

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

**Методические указания
к выполнению контрольной работы и расчетно-графической работы**

По дисциплине: Б1.Б.24 **Физическая и коллоидная химия**
для направления подготовки (специальности): **15.03.02 Технологические
машины и оборудование**

Профиль (специализация): **Инжиниринг технологического оборудования**

Квалификация выпускника, уровень подготовки: **бакалавр**

Кафедра-разработчик: **кафедра химии**

**Мурманск
2021**

Составитель - Коновалова Ирина Никандровна, профессор, канд.техн.наук., профессор кафедры химии.

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании кафедры химии.

ОГЛАВЛЕНИЕ

- I. Общие организационно-методические указания
- II. Темы контрольной работы и расчетно-графической работы
- III. Список рекомендуемой литературы
- IV. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы и расчетно-графической работы

I. ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО - МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Целью дисциплины «Физическая и коллоидная химия» является формирование компетенций в соответствии с квалификационной характеристикой бакалавра и учебным планом для направления подготовки **15.03.02 Технологические машины и оборудование**

Задачи: дать необходимые теоретические знания, практические умения и навыки по основам физической и коллоидной химии, позволяющие успешно использовать их в профессиональной деятельности.

В результате изучения дисциплины бакалавр должен:

Знать: физико- и коллоидно-химические основы протекания процессов в дисперсных системах

Уметь: использовать физико-химические и коллоидно-химические свойства дисперсных систем при решении профессиональных задач; использовать основные приемы обработки экспериментальных данных;

Владеть: навыками постановки эксперимента и обработки экспериментальных результатов; навыками выполнения химических лабораторных операций.

II. ТЕМЫ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ И РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Расчетно-графическая работа (дневная форма обучения):
работа «Адсорбция газообразных и растворенных веществ на твердой поверхности»

Контрольная работа (заочная форма обучения):
«Поверхностное натяжение. Адсорбция»

III СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Фролов, Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы : учебник для вузов / Ю. Г. Фролов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Химия, 1989. - 464 с.: ил. - ISBN 5-7245-0244-5(библиотека МГТУ: абонемент-89, читальный зал-1)
2. Хмельницкий, Р.А. Физическая и коллоидная химия : учебник для вузов / Р. А. Хмельницкий. - Москва : Высш. шк., 1988. - 400 с. : ил. - ISBN 5-06-001257-3 : 43-20. (библиотека МГТУ: абонемент-26, читальный зал-1)
3. Коллоидная химия : учебник для бакалавров / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. - 6-е изд. - Москва : Юрайт, 2012. - 443, [1] с. : ил. - (Бакалавр). - Библиогр.: с. 433. - ISBN 978-5-9916-1619-5 : 315-48.(библиотека МГТУ: абонемент-29, читальный зал-1)
4. Стромберг, А.Г. Физическая химия : учебник для вузов / А. Г. Стромберг, Д. П. Семченко; под ред. А. Г. Стромберга. - 5-е изд., испр. - Москва : Высш. шк., 2003. - 527 с. : ил. - ISBN 5-06-003627-8 :176-40. (библиотека МГТУ: абонемент-30, читальный зал-1)

Дополнительная литература

1. Сборник расчетно-графических заданий и задач по коллоидной химии [Электронный ресурс] : учеб. пособие по дисциплинам "Коллоидная химия" для специальностей 020101.65 "Химия", 020201.65 "Биология", 020803.65 "Биоэкология" и "Физическая и коллоидная химия" для специальности 270112.65 "Водоснабжение и водоотведение" / Н. Г. Воронько; Федер. агентство по рыболовству, Мурман. гос. техн. ун-т. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 1.3 Мб). - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2009. - Доступ из локальной сети Мурман. гос. техн. ун-та. - Загл. с экрана. - Имеется печ. аналог 2009 г.
2. Коновалова, И. Н. Поверхностные явления, дисперсные системы в пищевой технологии : учеб. пособие для вузов / И. Н. Коновалова; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации ; Федер. агентство по рыболовству, Мурман. гос. техн. ун-т. - [2-е изд., перераб.]. - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2006. - 97 с. : ил. - Имеется электрон. аналог 2006 г. - Библиогр.: с. 95-97. - ISBN 5-86185-270-7 : 224-92 . (библиотека МГТУ: абонемент-47, читальный зал-2)
3. Коновалова, И. Н. Практикум по физической и коллоидной химии (задачи и расчетно-графические задания по физической и коллоидной химии) : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 271200 "Технология продуктов общественного питания" направления подгот. дипломир. специалиста 655700 "Технология продовольственных продуктов специального назначения и общественного питания и по специальностям 170000 "Машины и аппараты пищевых производств", 271300 "Пищевая инженерия малых предприятий" направления подгот. дипломир. специалиста 655800 "Пищевая инженерия" / И. Н. Коновалова, Г. И. Берестова; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации ; Федер. агентство по

