

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ
Проректор-директор ИПР

_____ А.К. Мазуров
« __ » _____ 2011 г.

ПОРИСТЫЕ АДСОРБЕНТЫ. ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЯНИ

Методические указания к выполнению расчетной лабораторной работы по дисциплинам «Поверхностные явления и дисперсные системы» и «Коллоидная химия» для студентов ИПР

Составитель **Е.В. Михеева**

Издательство
Томского политехнического университета
2011

УДК 541.18(076.5)
ББК 24.6Я73
М695

М695 **Пористые адсорбенты. Потенциальная теория Поляни:** методические указания к выполнению расчетной лабораторной работы по дисциплинам «Поверхностные явления и дисперсные системы и «Коллоидная химия»» для студентов ИПР/ сост. Е.В. Михеева; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 28 с.

УДК 541.18(076.5)
ББК 24.6Я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
физической и аналитической химии ИПР
«13» сентября 2010 г.

Зав. кафедрой ФАХ
доктор хим. наук,
профессор

_____ *А.А. Бакибаев*

Рецензент
Кандидат химических наук
Доцент кафедры ФАХ ИПР ТПУ
Н.П. Пикула

© Составление. ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2011
© Михеева Е.В., составление, 2011
© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2011

Пористые адсорбенты. Потенциальная теория Поляни

План коллоквиума

по теме «Адсорбция на границе твердое тело - газ»

1. Адсорбция. Количественные способы выражения величины адсорбции. Физическая и химическая адсорбция. Экспериментальные зависимости адсорбции.

2. Теория мономолекулярной адсорбции Лэнгмюра. Уравнение мономолекулярной 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. Шершавина А.А. Индивидуальные задания по коллоидной химии: учебн.пособие. – Минск: Новое знание, 2008. – С.112 – 126.

Теоретическая часть

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

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 закономерности адсорбции делятся на две группы: закономерности, описывающие адсорбцию на однородных поверхностях, и закономерности для пористых адсорбентов. Это объясняется различием в энергетическом состоянии однородной и пористой поверхностей, и, соответственно, различием в количественном описании протекающих на них процессов адсорбции.

Адсорбция на пористых сорбентах, удельная поверхность которых достигает сотен тысяч квадратных метров, имеет более сложный характер по сравнению с адсорбцией на непористых телах той же химической природы. Как правило, она сопровождается капиллярной конденсацией – конденсацией пара в порах при давлениях меньших, чем давление насыщенного пара адсорбата над плоской поверхностью. Рассмотрим адсорбцию на пористых сорбентах.

Пористые сорбенты

Пористые адсорбенты – твердые тела, внутри которых имеются поры, обуславливающие наличие внутренней межфазной поверхности. Поры могут быть заполнены газом или жидкостью. Тип таких систем Г/Г или Ж/Г. В отличие от адсорбции на телах с ровной поверхностью, адсорбция на пористых телах значительно выше и зависит от строения и размера пор. Увеличение пористости сорбента приводит не только к увеличению удельной поверхности $S_{уд}$, но и обеспечивает конденсацию пара при давлениях меньших, чем для ровной поверхности. Кроме того, в микропористых телах наблюдается увеличение энергии адсорбции и резкое возрастание величины адсорбции. По этой причине пористые сорбенты широко применяются в промышленности: в гетерогенном катализе, при улавливании выбросов предприятий (экология) и т.д.

Пористые тела классифицируются в соответствии с размерами пор (классификация М.М. Дубинина):

1. **Макропористые** тела ($r > 200\text{нм}$, $S_{\text{уд}} \approx 10^3 \text{ м}^2 / \text{кг}$). Для количественного описания адсорбции в порах такого размера используют уравнения Лэнгмюра.

2. **Мезопористые (переходнопористые)** тела ($r \approx 2 \div 200\text{нм}$, $S_{\text{уд}} \approx 10^3 \div 10^5 \text{ м}^2 / \text{кг}$). В порах таких адсорбентов идет полимолекулярная адсорбция, которая заканчивается капиллярной конденсацией при образовании вогнутого мениска. Процесс адсорбции описывается теориями Поляни и БЭТ.

3. **Микропористые** тела ($r \approx 0,5 \div 2\text{нм}$, $S_{\text{уд}} \approx 10^5 \div 10^6 \text{ м}^2 / \text{кг}$) – молекулярные сита (цеолиты – алюмосиликаты, обладающие строго регулярной кристаллической структурой, активированные угли). Процесс адсорбции описывается Теорией объемного заполнения микропор (ТОЗМ) Дубинина.

Для количественного описания процесса адсорбции на мезо- и переходнопористых сорбентах используют теорию полимолекулярной адсорбции Поляни, которую называют потенциальной теорией объемного заполнения микропор

Теория полимолекулярной адсорбции Поляни

Адсорбцию паров на пористых адсорбентах описывают изотермы, правая часть которых круто поднимается вверх (S-образные), что свидетельствует о взаимодействии на поверхности адсорбированных слоев молекул с адсорбатом, когда адсорбированные молекулы наслаиваются друг на друга.

Для объяснения этого явления и описания S-образных изотерм адсорбции М.Поляни (и А.Эйкен) в 1915 году предложили теорию полимолекулярной адсорбции, основанную на представлении об адсорбционном потенциале.

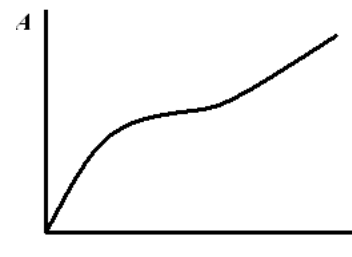


Рис.1. Изотерма адсорбции Поляни.

Основные положения теории Поляни

1. Адсорбция обусловлена чисто физическими силами (силами Ван-дер-Ваальса). Основной вклад вносят дальнедействующие дисперсионные силы аддитивные и не зависящие от температуры.

2. На поверхности адсорбента нет активных центров.

3. Адсорбционные силы действуют на больших расстояниях, что приводит к образованию **полимолекулярного слоя**. По мере удаления от поверхности действие адсорбционных сил уменьшается и на некотором расстоянии практически становится равным нулю.

4. Адсорбционные силы не зависят от температуры.

