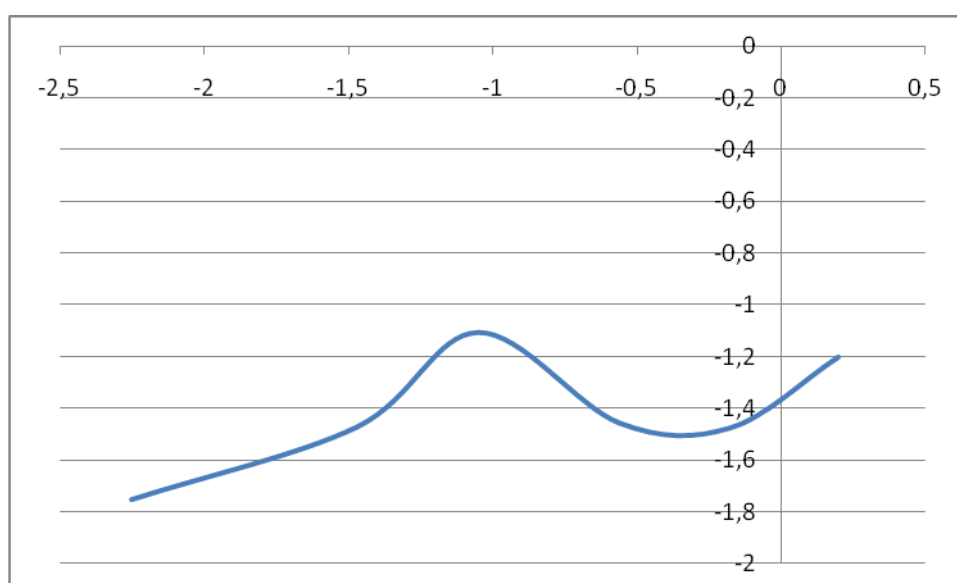


## Приложение 1

### ИЗОТЕРМА АДСОРБЦИИ ЛЕГМИЮРА



### ИЗОТЕРМА АДСОРБЦИИ ФРЕЙНДЛИХА



## Приложение 2

### Уксусная кислота (расчеты)

Дано:

$$\omega_1 (\text{CH}_3\text{COOH}) - 70\%$$

$$V_1 (\text{CH}_3\text{COOH}) - 100 \text{ мл}$$

$$\rho_1 (\text{CH}_3\text{COOH}) - 1,0686 \text{ г/мл}$$

Надо приготовить:

$$N (\text{CH}_3\text{COOH})=0,4 \text{ н}$$

Решение:

70%  $\text{CH}_3\text{COOH}$  содержит 70 г  $\text{CH}_3\text{COOH}$  в 100 г раствора. Это весовое количество раствора занимает объём:

$$V = m/\rho = 100/1,0686 = 93,58 \rightarrow \text{в 1 л раствора содержится:}$$

$$9 \cdot 1000/93,58 = 96,1 \text{ г}$$

$$C_M = m(\text{CH}_3\text{COOH})/M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 96,1/60 = 1,6 \text{ моль/л}$$

$$N = 96,1/\mathcal{E} = 1,6 \text{ н}$$

$$\mathcal{E} = M, \text{ т.к. } \text{CH}_3\text{COOH} - \text{одноосновная кислота, } \mathcal{E} = M(\text{CH}_3\text{COOH})/1$$

Итак,

$$1,6 \text{ н} - 70\%$$

$$0,4 \text{ н} - x\% \quad x = 0,4 \cdot 70/1,6 = 17,5\%$$

у нас имеется:

$$\omega_1 (\text{CH}_3\text{COOH}) - 70\%$$

$$V_1 (\text{CH}_3\text{COOH}) - 100 \text{ мл}$$

$$\rho_1 (\text{CH}_3\text{COOH}) - 1,0686 \text{ г/мл}$$

Надо приготовить:

$$\omega_2 (\text{CH}_3\text{COOH}) - 17,5\%$$

$$\rho_2 (\text{CH}_3\text{COOH}) - 1,0015 \text{ г/мл}$$

Решение:

- 1)  $m_1 \text{ р-ра} = V \cdot \rho = 100 \cdot 1,0686 = 106,86 \text{ г}$
- 2)  $m_1 \text{ в-ва} = \omega \cdot m \text{ р-ра} = 106,86 \cdot 70/100 = 74,802 \text{ г}$
- 3)  $0,175 = 74,802/m_2 \text{ р-ра}$

- 4)  $m_{\text{p-ра}} = 74,802 / 0,175 = 427,44 \text{ г}$
- 5)  $V_2 = m_{\text{p-ра}} / \rho_2 = 427,44 / 1,0015 = 427 \text{ мл}$
- 6)  $V(\text{H}_2\text{O}) = V_2 - V_1 = 427 - 100 = 327 \text{ мл}$

### Приложение 3

#### Гидроксид натрия (расчеты)

$$m_{\text{в-ва}} = 2,0 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 200 \text{ г}$$

$$m_{\text{p-ра}} = 2 + 200 = 202 \text{ г}$$

$$\omega = 2 / 202 * 100\% = 0,99\%$$

$$\rho = 1,0094 \text{ г/мл}$$

$$N = \omega * \rho * 10 / \Xi = 0,99 * 10 * 1,0094 / 40 = 0,25 \text{ н} \quad \Xi = M(\text{NaOH}) / 1$$

$$0,25 \text{ н} - 0,99\%$$

$$0,1 \text{ н} - x\%$$

$$x = 0,1 * 0,99 / 0,25 \approx 0,396\%$$

Дано:

$$\omega = 0,99\%$$

$$m_1 \text{ p-ра} = 202 \text{ г}$$

$$\rho = 1,0094 \text{ г/мл}$$

Надо приготовить:

$$0,396\% \text{ NaOH}$$

$$\rho = 1,0027 \text{ г/мл}$$

Решение:

- 1)  $m_{\text{в-ва}} = 2,0 \text{ г}$
- 2)  $0,396 = 2 / m_2 \text{ p-ра}$
- 3)  $m_2 \text{ p-ра} = 2 / 0,00396 = 505 \text{ г}$
- 4)  $m(\text{H}_2\text{O}) = m_2 \text{ p-ра} - m_1 \text{ p-ра} = 505 - 202 = 303 \text{ г}$
- 5)  $V(\text{H}_2\text{O}) = m / \rho = 303 / 1 = 303 \text{ мл}$