- рыболовству, Мурман. гос. техн. ун-т. - Мурманск : МГТУ, 2005. - 111 с.
(библиотека МГТУ: абонемент-109, читальный зал-2)
4. Физическая и коллоидная химия [Электронный ресурс] : метод. указания для самостоят. работы студентов специальностей 271000 "Технология рыбы и рыбных продуктов", 271200 "Технология продуктов общественного питания". Ч. 2. Коллоидная химия / Гос. ком. Рос. Федерации по рыболовству, Мурман. гос. техн. ун-т, Каф. химии ; сост. И. Н. Коновалова. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 385 Кб). - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2003. - Доступ из локальной сети Мурман. гос. техн. ун-та. - Загл. с экрана.
 5. Практикум и задачник по коллоидной химии : поверхностные явления и дисперсные системы : учеб. пособие для вузов / [В. В. Назаров и др.] ; под ред. В. В. Назарова, А. С. Гродского. - Москва : Академкнига, 2007. - 372 с. : ил. - Авт. указаны на обороте тит. л. - Библиогр.: с. 369. - ISBN 978-5-94628-267-3 : 345-97. (библиотека МГТУ: абонемент-29, читальный зал-1)
 6. Путинцев, Н.М. Практикум по физической химии [Электронный ресурс] : учеб. пособие по "Физической химии" для специальностей 020101 "Химия", 020201 "Биология", 020803 "Биоэкология", 280202 "Инженерная защита окружающей среды" и "Физической и коллоидной химии" для специальностей 260302 "Технология рыбы и рыбных продуктов", 260501 "Технология продуктов общественного питания" / Н. М. Путинцев, Н. Г. Воронько; Федер. агентство по рыболовству, Мурман. гос. техн. ун-т. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 1.6 Мб). - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2008. - Доступ из локальной сети Мурман. гос. техн. ун-та. - Загл. с экрана. - Имеется печ. аналог 2008 г.
 7. Путинцев, Н.М. Сборник расчетно-графических заданий по физической химии : учеб. пособие / Н. М. Путинцев, Н. Г. Воронько; М-во сел. хоз-ва РФ ; Федер. агентство по рыболовству ; Мурман. гос. техн. ун-т. - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2006. - 170 с. - Библиогр.: с. 156-158. (библиотека МГТУ: абонемент-192, читальный зал-2)

IV. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ И КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задания для контрольной работы и расчетно-графической работы представляют собой тексты заданий в виде отдельных вариантов (типовые варианты приведены ниже).

Контрольная и расчетно-графическая работа, выполняемая обучающимися, должны быть представлена в рукописном виде на отдельных листах бумаги или в тонких тетрадах, графики построены на миллиметровой бумаге или выполнены на компьютере.

При решении заданий рекомендуется использовать учебные пособия, в которых приведены примеры решения заданий по предлагаемым темам:

-Путинцев, Н.М. Практикум по физической химии [Электронный ресурс] : учеб. пособие по "Физической химии" для специальностей 020101 "Химия", 020201 "Биология", 020803 "Биоэкология", 280202 "Инженерная защита окружающей среды" и "Физической и коллоидной химии" для специальностей 260302 "Технология рыбы и рыбных продуктов", 260501 "Технология продуктов общественного питания" / Н. М. Путинцев, Н. Г. Воронько; Федер. агентство по рыболовству, Мурман. гос. техн. ун-т. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 1.6 Мб). - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2008. - Доступ из локальной сети Мурман. гос. техн. ун-та. - Загл. с экрана. - Имеется печ. аналог 2008 г.

-Путинцев, Н.М. Сборник расчетно-графических заданий по физической химии : учеб. пособие / Н. М. Путинцев, Н. Г. Воронько; М-во сел. хоз-ва РФ ; Федер. агентство по рыболовству ; Мурман. гос. техн. ун-т. - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2006. - 170 с. - Библиогр.: с. 156-158. (библиотека МГТУ: абонемент-192, читальный зал-2)

- Практикум и задачник по коллоидной химии : поверхностные явления и дисперсные системы : учеб. пособие для вузов / [В. В. Назаров и др.] ; под ред. В. В. Назарова, А. С. Гродского. - Москва : Академкнига, 2007. - 372 с. : ил. - Авт. указаны на обороте тит. л. - Библиогр.: с. 369. - ISBN 978-5-94628-267-3 : 345-97. (библиотека МГТУ: абонемент-29, читальный зал-1)

- Коновалова, И. Н. Практикум по физической и коллоидной химии (задачи и расчетно-графические задания по физической и коллоидной химии) : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 271200 "Технология продуктов общественного питания" направления подгот. дипломир. специалиста 655700 "Технология продовольственных продуктов специального назначения и общественного питания и по специальностям 170000 "Машины и аппараты пищевых производств", 271300 "Пищевая инженерия малых предприятий" направления подгот. дипломир. специалиста 655800 "Пищевая инженерия" / И. Н. Коновалова, Г. И. Берестова; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации ; Федер. агентство по рыболовству, Мурман. гос. техн. ун-т. - Мурманск : МГТУ, 2005. - 111 с.