5. Практически все адсорбированное вещество на поверхности адсорбента находится в жидком состоянии.

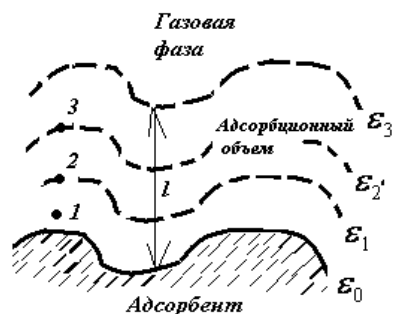


Рис.2. Схематический разрез адсорбционной фазы по Поляни.

В теории проводится аналогия между адсорбцией и конденсацией пара. Предполагается, что в результате взаимодействия с поверхностью газ сжимается до давления насыщения p_s и переходит в жидкость. При этом возникает адсорбционный объем жидкости $V_{адс}$, который связан с величиной адсорбции соотношением:

$$V_{адс} = A \cdot V_m \quad (1)$$

где A – значение адсорбции в моль, V_m – мольный объем адсорбата в конденсированном состоянии (объем 1 моль жидкого адсорбата).

Адсорбционный объем ($V_{адс}$) толщиной l может быть представлен посредством ряда эквипотенциальных поверхностей (рис.2), каждая поверхность соответствует определенному значению адсорбционного потенциала, который имеет максимальное значение у поверхности и минимальное – на границе адсорбционного слоя.

Адсорбционный потенциал (ϵ) – работа обратимого изотермического процесса по переносу 1 моль адсорбата из данной точки адсорбционного объема в газовую фазу (работа против действия адсорбционных сил).

Работа по переносу молекулы из точки 1 больше, чем из точки 2. следовательно: $\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$. Максимальный адсорбционный потенциал наблюдается вблизи поверхности адсорбента.

Рассматривая молекулы адсорбата как идеальный газ, можно записать, что адсорбционный потенциал равен приращению свободной энергии Гиббса при расширении или сжатии идеального газа:

$$\varepsilon = dG = \int_p^{p_s} V \cdot dp = \int_p^{p_s} \frac{RT}{p} dp = RT \int_p^{p_s} \frac{dp}{p} = RT \ln \frac{p_s}{p};$$

$$\varepsilon = RT \ln \frac{p_s}{p}, \quad (2)$$

где p_s – насыщенное давление газа (пара) при данной температуре (константа для каждого газа), p – равновесное давление в объемной фазе вдали от поверхности.

При заполнении пор адсорбента жидким адсорбатом граница между жидкостью и газом искривляется – возникает капиллярное давление. Приращение энергии Гиббса для искривленной поверхности при постоянной температуре для индивидуального вещества будет равно:

$$\Delta G = V_m \cdot \Delta p = \frac{2\sigma V_m}{r}, \quad (3)$$

где Δp – избыточное внутримолекулярное давление, которое для сферических поверхностей согласно уравнению Лапласа равно $\Delta p = 2\sigma/r$; r – радиус кривизны, который из-за малого размера пор совпадает с их радиусом; σ – поверхностное натяжение жидкого адсорбата; V_m – мольный объем жидкого адсорбата, равный отношению молярной массы к плотности жидкого адсорбата.

В состоянии равновесия:

$$\Delta G = RT \ln \frac{p_s}{p} = \frac{2\sigma V_m}{r}. \quad (3)$$

Используя уравнение (3), можно рассчитать радиус пор адсорбента:

$$r = \frac{2\sigma V_m}{\varepsilon}. \quad (4)$$

Зависимость адсорбционного потенциала (ε) от адсорбционного объема ($V_{адс}$) Поляни назвал **характеристической кривой**.

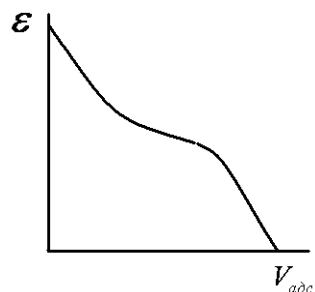


Рис.3. Характеристическая кривая

Характеристическая кривая не зависит от температуры и индивидуальна и характерна для каждого вида адсорбента для сходных адсорбатов.

Характер характеристической кривой, построенной по экспериментальным данным (рис.3), не зависит от температуры.

Теория Поляни имеет большое практическое значение, так как позволяет рассчитывать изотермы адсорбции различных адсорбатов на одних и тех же адсорбентах при любой температуре.

Адсорбционные потенциалы для разных адсорбатов на одном и том же адсорбенте находятся в постоянном соотношении. Это соотношение называется **коэффициентом аффинности**:

$$\beta = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \quad (5)$$

Если имеется изотерма адсорбции и известно значение коэффициента аффинности для одного адсорбата, то можно построить изотерму адсорбции для другого адсорбата.

Таким образом, теория Поляни, хотя и не дает аналитического выражения для изотермы адсорбции, однако позволяет вычислить адсорбцию для любой заданной температуры, если известна хотя бы одна изотерма при одной температуре и имеется характеристическая кривая конкретного адсорбента.

Пример выполнения задания с использованием для расчета калькулятора

Задание:

При изучении адсорбции сернистого ангидрида SO_2 ($\rho_{SO_2(ж)} = 1,4619 \text{ г/см}^3$) на силикагеле при различных температурах были получены следующие экспериментальные данные:

$$T = 303 \text{ K}$$

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 78 | 166 | 206 | 242 |
| A , см ³ /г | 0 | 33,4 | 47,5 | 52,4 | 56,3 |

$T = 313 \text{ K}$

| | | | | | |
|--------------------------|---|-------|-------|-------|-------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 147 | 200 | 244 | 280 |
| A , см ³ /г | 0 | 38,75 | 44,55 | 48,55 | 51,85 |

$T = 330 \text{ K}$

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 175 | 395 | 500 | 590 |
| A , см ³ /г | 0 | 30,5 | 46,5 | 52,8 | 57,8 |

1. Постройте изотерму адсорбции сернистого ангидрида при различных температурах, сделайте вывод о зависимости величины адсорбции от температуры.
2. Рассчитайте и постройте характеристическую кривую.
3. Определите минимальный и максимальный радиус пор.

Решение:

1. По экспериментальным данным построим изотермы адсорбции сернистого ангидрида на силикагеле при различных температурах:

A , см³/г

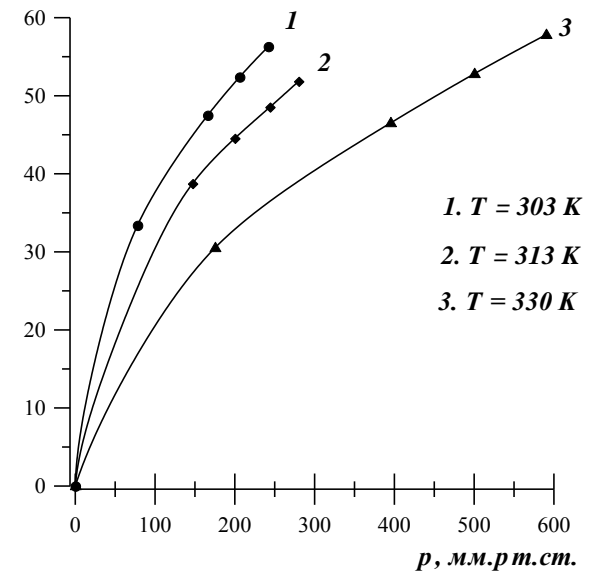


Рис. 4. Изотермы адсорбции сернистого ангидрида на силикагеле при различных температурах

2. Для построения характеристической кривой рассчитаем адсорбционный объем и адсорбционный потенциал по уравнениям (1) и (2).

а) Для расчета адсорбционного потенциала воспользуемся табличными значениями давления насыщенного пара (p_s) сернистого ангидрида при различных температурах (Приложение 1, таблица 1):

Давление насыщенного пара (p_s) сернистого ангидрида при различных температурах:

| | | | |
|--------------------------|-------|-------|-------|
| T, K | 303 | 313 | 330 |
| $p_s, \text{ мм.рт.ст.}$ | 349,6 | 471,2 | 780,0 |

Рассчитаем адсорбционный потенциал при $T = 303 K$ для $p = 78 \text{ мм.рт.ст.}$ по уравнению (2):

$$\varepsilon = RT \ln \frac{p_s}{p} = 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 303K \cdot \ln \frac{349,6 \text{ мм.рт.ст.}}{78 \text{ мм.рт.ст.}} = 3779 \text{ Дж/ моль}$$

Аналогичный расчет проведем для других давлений при температурах 303 К, 313 К и 330 К. Полученные результаты занесем в таблицы:

$T = 303 K$

| | | | | |
|---------------------------------|------|------|------|-----|
| $p, \text{ мм.рт.ст.}$ | 78 | 166 | 206 | 242 |
| $\varepsilon, \text{ Дж/ моль}$ | 3779 | 1876 | 1332 | 927 |

$T = 313 K$

| | | | | |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| $p, \text{ мм.рт.ст.}$ | 147 | 200 | 244 | 280 |
| $\varepsilon, \text{ Дж/ моль}$ | 3031 | 2230 | 1713 | 1354 |

$T = 330 K$

| | | | | |
|---------------------------------|------|------|------|-----|
| $p, \text{ мм.рт.ст.}$ | 175 | 395 | 500 | 590 |
| $\varepsilon, \text{ Дж/ моль}$ | 4100 | 1866 | 1220 | 766 |

б) Для расчета адсорбционного объема ($V_{адс}$):

Пересчитаем величину адсорбции в размерность моль/г, для этого рассчитаем количество моль SO_2 , адсорбированного 1 г силикагеля:

$$n = \frac{33,4 \text{ см}^3}{22,4 \cdot 10^3 \text{ см}^3 / \text{моль}} = 1,49 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

Рассчитаем мольный объем сернистого ангидрида:

$$V_m = \frac{M}{\rho} = \frac{64 \text{ г / моль}}{1,4619 \text{ г / см}^3} = 43,78 \text{ см}^3 / \text{моль},$$

где 64 г/моль – молярная масса SO_2 ; 1,4619 г/см³ – плотность жидкого SO_2 .

Рассчитаем адсорбционный объем при T=303 К для A = 33,4 см³/г = 1,49 · 10⁻³ моль/г по уравнению (1):

$$V_{адс} = A \cdot V_m = 1,49 \cdot 10^{-3} \frac{\text{моль}}{\text{г}} \cdot 43,78 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}} = 0,065 \text{ см}^3 / \text{г}$$

Аналогичный расчет проведем для других величин адсорбции при температурах 303 К, 313 К и 330 К. Полученные результаты занесем в таблицы:

T = 303 К

| | | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| A, см ³ /г | 33,4 | 47,5 | 52,4 | 56,3 |
| V _{адс} , см ³ /г | 0,065 | 0,093 | 0,102 | 0,110 |

T = 313 К

| | | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| A, см ³ /г | 38,75 | 44,55 | 48,55 | 51,85 |
| V _{адс} , см ³ /г | 0,076 | 0,087 | 0,095 | 0,101 |

T = 330 К

| | | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| A, см ³ /г | 30,5 | 46,5 | 52,8 | 57,8 |
| V _{адс} , см ³ /г | 0,060 | 0,091 | 0,103 | 0,113 |

в) Занесем результаты расчетов адсорбционного объема и адсорбционного потенциала при трех температурах в таблицы:

T = 303 К

| | | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| V _{адс} , см ³ /г | 0,065 | 0,093 | 0,102 | 0,110 |
| ε, Дж/моль | 3779 | 1876 | 1332 | 927 |

T = 313 К

| | | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| V _{адс} , см ³ /г | 0,076 | 0,087 | 0,095 | 0,101 |
| ε, Дж/моль | 3031 | 2230 | 1713 | 1354 |

T = 330 К

| | | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| V _{адс} , см ³ /г | 0,060 | 0,091 | 0,103 | 0,113 |
| ε, Дж/моль | 4100 | 1866 | 1220 | 766 |

г) Построим характеристическую кривую.