- Сборник расчетно-графических заданий и задач по коллоидной химии [Электронный ресурс] : учеб. пособие по дисциплинам "Коллоидная химия" для специальностей 020101.65 "Химия", 020201.65 "Биология", 020803.65 "Биоэкология" и "Физическая и коллоидная химия" для специальности 270112.65 "Водоснабжение и водоотведение" / Н. Г. Воронько; Федер. агентство по рыболовству, Мурман. гос. техн. ун-т. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 1.3 Мб). - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2009. - Доступ из локальной сети Мурман. гос. техн. ун-та. - Загл. с экрана. - Имеется печ. аналог 2009 г.

Примеры решения заданий

Расчетно-графическая работа (дневная форма обучения): Адсорбция газообразных и растворенных веществ на твердой поверхности

Пример 1. По данным адсорбции CO_2 на активированном угле при температуре 18°C найдите константы уравнения Ленгмюра:

Адсорбция, кмоль/кг· 10^3	70	91	102	107,3	108
Давление, Н/м· 10^{-3}	6,65	13,3	26,6	39,9	53,2

Решение. Значения констант A_∞ и B определяем графически. Для этого воспользуемся уравнением Ленгмюра в линейной форме:

$$1/A = 1/A_\infty + 1/A_\infty B p$$

Далее находим значения $1/A$ и $1/p$:

$(1/A) \cdot 10^{-3}$	14,3	11,0	9,8	9,4	9,3
$(1/p) \cdot 10^3$	0,15	0,075	0,0375	0,025	0,018

Строим график зависимости $1/A = f(1/p)$, представляющий собой прямую, которая не проходит через начало координат и отсекает на оси ординат отрезок, равный $1/A_\infty$.

В нашем случае

$$A_\infty = 1/8 = 0,125 \text{ кмоль/кг} = 125 \cdot 10^{-3} \text{ кмоль/кг.}$$

Тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс $\text{tg} \alpha = 1/A_\infty B$. По графику находим $\text{tg} \alpha = 43,3 \cdot 10^3$.

Подставив полученные значения в уравнение Ленгмюра, найдем константу B :

$$1/(0,125B) = 43,3 \cdot 10^3$$

$$B = 1/(0,125 \cdot 43,3 \cdot 10^3) = 1/85 \cdot 10^{-4}.$$

Пример 2. Определите удельную активную поверхность S (в $\text{м}^2/\text{г}$) коллоидного никеля по данным адсорбции на нем стеариновой кислоты из раствора в бензоле при комнатной температуре:

Равновесная концентрация стеариновой кислоты; $C \cdot 10^3$ моль/л	0,2	2	3,8	5	6	8	10	14
Адсорбция, $A \cdot 10^5$ моль/г	2	3,6	4	4,3	4,3	4,2	4,4	4,3

Площадь, занимаемая одной молекулой стеариновой кислоты в насыщенном адсорбционном слое S_0 составляет $20,5 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2/\text{моль}$

Решение. Для определения S воспользуемся уравнением:

$$S = A_\infty N_A S_0$$

где A_∞ — предельная адсорбция стеариновой кислоты на данном адсорбенте, моль/г; S_0 — площадь, занимаемая одной молекулой стеариновой кислоты в насыщенном адсорбционном слое, $\text{м}^2/\text{моль}$; N_A — число Авогадро, равное $6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

Для определения A_∞ воспользуемся уравнением Ленгмюра в линейной форме:

$$\frac{C}{A} = \frac{C}{A_\infty} + \frac{1}{A_\infty B}$$

Построим график зависимости $C/A = f(C)$ и определим A_∞ как котангенс угла наклона прямой к оси абсцисс ($\text{ctg}\alpha$).