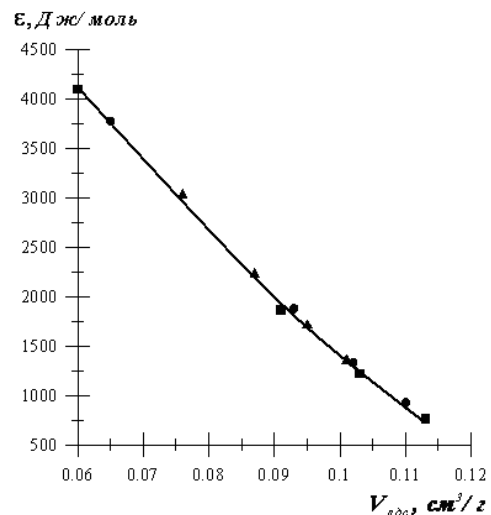


Рис. 5. Характеристическая кривая для силикагеля.

Из рис.5 видно, что все рассчитанные при разных температурах точки легли на одну кривую, следовательно, характеристическая кривая действительно не зависит от температуры, индивидуальна и характерна для каждого адсорбента.

3. Рассчитаем минимальный и максимальный радиус пор при $T = 303 \text{ K}$ по уравнению (4). Для расчета воспользуемся табличными данными зависимости поверхностного натяжения сернистого ангидрида от температуры (Приложение 1, таблица 2).

| $t, ^\circ \text{C}$ | 0 | 30 | 40 | 80 | 100 |
|---|-------|-------|-------|-------|------|
| $\sigma \cdot 10^3, \text{Дж}/\text{м}^2$ | 28,50 | 22,75 | 21,00 | 13,10 | 9,25 |

$$r_{\min} = \frac{2\sigma V_m}{\varepsilon_{\max}} = \frac{2 \cdot 22,75 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}/\text{м}^2 \cdot 43,78 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}}{3779 \text{ Дж}/\text{моль}} = 5,27 \cdot 10^{-10} \text{ м} \approx 0,53 \text{ нм}$$

$$r_{\max} = \frac{2\sigma V_m}{\varepsilon_{\min}} = \frac{2 \cdot 22,75 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}/\text{м}^2 \cdot 43,78 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}}{927 \text{ Дж}/\text{моль}} = 2,15 \cdot 10^{-9} \text{ м} \approx 2,2 \text{ нм}$$

**Пример выполнения задания с использованием для
расчета Microsoft Office Excel**

Задание:

При изучении адсорбции сернистого ангидрида SO_2 ($\rho_{SO_2(ж)} = 1,4619 \text{ г/см}^3$) на силикагеле при различных температурах были получены следующие экспериментальные данные:

T = 303 K

| | | | | | |
|------------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 78 | 166 | 206 | 242 |
| A , $\text{см}^3/\text{г}$ | 0 | 33,4 | 47,5 | 52,4 | 56,3 |

T = 313 K

| | | | | | |
|------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 147 | 200 | 244 | 280 |
| A , $\text{см}^3/\text{г}$ | 0 | 38,75 | 44,55 | 48,55 | 51,85 |

T = 330 K

| | | | | | |
|------------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 175 | 395 | 500 | 590 |
| A , $\text{см}^3/\text{г}$ | 0 | 30,5 | 46,5 | 52,8 | 57,8 |

1. Постройте изотерму адсорбции сернистого ангидрида на силикагеле при различных температурах, сделайте вывод о зависимости величины адсорбции от температуры.
2. Рассчитайте и постройте характеристическую кривую.
3. Определите минимальный и максимальный радиус пор силикагеля.

Решение:


1. Откройте Microsoft Office Excel. Введите в таблицы исходные данные, согласно своему варианту при трех разных температурах.

| Исходные данные | | | | | |
|-----------------|------------------------------|----------------|------------------------------|----------------|------------------------------|
| T=303K | | T=313K | | T=330K | |
| p , мм.рт.ст | A , $\text{см}^3/\text{г}$ | p , мм.рт.ст | A , $\text{см}^3/\text{г}$ | p , мм.рт.ст | A , $\text{см}^3/\text{г}$ |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 78 | 33,4 | 147 | 38,75 | 175 | 30,5 |
| 166 | 47,5 | 200 | 44,55 | 395 | 46,5 |
| 206 | 52,4 | 244 | 48,55 | 500 | 52,8 |
| 242 | 56,3 | 280 | 51,85 | 590 | 57,8 |

2. По экспериментальным данным построите изотермы адсорбции сернистого ангидрида на силикагеле при различных температурах. Для этого:

1. Выделите значения p и A при температуре $T=303\text{ K}$

| | |
|-----|------|
| 0 | 0 |
| 78 | 33,4 |
| 166 | 47,5 |
| 206 | 52,4 |
| 242 | 56,3 |

и нажмите пиктограмму . В открывшемся окне выберите тип «Точечная» и нажмите кнопку «Далее». В открывшемся окне перейдите на закладку «Ряд» и в строке «Значения X» введите диапазон ячеек, соответствующие значениям давлений при $T=303\text{ K}$, в строке «Значения Y» введите диапазон ячеек, соответствующие значениям адсорбции при $T=303\text{ K}$, в строке «Имя» введите $T=303\text{ K}$. Аналогично введите экспериментальные данные при других температурах, для этого: в поле «Ряд» нажмите «Добавить». В строке «Значения X» введите диапазон ячеек, соответствующие значениям давлений при $T=313\text{ K}$, в строке «Значения Y» введите диапазон ячеек, соответствующие значениям адсорбции при $T=313\text{ K}$, в строке «Имя» введите $T=313\text{ K}$. Продолжите аналогичные действия для $T=330\text{ K}$, нажмите кнопку «Далее». В появившемся окне в закладке «Заголовки» введите соответствующие параметры диаграммы:

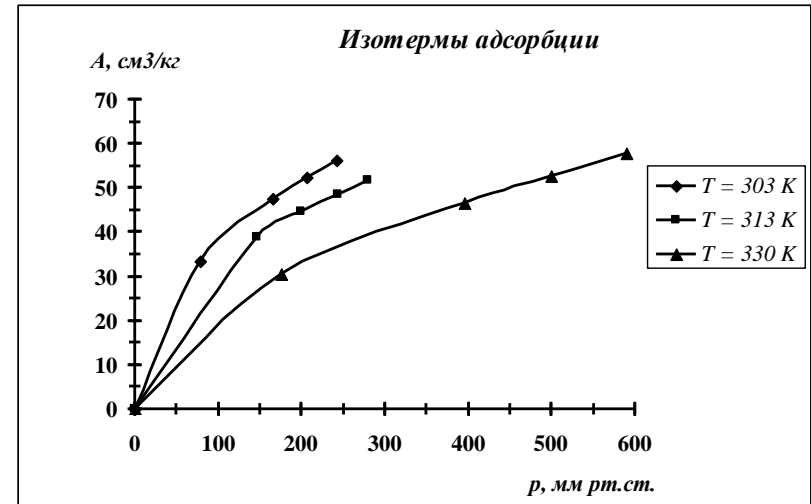
«Название диаграммы» – Изотермы адсорбции;

«Ось X (категорий)» – p , мм.рт.ст.;

«Ось Y (категорий)» – A , $\text{см}^3/\text{г}$; нажмите кнопки «Далее» и «Готово».

Поместите построенную диаграмму на имеющемся листе. Оформление диаграммы может быть совершенно произвольным. Вы можете добавить или убрать «Легенду», добавить или убрать «Линий сетки», добавить или убрать «Рамку», менять цвет и шрифт полей, маркеров, линий, подписей и т.д.

Например:



3. Для дальнейших расчетов введите в ячейки программы необходимые данные:

Давление насыщенного пара (p_s) сернистого ангидрида при различных температурах


| | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-----|
| T, К | 0 | 303 | 313 | 330 |
| p_s , мм рт.ст. | 116,2 | 349,6 | 471,2 | 780 |

| | |
|--|--------|
| Молярная масса SO_2 , г/моль | 64 |
| Плотность жидкого SO_2 , г/см ³ | 1,4619 |

б) Расчет количества моль SO_2 , адсорбированного 1 г силикагеля.

Пересчитаем величину адсорбции в размерность моль/г, для этого рассчитаем количество моль SO_2 , адсорбированного 1 г геля кремневой кислоты, например:

$$n = \frac{33,4 \text{ см}^3}{22,4 \cdot 10^3 \text{ см}^3 / \text{моль}} = 1,49 \cdot 10^{-3} \text{ моль} \cdot$$

Для каждой температуры введите исходные данные значений A , $\text{см}^3/\text{г}$, в следующем столбце пересчитайте эти значения на n , моль; для этого значение в столбце $A=33,4 \text{ см}^3/\text{г}$ разделите на 22400 (поставьте курсор в первое поле значений n , нажмите «=», выделите поле значения A и разделите на 22400, нажмите «Enter». Выделите рассчитанное значение 0,00149, переведите курсор в нижний правый угол выделенной ячейки (внизу появится черный крестик), зафиксируйте мышку нажатием левой кнопки и, не отпуская ее, «растяните» формулу вниз на другие ячейки n , моль, произойдет автоматический расчет n , моль. Аналогичные действия выполните для остальных значений A при других температурах. Полученные значения округлите, используя пиктограмму «Уменьшить разрядность» .

| Расчет количества моль SO_2 , адсорбированного 1 г силикагеля | | | | | |
|---|---------|---------------------------|---------|---------------------------|---------|
| T=303K | | T=313K | | T=330K | |
| A, $\text{см}^3/\text{г}$ | n, моль | A, $\text{см}^3/\text{г}$ | n, моль | A, $\text{см}^3/\text{г}$ | n, моль |
| 33,4 | 0,0015 | 38,75 | 0,0017 | 30,5 | 0,0014 |
| 47,5 | 0,0021 | 44,55 | 0,0020 | 46,5 | 0,0021 |
| 52,4 | 0,0023 | 48,55 | 0,0022 | 52,8 | 0,0024 |
| 56,3 | 0,0025 | 51,85 | 0,0023 | 57,8 | 0,0026 |

в) Расчет мольного объема сернистого ангидрида.

$$V_m = \frac{M}{\rho} = \frac{64 \text{ г/моль}}{1,4619 \text{ г/см}^3} = 43,78 \text{ см}^3 / \text{моль}$$

где 64 г/моль – молярная масса SO_2 ; 1,4619 г/см³ – плотность жидкого SO_2 .


Выделите ячейку для расчета мольного объема, нажмите «=», выделите ячейку со значением молярной массы, нажмите «/», выделите ячейку со значением плотности сернистого ангидрида, нажмите «Enter».

| Расчет мольного объема сернистого ангидрида, $\text{см}^3/\text{моль}$ |
|--|
| 43,78 |

г) Расчет адсорбционного объема.

Рассчитаем адсорбционный объем при T=303 К для A = 33,4 см³/г = 1,49·10⁻³ моль/г по уравнению (1):

$$V_{адс} = A \cdot V_m = 1,49 \cdot 10^{-3} \frac{\text{моль}}{\text{г}} \cdot 43,78 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}} = 0,065 \text{ см}^3/\text{г}$$

Для расчета адсорбционного объема необходимо каждое значение адсорбции (n, моль) умножить на значение мольного объема, для этого создайте столбец V_{адс}. В ячейке для расчета нажмите «=», выделите поле значения n, моль и умножьте на поле на значения мольного объема, нажмите «Enter». Аналогичные действия выполните для остальных значений n, моль при других температурах. Полученные значения округлите, используя пиктограмму «Уменьшить разрядность» .


| Расчет адсорбционного объема, см ³ /г | | | | | |
|--|---------------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|---------------------------------------|
| T=303K | | T=313K | | T=330K | |
| n, моль | V _{адс} , см ³ /г | n, моль | V _{адс} , см ³ /г | n, моль | V _{адс} , см ³ /г |
| 0,0015 | 0,065 | 0,0017 | 0,076 | 0,0014 | 0,060 |
| 0,0021 | 0,093 | 0,0020 | 0,087 | 0,0021 | 0,091 |
| 0,0023 | 0,102 | 0,0022 | 0,095 | 0,0024 | 0,103 |
| 0,0025 | 0,110 | 0,0023 | 0,101 | 0,0026 | 0,113 |

д) Расчет адсорбционного потенциала.

Рассчитаем адсорбционный потенциал при T = 303 К для p = 78 мм.рт.ст. по уравнению (2):

$$\varepsilon = RT \ln \frac{p_s}{p} = 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 303\text{К} \cdot \ln \frac{349,6 \text{ мм.рт.ст.}}{78 \text{ мм.рт.ст.}} = 3779 \text{ Дж/моль}$$

Для каждой температуры введите исходные значения давлений (p, мм рт.ст.) в следующем столбце проведите расчет адсорбционного потенциала, для этого:


В ячейке для расчета нажмите «=», введите 8,31*303*(ln выделите поле значения p_s при данной температуре, нажмите «/», выделите поле значений p, мм рт.ст.), нажмите «Enter». Аналогичные действия выполните для остальных значений ε при других температурах. Полученные значения округлите, используя пиктограмму «Уменьшить разрядность» .

| Расчет адсорбционного потенциала, Дж/моль | | | | | |
|---|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| T=303K | | T=313K | | T=330K | |
| p, мм.рт.ст. | ϵ | p, мм.рт.ст. | ϵ | p, мм.рт.ст. | ϵ |
| 78 | 3779 | 147 | 3031 | 175 | 4100 |
| 166 | 1876 | 200 | 2230 | 395 | 1867 |
| 206 | 1332 | 244 | 1713 | 500 | 1220 |
| 242 | 927 | 280 | 1354 | 590 | 766 |

е) Для построения характеристической кривой:

1. Выделите значения $V_{адс}$, см³/г при температуре T=303 K

| |
|-------|
| 0,065 |
| 0,093 |
| 0,102 |
| 0,110 |

и нажмите пиктограмму . В открывшемся окне выберите тип «Точечная» и нажмите кнопку «Далее». В открывшемся окне перейдите на закладку «Ряд» и в строке «Значения X» введите диапазон ячеек, соответствующие значениям $V_{адс}$, при T=303K, в строке «Значения Y» введите диапазон ячеек, соответствующие значениям ϵ при T=303K, в строке «Имя» введите T=303K. Аналогично введите экспериментальные данные при других температурах, для этого: в поле «Ряд» нажмите «Добавить». В строке «Значения X» введите диапазон ячеек, соответствующие значениям $V_{адс}$, при T=313K, в строке «Значения Y» введите диапазон ячеек, соответствующие значениям ϵ при T=313K, в строке «Имя» введите T=313K. Продолжите аналогичные действия для T=330K, нажмите кнопку «Далее». В появившемся окне в закладке «Заголовки» введите соответствующие параметры диаграммы:

«Название диаграммы» – Характеристическая кривая;

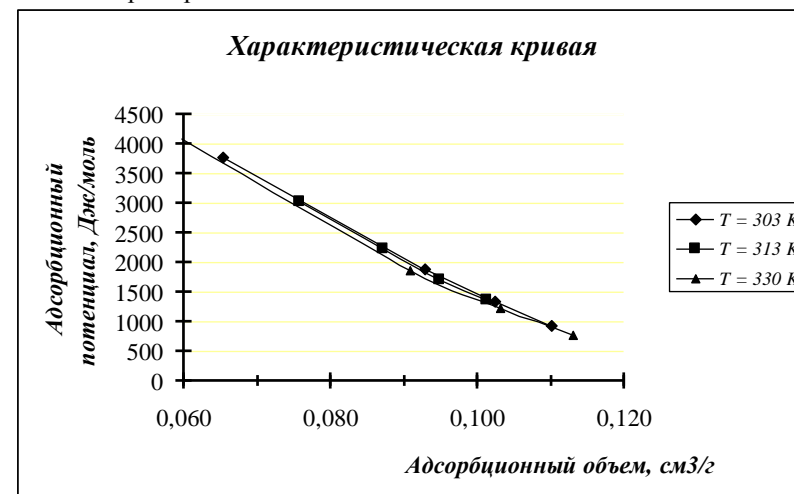
«Ось X (категорий)» – Адсорбционный объем, см³/г;

«Ось Y (категорий)» – Адсорбционный потенциал, Дж/моль, нажмите кнопки «Далее» и «Готово».

Поместите построенную диаграмму на имеющемся листе. Оформление диаграммы может быть совершенно произвольным. Вы можете добавить или убрать «Легенду», добавить или убрать «Линий

сетки», добавить или убрать «Рамку», менять цвет и шрифт полей, маркеров, линий, подписей и т.д.

Например:



Из рисунка видно, что все рассчитанные при разных температурах точки, практически, легли на одну кривую, следовательно, характеристическая кривая действительно не зависит от температуры, индивидуальна и характерна для каждого адсорбента.

3. Рассчитайте минимальный и максимальный радиус пор при $T = 303\text{ K}$ по уравнению (4):


$$r_{\min} = \frac{2\sigma V_m}{\varepsilon_{\max}} = \frac{2 \cdot 22,75 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2 \cdot 43,78 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 / \text{моль}}{3779 \text{ Дж/моль}} = 5,27 \cdot 10^{-10} \text{ м} \approx 0,53 \text{ нм}$$

$$r_{\max} = \frac{2\sigma V_m}{\varepsilon_{\min}} = \frac{2 \cdot 22,75 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2 \cdot 43,78 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 / \text{моль}}{927 \text{ Дж/моль}} = 2,15 \cdot 10^{-9} \text{ м} \approx 2,2 \text{ нм}$$


Для расчета введите в программу табличные данные зависимости поверхностного натяжения сернистого ангидрида от температуры (таблица 2, приложение 1):

| | | | | | |
|-------------------------------|------|-------|-----|------|------|
| T, K | 273 | 303 | 313 | 353 | 373 |
| $\sigma \cdot 10^3$, Дж/моль | 28,5 | 22,75 | 21 | 13,1 | 9,25 |

Поставьте курсор в ячейку для расчета минимального радиуса пор, нажмите «=», введите (2*выделите ячейку со значением поверхностного натяжения при T=303K, нажмите *0,001, выделите ячейку со значением мольного объема, нажмите *0,000001)/, выделите ячейку с максимальным значением адсорбционного потенциала при T=303K, нажмите «Enter».