Находим значения C/A :

Равновесная концентрация стеариновой кислоты; $C \cdot 10^3$ моль/л	0,2	2	3,8	5	6	8	10	14
$C/A \cdot 10^{-2}$ г/л	0,1	0,55	0,95	1,16	1,3	1,9	2,2	3,2

По графику зависимости $C/A = f(C)$ $\text{ctg}\alpha$. $\text{ctg}\alpha = 4,8 \cdot 10^{-5}$; $A_\infty = 4,8 \cdot 10^{-5}$ моль/г. Тогда $S = 4,8 \cdot 10^{-5} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 20,5 \cdot 10^{-16} = 5,92 \cdot 10^4$ см²/г = 5,92 м²/г.

Пример 3. Определите константы уравнения изотермы адсорбции Ленгмюра для растворов гексилового и гептилового спиртов. Выполняется ли правило Дюкло - Траубе в этом случае? Зависимости адсорбции этих соединений от концентрации приведены в таблице:

Гексиловый спирт		Гептиловый спирт	
$C \cdot 10^3$, кмоль/м ³	$A \cdot 10^{10}$, кмоль/м ²	$C \cdot 10^3$, кмоль/м ³	$A \cdot 10^{10}$, кмоль/м ²
0,935	8,75	0,384	11,1
1,875	17,35	0,5	14,5
3,1	25,1	0,655	18,2
5,55	37,8	1,25	27,8
11,05	56,5	2,6	49,2

Решение. В координатах $1/A - 1/C$ изотерма адсорбции Ленгмюра представляет собой прямую, уравнение которой можно представить в виде:
Отрезок OA , отсекаемый прямой на оси ординат, равен $1/A_\infty$, а угловой коэффициент (т.е.

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_\infty} + \frac{1}{A_\infty B} \frac{1}{C}$$

тангенс угла наклона к оси абсцисс), равен $1/(A_\infty B)$.

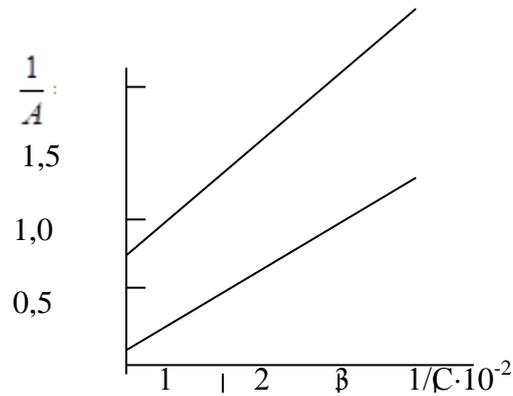
Построив график в координатах $1/A - 1/C$, найдем угловые коэффициенты соответствующих прямых: они равны $0,9 \cdot 10^7$ и $0,3 \cdot 10^7$ соответственно:

$$\begin{aligned} \text{tg}\alpha(\text{гексиловый спирт}) &= 0,9 \cdot 10^7 \\ \text{tg}\alpha(\text{гептиловый спирт}) &= 0,3 \cdot 10^7 \end{aligned}$$

Далее для определения максимальной адсорбции A_∞ решаем систему уравнений

$$\left\{ \begin{aligned} OA &= 1/A_\infty \\ \text{tg}\alpha &= 1/(A_\infty B) \end{aligned} \right.$$

Отсюда находят коэффициенты в уравнении Ленгмюра. Для гексилового спирта - $A_\infty = 1 \cdot 10^{-8}$; $B = 1,1 \cdot 10^{-7}$. Для гептилового спирта - $A_\infty = 1 \cdot 10^{-8}$; $B = 3,3 \cdot 10^{-7}$.



Графическое определение констант в уравнении Ленгмюра.

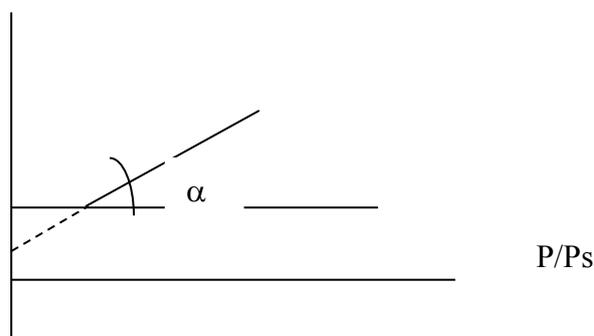
Константа "В" при переходе от гексилового спирта к гептиловому увеличивается в 3 раза. Следовательно, правило Дюкло - Траубе выполняется.

Пример 4. По уравнению БЭТ рассчитайте удельную поверхность адсорбента по изотерме адсорбции бензола на твердой поверхности ($S_0 = 49 \cdot 10^{-20}$ м), используя следующие данные:

P/P_s	0,024	0,08	0,14	0,2	0,266	0,35	0,46
$A \cdot 10^8$, кмоль/кг	0,0149	0,0348	0,0472	0,0568	0,0668	0,0798	0,108
$\frac{(P/P_s) \cdot 10^3}{A(1-P/P_s)}$	0,65	2,5	3,45	4,39	5,45	6,78	8,5

Решение. По приведенным данным строим график зависимости $\frac{(P/P_s) \cdot 10^3}{A(1-P/P_s)} = f(P/P_s)$

$$\frac{(P/P_s) \cdot 10^3}{A(1-P/P_s)}$$



Изотерма адсорбции в координатах линейной формы уравнения БЭТ

По графику находим отрезок ОА и тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс ($\text{tg} \alpha$):

$$OA = 1/(A_\infty K) = 1,25 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{tg} \alpha = (K-1)/(A_\infty K) = 15,9 \cdot 10^{-3}$$

Далее решаем систему уравнений

$$\begin{cases} 1/A_\infty K = 1,25 \cdot 10^{-3}, \\ (K-1)/A_\infty K = 15,9 \cdot 10^{-3} \end{cases}$$

и находим $K=13,65$ и $A_\infty = 4,89 \cdot 10^{-3}$ кмоль/кг.

Удельную поверхность рассчитываем по формуле:

$$S_{уд.} = A_\infty S_0 N_A = 4,89 \cdot 10^{-5} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 49 \cdot 10^{-20} = 14,4 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{кг}.$$

Пример 5. По данным адсорбции стеариновой кислоты из раствора в бензоле при комнатной температуре определите удельную активную поверхность S (в $\text{м}^2/\text{г}$) коллоидного никеля:

Равновесная концентрация стеариновой кислоты; $C \cdot 10^3$ моль/л	0,2	2	3,8	5	6	8	10	14
Адсорбция, $A \cdot 10^5$ моль/г	2	3,6	4	4,3	4,3	4,2	4,4	4,3

Площадь, занимаемая одной молекулой стеариновой кислоты в насыщенном адсорбционном слое S_0 составляет $20,5 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2/\text{моль}$

Решение. Для определения S воспользуемся уравнением:

$$S = A_{\infty} N_A S_0$$

где A_{∞} — предельная адсорбция стеариновой кислоты на данном адсорбенте, моль/г; S_0 — площадь, занимаемая одной молекулой стеариновой кислоты в насыщенном адсорбционном слое, $\text{м}^2/\text{моль}$; N_A — число Авогадро, равное $6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

Для определения A_{∞} воспользуемся уравнением Ленгмюра в линейной форме:

$$\frac{C}{A} = \frac{C}{A_{\infty}} + \frac{1}{A_{\infty} B}$$

Построим график зависимости $C/A = f(C)$ и определим A_{∞} как котангенс угла наклона прямой к оси абсцисс ($\text{ctg} \alpha$).

Находим значения C/A :

Равновесная концентрация стеариновой кислоты; $C \cdot 10^3$ моль/л	0,2	2	3,8	5	6	8	10	14
$C/A \cdot 10^{-2}$ г/л	0,1	0,55	0,95	1,16	1,3	1,9	2,2	3,2

По графику зависимости $C/A = f(C) \text{ ctg} \alpha$. $\text{ctg} \alpha = 4,8 \cdot 10^{-5}$; $A_{\infty} = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ моль/г}$. Тогда $S = 4,8 \cdot 10^{-5} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 20,5 \cdot 10^{-16} = 5,92 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{г} = 5,92 \text{ м}^2/\text{г}$.

Контрольная работа (заочная форма обучения): Поверхностное натяжение. Адсорбция

Пример 1. Вертикальная капиллярная трубки с внутренним радиусом $r = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ погружена в воду на глубину $h = 3 \text{ см}$. С помощью метода максимального давления пузырька воздуха определите, при каком давлении будет происходить отрыв пузырька от кончика капилляра, если поверхностное натяжение воды $\sigma (\text{H}_2\text{O}) = 72 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$; плотность воды $\rho (\text{H}_2\text{O}) = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Решение. Пузырек воздуха оторвется, когда давление, создаваемое в сосуде, с которым соединен капилляр, станет равно сумме гидростатического столба жидкости, высота которого равна глубине погружения капилляра ($h = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$), и капиллярного давления, действующего на поверхность пузырька:

$$P = h\rho g + 2\sigma/r,$$

где h — глубина погружения капилляра, м; ρ — плотность жидкости, кг/м^3 ; g — ускорение свободного падения, равное $9,8 \text{ м/с}^2$; σ — поверхностное натяжение жидкости на границе с

пузырьком, Н/м; r - радиус капилляра, равный в момент отрыва пузырька радиусу кривизны его поверхности; м.

$$P = 3 \cdot 10^{-2} \cdot 10^3 \cdot 9,8 + \frac{2 \cdot 72 \cdot 10^{-3}}{1,5 \cdot 10^{-4}} = 1254 \text{ Н/м}^2$$

Пример 2. При опускании капилляра в воду ее уровень поднялся на $2,25 \cdot 10^{-2}$ м. Вычислите поверхностное натяжение воды с помощью метода поднятия жидкости в капилляре, если масса столбика ртути, втянутой в капилляр на высоту $7,3 \cdot 10^{-2}$ м, составляет $1,395 \cdot 10^3$ кг. Плотность ртути $13,56 \cdot 10^3$ кг/м³. Плотность воды $\rho(\text{H}_2\text{O}) = 1 \cdot 10^3$ кг/м³.

Решение. Определяем радиус капилляра. Поскольку капилляр имеет цилиндрическую форму, $V = \pi r^2 h_{\text{Hg}}$. С другой стороны, $V = m_{\text{Hg}} / \rho_{\text{Hg}}$. Следовательно, $m_{\text{Hg}} / \rho_{\text{Hg}} = \pi r^2 h_{\text{Hg}}$.

Отсюда

Поверхностное натяжение воды находим из уравнения:

$$r = \sqrt{\frac{m_{\text{Hg}}}{\rho_{\text{Hg}} \pi h_{\text{Hg}}}} = \sqrt{\frac{1,395 \cdot 10^{-3}}{13,56 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 7,3 \cdot 10^{-2}}} = 6,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$\sigma = \frac{h r g \rho}{2} = \frac{2,25 \cdot 10^{-2} \cdot 6,7 \cdot 10^{-4} \cdot 9,81 \cdot 10^3}{2} = 73,9 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$$

Пример 3. Константы уравнения Шишковского для водного раствора пропионовой кислоты при 0 °С равны: $A = 12,5 \cdot 10^{-3}$; $B = 7,73$. Определите, при какой концентрации кислоты поверхностное натяжение раствора σ будет равно $73 \cdot 10^{-3}$ Н/м. Поверхностное натяжение воды $\sigma(\text{H}_2\text{O}) = 72,49 \cdot 10^{-3}$ Н/м.

Решение. Запишем уравнение Шишковского

$$\Delta\sigma = A \cdot 2,3 \cdot \lg(1 + BC)$$

После логарифмирования получим

$$\lg(1 + BC) = \Delta\sigma / 2,3A;$$

$$\lg(1 + BC) = \frac{(75,49 - 73) \cdot 10^{-3}}{12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 2,3} = 0,08715$$

$$1 + BC = 1,222$$

$$\text{Отсюда } C = (1,222 - 1) / B = 0,222 / 7,73 = 0,229 \text{ кмоль/м}^3$$

Пример 4. По данным адсорбции CO_2 на активированном угле при температуре 18° С найдите константы уравнения Ленгмюра:

Адсорбция, кмоль/кг · 10 ³	70	91	102	107,3	108
Давление, Н/м · 10 ⁻³	6,65	13,3	26,6	39,9	53,2

Решение. Значения констант A_∞ и B определяем графически. Для этого воспользуемся уравнением Ленгмюра в линейной форме:

$$1/A = 1/A_\infty + 1/A_\infty B p$$

Далее находим значения $1/A$ и $1/p$:

$(1/A) \cdot 10^{-3}$	14,3	11,0	9,8	9,4	9,3
$(1/p) \cdot 10^3$	0,15	0,075	0,0375	0,025	0,018

Строим график зависимости $1/A=f(1/p)$, представляющий собой прямую, которая не проходит через начало координат и отсекает на оси ординат отрезок, равный $1/A_\infty$.

В нашем случае

$$A_\infty = 1/8 = 0,125 \text{ кмоль/кг} = 125 \cdot 10^{-3} \text{ кмоль/кг.}$$

Тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс $\text{tg}\alpha = 1/A_\infty B$. По графику находим $\text{tg}\alpha = 43,3 \cdot 10^3$.

Подставив полученные значения в уравнение Ленгмюра, найдем константу В:

$$\begin{aligned} 1/(0,125B) &= 43,3 \cdot 10^3 \\ B &= 1/(0,125 \cdot 43,3 \cdot 10^3) = 1/85 \cdot 10^{-4}. \end{aligned}$$

Пример 5. Определите удельную активную поверхность S (в $\text{м}^2/\text{г}$) коллоидного никеля по данным адсорбции на нем стеариновой кислоты из раствора в бензоле при комнатной температуре:

Равновесная концентрация стеариновой кислоты; $C \cdot 10^3$ моль/л	0,2	2	3,8	5	6	8	10	14
Адсорбция, $A \cdot 10^5$ моль/г	2	3,6	4	4,3	4,3	4,2	4,4	4,3

Площадь, занимаемая одной молекулой стеариновой кислоты в насыщенном адсорбционном слое S_0 составляет $20,5 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2/\text{молекула}$

Решение. Для определения S воспользуемся уравнением:

$$S = A_\infty N_A S_0$$

где A_∞ — предельная адсорбция стеариновой кислоты на данном адсорбенте, моль/г; S_0 — площадь, занимаемая одной молекулой стеариновой кислоты в насыщенном адсорбционном слое, $\text{м}^2/\text{молекула}$; N_A — число Авогадро, равное $6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

Для определения A_∞ воспользуемся уравнением Ленгмюра в линейной форме:

$$\frac{C}{A} = \frac{C}{A_\infty} + \frac{1}{A_\infty B}$$

Построим график зависимости $C/A = f(C)$ и определим A_∞ как котангенс угла наклона прямой к оси абсцисс ($\text{ctg}\alpha$).

Находим значения C/A :

Равновесная концентрация стеариновой кислоты; $C \cdot 10^3$ моль/л	0,2	2	3,8	5	6	8	10	14
$C/A \cdot 10^{-2}$ г/л	0,1	0,55	0,95	1,16	1,3	1,9	2,2	3,2

По графику зависимости $C/A = f(C)$ $\text{ctg}\alpha = 4,8 \cdot 10^{-5}$; $A_\infty = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ моль/г}$. Тогда $S = 4,8 \cdot 10^{-5} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 20,5 \cdot 10^{-16} = 5,92 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{г} = 5,92 \text{ м}^2/\text{г}$.

Типовые варианты РГР/контрольной работы

Расчетно-графическая работа:

«Адсорбция газообразных и растворенных веществ на твердой поверхности»

Вариант

1. Определите постоянные уравнения Фрейндлиха, используя следующие данные для адсорбции углекислого газа на кокосовой скорлупе при 231 К:

$P, \text{Па} \cdot 10^{-3}$	1,000	4,480	10,000	14,40	25,0	45,2
$A \cdot 10^{-2}, \text{кг/кг}^*$	3,23	6,67	9,62	11,72	14,50	17,7

2. Используя экспериментальные данные, полученные при изучении адсорбции азота на древесном угле, определите константы в уравнении Ленгмюра графическим способом

$P \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}$	1,61	8,55	7,4	12,06
$A, \text{кг/кг}$	0,150	0,163	0,191	0,199

Вариант

1. При адсорбции CO_2 на активированном угле были получены следующие данные:

$P \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}^2$	9,9	49,7	99,8	200
$\Gamma \cdot 10^{-3} \text{ кг/кг}$	32,0	70,0	91,0	102

Графически определите константы в уравнении Ленгмюра, пользуясь которыми рассчитайте и постройте изотерму адсорбции.

2. По приведенным данным пользуясь уравнением БЭТ рассчитать $S_{\text{уд.}}$ адсорбента, если $S_0=49 \cdot 10^{-20}$.

P/P_s	0,02	0,05	0,11	0,19	0,25	0,3	0,36
$A \cdot 10^{-5}, \text{кмоль/кг}$	1,04	1,96	2,98	3,87	4,43	4,88	5,5

Вариант

1. По приведенным ниже опытным данным, полученным при определении адсорбции NO_2 на древесном угле, графически определите постоянные уравнения Ленгмюра. По ним рассчитайте и постройте кривую адсорбции.

$P \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$	1,9	5,88	12,06	16,82
$\Gamma, \text{кг/кг}$	0,160	0,189	0,199	0,2

2. Определите константы в уравнении Фрейндлиха, используя данные об адсорбции диоксида углерода на активированном угле при 293 К:

$P \cdot 10^{-3}, \text{Па}$	1,00	4,48	10,00	14,4	25,0	45,2
$A \cdot 10^3 \text{ кг/кг}$	3,23	6,67	9,02	11,72	14,50	17,70

Вариант

1. По приведенным данным пользуясь уравнением БЭТ рассчитать $S_{\text{уд.}}$ адсорбента, если $S_0=49 \cdot 10^{-20}$.

P/P_s	0,03	0,07	0,12	0,17	0,24	0,31	0,38
$A \cdot 10^{-5} \text{ кмоль/кг}$	1,196	3,04	3,73	4,23	4,88	5,51	6,25

2. По приведенным ниже данным об адсорбции паров воды макропористым

силикагелем при комнатной температуре, пользуясь уравнением Ленгмюра, определите предельную емкость силикагеля:

$P \cdot 10^{-2}$, Па	3,04	4,68	7,72	11,69	14,03	17,77
$A \cdot 10^{-5}$ моль/кг	4,44	6,28	9,22	11,67	13,22	14,89

Контрольная работа: «Поверхностное натяжение. Адсорбция»

Вариант

1. При исследовании поверхностной активности растворов уксусной кислоты при 20°C были получены следующие данные:

Концентрация кислоты C , кмоль/м ³	0,001	0,01	0,1	0,5	1,0
Поверхностное натяжение $\sigma \cdot 10^3$, Н/м	73,26	70,02	66,88	61,66	57,28

Найдите адсорбцию и площадь, занимаемую одной молекулой уксусной кислоты в адсорбционном слое, при различных концентрациях.

2. Определите постоянные уравнения Фрейндлиха, используя следующие данные для адсорбции углекислого газа на кокосовой скорлупе при 231 К:

P , Па $\cdot 10^{-3}$	1,000	4,480	10,000	14,40	25,0	45,2
$A \cdot 10^{-2}$, кг/кг*	3,23	6,67	9,62	11,72	14,50	17,7

3. Используя экспериментальные данные, полученные при изучении адсорбции азота на древесном угле, определите константы в уравнении Ленгмюра графическим способом

$P \cdot 10^{-5}$ Н/м	1,61	8,55	7,4	12,06
A , кг/кг	0,150	0,163	0,191	0,199

Вариант

1. При температуре 263 К зависимость поверхностного натяжения от концентрации водного раствора пропилового спирта выражается уравнением Шишковского $\sigma = \sigma_0 - 14,4 \cdot 10^3 \ln(1+6,6C)$. Определите адсорбцию пропилового спирта на поверхности раздела водный раствор – воздух при концентрации 0,25 кмоль/м³.

2. При адсорбции CO₂ на активированном угле были получены следующие данные:

$P \cdot 10^{-2}$ Н/м ²	9,9	49,7	99,8	200
$\Gamma \cdot 10^{-3}$ кг/кг	32,0	70,0	91,0	102

Графически определите константы в уравнении Ленгмюра, пользуясь которыми рассчитайте и постройте изотерму адсорбции.

2. По приведенным данным пользуясь уравнением БЭТ рассчитать $S_{уд.}$ адсорбента, если $S_0 = 49 \cdot 10^{-20}$.

P/P_s	0,02	0,05	0,11	0,19	0,25	0,3	0,36
$A \cdot 10^{-5}$, кмоль/кг	1,04	1,96	2,98	3,87	4,43	4,88	5,5

Вариант

1. По константам уравнения Шишковского $A = 12,8 \cdot 10^{-3}$ и $B = 7,16$ вычислите поверхностную активность пропионовой кислоты при 293 К и концентрации 0,55 кмоль/м³.

2. По приведенным ниже опытным данным, полученным при определении адсорбции NO_2 на древесном угле, графически определите постоянные уравнения Ленгмюра. По ним рассчитайте и постройте кривую адсорбции.

$P \cdot 10^{-5}$ н/м ²	1,9	5,88	12,06	16,82
Γ , кг/кг	0,160	0,189	0,199	0,2

2. Определите константы в уравнении Фрейндлиха, используя данные об адсорбции диоксида углерода на активированном угле при 293 К:

$P \cdot 10^{-3}$, Па	1,00	4,48	10,00	14,4	25,0	45,2
$A \cdot 10^3$ кг/кг	3,23	6,67	9,02	11,72	14,50	17,70

Вариант

1. Зависимость поверхностного натяжения водных растворов амилового спирта $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$ от концентрации при 25°C приведена в таблице:

C , кмоль/м ³	0	0,0019	0,0038	0,0075	0,015	0,03	0,06	0,12
σ , мН/м	72,0	70,4	69,2	66,7	61,7	55,3	46,6	38,0

Определите графическим методом адсорбцию амилового спирта из раствора концентрацией 0,03 кмоль/м³.

2. По приведенным данным пользуясь уравнением БЭТ рассчитать $S_{\text{уд}}$ адсорбента, если $S_0=49 \cdot 10^{-20}$.

P/P_s	0,03	0,07	0,12	0,17	0,24	0,31	0,38
$A \cdot 10^{-5}$ кмоль/кг	1,196	3,04	3,73	4,23	4,88	5,51	6,25

3. По приведенным ниже данным об адсорбции паров воды макропористым силикагелем при комнатной температуре, пользуясь уравнением Ленгмюра, определите предельную емкость силикагеля:

$P \cdot 10^{-2}$, Па	3,04	4,68	7,72	11,69	14,03	17,77
$A \cdot 10^{-5}$ моль/кг	4,44	6,28	9,22	11,67	13,22	14,89