Поставьте курсор в ячейку для расчета максимального радиуса пор, нажмите «=», введите (2*выделите ячейку со значением поверхностного натяжения при T=303K, нажмите *0,001, выделите ячейку со значением мольного объема, нажмите *0,000001)/, выделите ячейку с минимальным значением адсорбционного потенциала при T=303K, нажмите «Enter». Полученные значения округлите, используя пиктограмму «Уменьшить разрядность» .

Аналогичные действия выполните при других температурах.

Сохраните файл, нажав на пиктограмму . Назовите свой файл, используя «Сохранить как».

Расчетная часть

Цель работы:

1. Теоретически изучить процесс адсорбции на пористых сорбентах, используя потенциальную теорию Поляни.
2. Построить изотерму адсорбции сернистого ангидрида на силикагеле при различных температурах, рассчитать и построить характеристическую кривую, определить минимальный и максимальный радиус пор адсорбента.

Используемое оборудование:

1. Калькулятор, карандаш, линейка, миллиметровая бумага.
2. Компьютер с программным обеспечением Microsoft Office Excel.

Задания для самостоятельного выполнения

При изучении адсорбции сернистого ангидрида SO_2 ($\rho_{SO_2(ж)} = 1,4619 \text{ г/см}^3$) на силикагеле при различных температурах были получены следующие экспериментальные данные. Используя данные таблиц для каждого из вариантов:

1. Постройте изотерму адсорбции сернистого ангидрида на силикагеле при различных температурах, сделайте вывод о зависимости величины адсорбции от температуры.
2. Рассчитайте и постройте характеристическую кривую.
3. Определите минимальный и максимальный радиус пор силикагеля.

Вариант 1

T = 303 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 80 | 126 | 172 | 220 |
| A , см ³ /г | 0 | 33,8 | 42,0 | 48,3 | 53,9 |

T = 313 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|-----|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 110 | 158 | 206 | 258 |
| A , см ³ /г | 0 | 33,6 | 40, | 45,1 | 49,7 |

T = 330 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 180 | 295 | 410 | 535 |
| A , см ³ /г | 0 | 30,9 | 39,9 | 47,5 | 54,8 |

Вариант 2

T = 303 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 100 | 146 | 192 | 246 |
| A , см ³ /г | 0 | 37,7 | 44,9 | 50,6 | 56,7 |

T = 313 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 130 | 178 | 226 | 286 |
| A , см ³ /г | 0 | 36,5 | 42,2 | 47,1 | 52,4 |

T = 330 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 230 | 345 | 460 | 600 |
| A , см ³ /г | 0 | 34,9 | 43,3 | 50,4 | 58,3 |

Вариант 3

T = 303 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 82 | 128 | 174 | 222 |
| A , см ³ /г | 0 | 34,2 | 42,3 | 48,5 | 54,1 |

T = 313 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 112 | 160 | 208 | 260 |
| A , см ³ /г | 0 | 33,9 | 40,2 | 45,3 | 49,9 |

T = 330 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 185 | 300 | 415 | 540 |
| A , см ³ /г | 0 | 31,3 | 40,2 | 47,9 | 55,1 |

Вариант 4

T = 303 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 102 | 148 | 196 | 248 |
| A , см ³ /г | 0 | 38,0 | 45,2 | 51,2 | 56,9 |

T = 313 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 132 | 180 | 234 | 288 |
| A , см ³ /г | 0 | 36,8 | 42,4 | 47,7 | 52,6 |

T = 330 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 235 | 350 | 475 | 605 |
| A , см ³ /г | 0 | 34,9 | 43,6 | 51,3 | 58,6 |

Вариант 5

T = 303 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 84 | 130 | 176 | 224 |
| A , см ³ /г | 0 | 34,6 | 42,6 | 48,8 | 54,3 |

T = 313 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 114 | 162 | 210 | 262 |
| A , см ³ /г | 0 | 34,2 | 40,3 | 45,5 | 50,1 |

T = 330 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 190 | 305 | 420 | 545 |
| A , см ³ /г | 0 | 31,7 | 40,6 | 48,1 | 55,3 |

Вариант 6

T = 303 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 104 | 118 | 156 | 198 |
| A , см ³ /г | 0 | 38,3 | 40,7 | 46,3 | 51,4 |

T = 313 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 134 | 150 | 190 | 236 |
| A , см ³ /г | 0 | 37,0 | 38,9 | 43,5 | 47,9 |

T = 330 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 240 | 275 | 370 | 480 |
| A , см ³ /г | 0 | 35,7 | 38,5 | 45,0 | 51,7 |

Вариант 7

T = 303 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 86 | 132 | 178 | 226 |
| A , см ³ /г | 0 | 35,0 | 42,9 | 49,1 | 54,5 |

T = 313 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 116 | 164 | 212 | 264 |
| A , см ³ /г | 0 | 34,5 | 40,6 | 45,7 | 50,3 |

T = 330 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 195 | 310 | 425 | 550 |
| A , см ³ /г | 0 | 32,1 | 41,0 | 48,5 | 55,6 |

Вариант 8

T = 303 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 106 | 120 | 158 | 200 |
| A , см ³ /г | 0 | 38,7 | 41,0 | 46,6 | 51,7 |

T = 313 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 136 | 152 | 192 | 238 |
| A , см ³ /г | 0 | 37,3 | 39,2 | 43,7 | 48,1 |

T = 330 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 245 | 280 | 375 | 485 |
| A , см ³ /г | 0 | 36,1 | 38,8 | 45,3 | 52,0 |

Вариант 9

T = 303 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 88 | 134 | 180 | 228 |
| A , см ³ /г | 0 | 35,4 | 43,2 | 49,4 | 54,7 |

T = 313 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 118 | 166 | 214 | 266 |
| A , см ³ /г | 0 | 34,8 | 40,8 | 45,9 | 50,5 |

T = 330 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 200 | 315 | 430 | 555 |
| A , см ³ /г | 0 | 32,5 | 41,3 | 48,8 | 55,9 |

Вариант 10

T = 303 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 108 | 122 | 150 | 216 |
| A , см ³ /г | 0 | 39,1 | 41,8 | 45,5 | 53,4 |

T = 313 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 138 | 154 | 182 | 254 |
| A , см ³ /г | 0 | 37,5 | 39,5 | 42,6 | 49,4 |

T = 330 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 250 | 285 | 355 | 525 |
| A , см ³ /г | 0 | 36,5 | 39,2 | 43,9 | 54,3 |

Вариант 11

T = 303 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 90 | 136 | 182 | 230 |
| A , см ³ /г | 0 | 35,8 | 43,5 | 49,6 | 54,9 |

T = 313 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 120 | 168 | 216 | 268 |
| A , см ³ /г | 0 | 35,1 | 41,1 | 46,1 | 50,8 |

T = 330 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 205 | 320 | 435 | 560 |
| A , см ³ /г | 0 | 32,9 | 41,7 | 49,1 | 56,2 |

Вариант 12

T = 303 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 110 | 124 | 152 | 214 |
| A , см ³ /г | 0 | 39,4 | 41,6 | 45,7 | 53,2 |

T = 313 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 140 | 156 | 184 | 252 |
| A , см ³ /г | 0 | 37,7 | 39,7 | 42,9 | 49,3 |

T = 330 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 255 | 290 | 360 | 520 |
| A , см ³ /г | 0 | 36,9 | 39,5 | 44,2 | 54,1 |

Вариант 13

T = 303 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 92 | 138 | 184 | 232 |
| A , см ³ /г | 0 | 36,2 | 43,8 | 49,8 | 55,1 |

T = 313 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 122 | 170 | 218 | 270 |
| A , см ³ /г | 0 | 35,4 | 41,3 | 46,3 | 50,9 |

T = 330 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 210 | 325 | 440 | 565 |
| A , см ³ /г | 0 | 33,3 | 42,0 | 49,3 | 56,5 |

Вариант 14

T = 303 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 112 | 154 | 160 | 212 |
| A , см ³ /г | 0 | 39,7 | 46,0 | 46,8 | 53,0 |

T = 313 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 142 | 186 | 250 | 292 |
| A , см ³ /г | 0 | 38,0 | 43,1 | 49,2 | 53,0 |

T = 330 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 260 | 365 | 515 | 610 |
| A , см ³ /г | 0 | 37,3 | 44,6 | 53,8 | 58,8 |

Вариант 15

T = 303 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 94 | 140 | 186 | 234 |
| A , см ³ /г | 0 | 36,6 | 44,1 | 50,0 | 55,4 |

T = 313 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 124 | 172 | 220 | 272 |
| A , см ³ /г | 0 | 35,7 | 41,6 | 46,4 | 51,1 |

T = 330 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 215 | 330 | 445 | 570 |
| A , см ³ /г | 0 | 33,7 | 42,3 | 49,6 | 56,8 |

Вариант 16

T = 303 К

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 114 | 162 | 202 | 238 |
| A , см ³ /г | 0 | 40,0 | 47,0 | 51,9 | 55,8 |

T = 313 К

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 144 | 188 | 240 | 276 |
| A , см ³ /г | 0 | 38,3 | 43,3 | 48,3 | 51,5 |

T = 330 К

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 265 | 385 | 490 | 580 |
| A , см ³ /г | 0 | 37,6 | 45,9 | 52,3 | 57,3 |

Вариант 17

T = 303 К

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 96 | 142 | 188 | 236 |
| A , см ³ /г | 0 | 36,9 | 44,3 | 50,2 | 55,6 |

T = 313 К

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 126 | 174 | 222 | 274 |
| A , см ³ /г | 0 | 35,9 | 41,8 | 46,7 | 51,3 |

T = 330 К

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 220 | 335 | 450 | 575 |
| A , см ³ /г | 0 | 34,1 | 42,7 | 49,9 | 57,1 |

Вариант 18

T = 303 К

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 116 | 164 | 204 | 240 |
| A , см ³ /г | 0 | 40,0 | 47,3 | 52,1 | 56,1 |

T = 313 К

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 146 | 498 | 242 | 278 |
| A , см ³ /г | 0 | 38,5 | 44,3 | 48,4 | 51,7 |

T = 330 К

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 270 | 390 | 495 | 585 |
| A , см ³ /г | 0 | 38,0 | 46,2 | 52,5 | 57,6 |

Вариант 19

T = 303 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 98 | 144 | 190 | 244 |
| A , см ³ /г | 0 | 37,3 | 44,6 | 50,4 | 56,5 |

T = 313 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 128 | 176 | 224 | 284 |
| A , см ³ /г | 0 | 36,2 | 42,0 | 46,8 | 52,2 |

T = 330 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 225 | 340 | 455 | 595 |
| A , см ³ /г | 0 | 34,5 | 43,0 | 50,1 | 58,1 |

Вариант 20

T = 303 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 78 | 166 | 206 | 242 |
| A , см ³ /г | 0 | 33,4 | 47,5 | 52,4 | 56,3 |

T = 313 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|-------|-------|-------|-------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 147 | 200 | 244 | 280 |
| A , см ³ /г | 0 | 38,75 | 44,55 | 48,55 | 51,85 |

T = 330 K

| | | | | | |
|--------------------------|---|------|------|------|------|
| p , мм.рт.ст. | 0 | 175 | 395 | 500 | 590 |
| A , см ³ /г | 0 | 30,5 | 46,5 | 52,8 | 57,8 |

Приложение 1

Таблица 1

Давление насыщенного пара (p_s) сернистого ангидрида
при различных температурах

| | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| T , K | 0 | 303 | 313 | 330 |
| p_s , мм.рт.ст. | 116,2 | 349,6 | 471,2 | 780,0 |

Таблица 2

Зависимость поверхностного натяжения сернистого ангидрида
от температуры

| | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|------|
| t , °C | 0 | 30 | 40 | 80 | 100 |
| $\sigma \cdot 10^3$, Дж/м ² | 28,50 | 22,75 | 21,00 | 13,10 | 9,25 |

Учебное издание

ПОРИСТЫЕ АДСОРБЕНТЫ. ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЯНИ

Методические указания к выполнению расчетной лабораторной работы по дисциплинам «Поверхностные явления и дисперсные системы» и «Коллоидная химия» для студентов ИПР

Составитель

МИХЕЕВА Елена Валентиновна

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати . . . 2011. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.
Заказ . Тираж 100 экз.


Национальный исследовательский Томский политехни-
ческий университет

Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического универси-
тета сертифицирована

NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS
EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru