

Министерство здравоохранения Республики Беларусь
Учреждение образования
«Гомельский государственный медицинский университет»

Кафедра общей и биоорганической химии

Авторы:

А.К. Довнар, старший преподаватель кафедры;
Ж.Н. Громыко, старший преподаватель кафедры;
М.В. Одинцова, старший преподаватель кафедры.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

для проведения лабораторного занятия
по учебной дисциплине «Медицинская химия»
для студентов

I курса медико-диагностического факультета,
обучающихся по специальности 7-07-0911-02 «Медико-профилактическое дело»

Тема 14: Физико-химия поверхностных явлений

Время: 3 часа

Утверждено на заседании кафедры
общей и биоорганической химии
(протокол от 31.08.2024 № 9)

УЧЕБНАЯ И ВОСПИТАТЕЛЬНАЯ ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ, МОТИВАЦИЯ ДЛЯ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

Учебная цель:

– формирование у студентов базовой профессиональной компетенции для решения диагностических, научно-исследовательских и иных задач профессиональной деятельности на основе знаний о поверхностных процессах, протекающих на границе раздела двух фаз, особенно об адсорбционных процессах и их биологическом значении;

– ознакомление студентов-медиков с основами адсорбционной терапии (гемо-, лимфо-, плазмсорбции и энтеросорбции), а также с применением поверхностно-активных веществ в современной медицине.

Воспитательная цель:

– развить свой целостно-личностный, духовный потенциал;

– сформировать качества патриота и гражданина, готового к активному участию в экономической, производственной, социально-культурной и общественной жизни страны;

– научиться соблюдать учебную и трудовую дисциплину, нормы медицинской этики и деонтологии;

– осознать социальную значимость своей будущей профессиональной деятельности.

Задачи:

В результате проведения учебного занятия студент должен

знать:

– понятие о свободной поверхностной энергии и поверхностном натяжении, а также о факторах, влияющих на них;

– понятие об адсорбции и ее видах;

– теоретические основы адсорбции ПАВ на границе жидкость–газ и математическое описание данного процесса уравнениями Гиббса, Шишковского и Гиббса-Шишковского;

– природные и синтетические материалы, используемые в качестве твердых адсорбентов;

– теоретические основы адсорбции электролитов на твердых адсорбентах, описываемые правилами Панета-Фаянса;

– теоретические основы ионообменной адсорбции и применение ионитов в медицине и технике;

– применение сорбентов в медицине;

– понятие о гемо-, лимфо-, плазмо- и энтеросорбции как методах лечения некоторых заболеваний;

уметь:

– объяснить причину появления избыточной энергии молекул на границе раздела двух фаз по сравнению с молекулами в глубине фазы;

– объяснить особенности строения молекул ПАВ и их ориентацию на границе жидкость-газ, а также влияние длины углеводородного радикала на поверхностную активность;

- выполнять расчеты по уравнениям Гиббса, Шишковского, Гиббса-Шишковского, описывающие адсорбцию ПАВ на границе жидкость–газ;
- описывать избирательную адсорбцию электролитов из растворов в соответствии с правилами Панета-Фаянса;
- описывать ионообменную адсорбцию, приводить схемы ионообменных процессов для катионов и анионов;

владеть:

- навыками экспериментального определения поверхностного натяжения жидкостей сталагмометрическим методом.

Мотивация для усвоения темы:

Поверхностные явления и адсорбция имеют большое значение в медицине и биологии. Важнейшие биологические процессы: ферментативные реакции, синтез белка и др., протекают на поверхности раздела фаз. Поверхностно активные вещества (ПАВ), понижающие поверхностное натяжение жидкостей, играют важную роль в физиологических процессах. Например, соли желчных кислот, обладающие высокой поверхностной активностью, обеспечивают эмульгирование жиров и их всасывание. Адсорбция токсичных веществ на гемо- и энтеросорбентах лежит в основе адсорбционной терапии. Иммуносорбенты находят широкое применение при лечении микробных интоксикаций, газовой гангрены и столбняка.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОСНАЩЕНИЕ

1. Методические рекомендации для студентов по теме «Физико-химия поверхностных явлений».
2. Учебные таблицы:
 - а) периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева;
 - б) таблица растворимости кислот, оснований и солей.
3. Справочные материалы по основным физико-химическим величинам.
4. Химические реактивы и оборудование, необходимые для проведения лабораторной работы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ТЕМЕ ЗАНЯТИЯ

1. Понятие о поверхностной энергии и поверхностном натяжении жидкости.
2. Понятие об адсорбции. Адсорбция ПАВ на границе газ-жидкость.
3. Адсорбция на твердых адсорбентах.

ХОД ЗАНЯТИЯ

Теоретическая часть

1. ПОНЯТИЕ О ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ И ПОВЕРХНОСТНОМ НАТЯЖЕНИИ ЖИДКОСТИ

Молекулы жидкости, находящиеся в поверхностном слое, обладают избыточной потенциальной энергией по сравнению с молекулами, находящимися внутри жидкости. Эта дополнительная потенциальная энергия, которой обладают молекулы поверхностного слоя, называется **поверхностной энергией**:

$$G_S = \sigma \cdot S,$$

где σ – поверхностное натяжение (коэффициент поверхностного натяжения) (Дж/м² или Н/м);

S – площадь поверхности (м²).

Чем больше площадь поверхности жидкости, тем больше молекул, которые обладают избыточной потенциальной энергией, и тем больше поверхностная энергия.

Поверхностная энергия, отнесенная к единице (1 м²) межфазной поверхности, называется **поверхностным натяжением**:

$$\sigma = \frac{G_s}{S}, \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Поверхностное натяжение жидкости характеризует стремление жидкости уменьшить избыток своей потенциальной энергии (поверхностную энергию) на границе раздела с газообразной фазой. Поверхностное натяжение жидкости часто определяют как силу, действующую на единицу длины контура поверхности раздела фаз и стремящуюся сократить эту поверхность до минимума. Из-за поверхностного натяжения жидкость всегда принимает форму, соответствующую минимальной поверхности, в частности капля имеет сферическую форму.

Поверхностное натяжение зависит от природы жидкости, от температуры и от наличия растворенных в жидкости веществ. Так, повышение температуры жидкости, добавление в неё поверхностно-активных веществ вызывает уменьшение поверхностного натяжения.

2. ПОНЯТИЕ ОБ АДСОРБЦИИ. АДСОРБЦИЯ ПАВ НА ГРАНИЦЕ ГАЗ-ЖИДКОСТЬ.

Увеличение концентрации вещества в поверхностном слое по сравнению с концентрацией его внутри раствора, называется **адсорбцией**.

Вещества, понижающие поверхностное натяжение, накапливаются в поверхностном слое. Это **поверхностно-активные вещества (ПАВ)**. К ним относятся органические соединения, в состав молекул которых одновременно входит полярная группа (–ОН, –СООН, –NH₂) и неполярная углеводородная цепь, т.е. дифильные молекулы.

Поверхностный избыток Γ (моль/см² или кмоль/м²) есть избыток растворенного вещества, содержащегося в 1 см² или 1 м² поверхностного слоя по сравнению с количеством вещества в слое такой же площади внутри объема. Зависимость между Γ и концентрацией раствора C была установлена Гиббсом:

$$\Gamma = -\frac{C}{RT} \cdot \frac{\Delta\sigma}{\Delta C}$$

где R – газовая постоянная;

T – абсолютная температура.

По предложению П. А. Ребиндера, величина $\Delta\sigma/\Delta C$ была названа **поверхностной активностью**, так как она характеризует способность вещества понижать поверхностное натяжение.

Траубе установил, что в любом гомологическом ряду удлинение углеродной цепи гомолога на группу –СН₂– увеличивает его поверхностную активность в 3-3,5

раза (**правило Дюкло – Траубе**). Это значит, что способность вещества понижать поверхностное натяжение жидкости увеличивается.

При истечении жидкости из капилляра сила поверхностного натяжения заставляет жидкость собираться у края отверстия в каплю, которая отрывается в тот момент, когда масса капли ничтожно превышает поверхностное натяжение. Чем больше поверхностное натяжение, тем тяжелее и соответственно крупнее будет капля. Таким образом, поверхностное натяжение пропорционально плотности и обратно пропорционально количеству капель, вытекающих из одного и того же объема. Поверхностное натяжение определяется по формуле:

$$\sigma = \sigma(H_2O) \cdot \frac{n(H_2O)}{n}$$

где σ – поверхностное натяжение исследуемой жидкости;

$\sigma(H_2O)$ – поверхностное натяжение воды;

n и $n(H_2O)$ – число капель исследуемой жидкости и воды соответственно.

Поэтому для определения поверхностного натяжения достаточно подсчитать количество капель исследуемой жидкости и воды, вытекающей из одного и того же объема. Для определения поверхностного натяжения пользуются сталагмометром Траубе. Жидкость засасывают немного выше верхней кольцевой метки, затем дают ей свободно вытекать, подсчитывая количество капель, образующихся при вытекании отмеченного на сталагмометре объема (от верхней метки до нижней) и по выше приведенной формуле определяют поверхностное натяжение.

3. АДСОРБЦИЯ НА ТВЕРДЫХ АДСОРБЕНТАХ

Твердые адсорбенты – природные или синтетические вещества с развитой внутренней или наружной поверхностью, на которой происходит адсорбция из жидкой или газообразной фазы.

Развитая внутренняя поверхность имеется у пористых веществ, наружная – у веществ в порошкообразном состоянии.

Важнейшая характеристика твердых адсорбентов – **активная (удельная) поверхность (S_a)**, выражаемая в m^2/kg или m^2/g .

Например, $S_a(\text{актив. уголь}) = 1 \cdot 10^3 m^2/g$; $S_a(\text{силикагель}) = 465 m^2/g$.

$$S_a = \frac{S}{m}, m^2/g;$$

где S – площадь поверхности адсорбента, m^2 ;

m – масса адсорбента, г.

Классификация твердых адсорбентов:

- 1) углеродные сорбенты (активированный уголь);
- 2) алюмосиликаты – алюминиевые соли поликремневых кислот; например, каолин (белая глина) $Al_2O_3 \times SiO_2 \times 2H_2O$;
- 3) цеолиты – алюмосиликаты с высоким содержанием натрия и кальция;
- 4) силикагель – обезвоженный гель поликремневой кислоты $(SiO_2)_n$;
- 5) оксиды и гидроксиды некоторых металлов: Al_2O_3 , $Al(OH)_3$, Fe_2O_3 , $Fe(OH)_3$;
- 6) пищевые волокна – целлюлоза, пектин и лигнин, являющиеся важным компонентом питания человека.

Основные функции пищевых волокон:

- 1) активируют перистальтику кишечника;
- 2) адсорбируют и выводят из организма токсичные вещества;
- 3) способствуют росту бактерий, синтезирующих витамины группы В, которые, в свою очередь, предупреждают размножение болезнетворных микроорганизмов, а также образование токсинов и канцерогенов;
- 4) связывают тяжелые металлы и радионуклиды в прочные хелатные комплексы, которые легко выводятся из организма;
- 5) способствуют поддержанию чувства сытости, снижению аппетита, что помогает лучше контролировать вес.

Согласно нормам, установленным ВОЗ, ежедневно в человеческий организм должно поступать не менее 25 г пищевых волокон. В лечебных целях суточная норма может быть увеличена до 40-50 г. Однако, в обычном рационе современного человека присутствует максимум 12-15 г клетчатки в день, что не покрывает и половины нормы!

Виды адсорбции на твердых адсорбентах:

1. Молекулярная адсорбция.
2. Адсорбция электролитов из их растворов:
 - 2.1 избирательная;
 - 2.2 ионообменная.

Адсорбционная терапия – клинический способ очистки организма от токсинов и других вредных веществ.

В медицине твердые сорбенты применяются для проведения:

- а) гемо-, лимфо- и плазмосорбции;
- б) энтеросорбции.

Гемо-, лимфо- и плазмосорбция – методы очистки биологических жидкостей человека от токсинов путем пропускания их через колонки с активированным углем и другими сорбентами (применяется с 60-х годов 20 в.)

Энтеросорбция – метод лечения, основанный на связывании и выведении из ЖКТ токсичных веществ и аллергенов.

Энтеросорбенты – лечебные препараты различной природы, связывающие токсины в ЖКТ путем адсорбции, ионного обмена и комплексообразования.

Практическая часть

Инструктаж по правилам техники безопасности перед проведением лабораторной работы.

Лабораторная работа

Определение зависимости поверхностного натяжения растворов одноатомных спиртов от длины их гидрофобных радикалов

Одним из основных методов определения поверхностного натяжения жидкостей является сталагмометрический метод. Сталагмометр – это капиллярная трубка с расширением по середине высоты, заканчивающаяся толстостенным капилляром, благодаря которому жидкость вытекает из нее не струей, а по каплям. Сталагмометрический метод основан на измерении числа капель, образующихся при

вытекании жидкости из вертикальной трубки. На рисунке 1 показана схема простейшего сталагмометра.

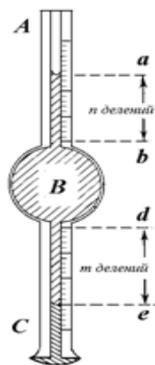


Рисунок 1 – Схема простейшего сталагмометра

Определение поверхностного натяжения этим методом заключается в сравнении числа капель при истечении из сталагмометра исследуемой жидкости и жидкости с известным поверхностным натяжением (например, воды). Поверхностное натяжение воды при 20 °С составляет $72,75 \times 10^{-3}$ Н/м.

Чем больше поверхностное натяжение жидкости, тем больше объем вытекающей капли. Таким образом, число капель обратно пропорционально поверхностному натяжению жидкости:

$$\sigma_x = \sigma_0 \cdot \frac{n_0}{n_x}$$

где n_x и n_0 – число капель исследуемой жидкости и воды, истекающих из объема сталагмометра, ограниченного метками A и C;

σ_x и σ_0 – поверхностное натяжение указанных жидкостей, соответственно.

Выполнение опыта: промойте сталагмометр водой, затем заполните сталагмометр водой и посчитайте число капель, вытекающих из объема сталагмометра, ограниченного верхней и нижней метками. Выдуйте оставшиеся капли воды из сталагмометра при помощи резиновой груши и заполните его раствором этилового спирта. Посчитайте число вытекающих капель раствора C_2H_5OH и, используя выше приведенную формулу, рассчитайте поверхностное натяжение данного раствора. Повторите опыт, последовательно заполняя сталагмометр растворами пропилового (C_3H_7OH), бутилового (C_4H_9OH) и амилового ($C_5H_{11}OH$) спиртов. Полученные результаты занесите в таблицу 1.

Таблица 1 – Влияние длины гидрофобных радикалов одноатомных спиртов на поверхностное натяжение их растворов

№	ПАВ	C, моль/л	Число капель, n	$\sigma \cdot 10^{-3}$, Н/м
1	Вода			72,75
2	C_2H_5OH	0,1		
3	C_3H_7OH	0,1		
4	C_4H_9OH	0,1		
5	$C_5H_{11}OH$	0,1		

Используя данные таблицы 1, постройте график зависимости поверхностного натяжения растворов спиртов от числа углеродных атомов в их молекулах (рисунок 2).

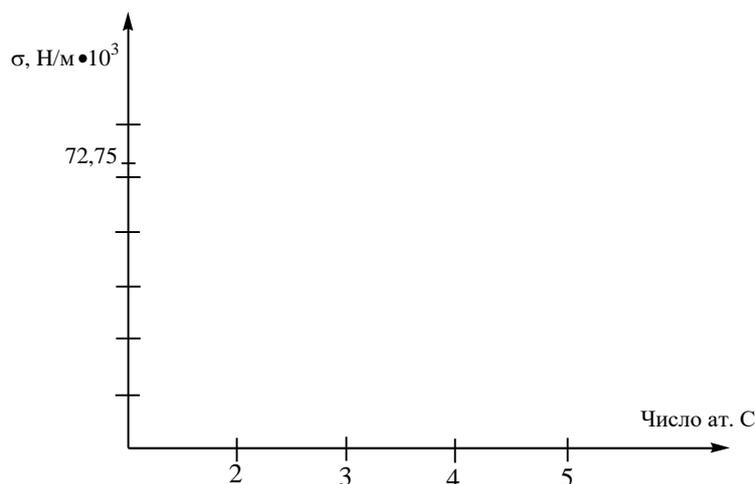


Рисунок 2 – Влияние длины гидрофобных радикалов спиртов на поверхностное натяжение их растворов

Сделайте вывод о влиянии длины гидрофобных радикалов спиртов на поверхностное натяжение их растворов.

Контроль усвоения темы

Проводится в форме устного опроса студентов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА (СРС)

Время, отведенное на самостоятельную работу, может использоваться студентами на:

- подготовку к лабораторным занятиям;
- конспектирование учебной литературы;
- выполнение заданий для самоконтроля знаний;
- подготовку тематических докладов, рефератов, презентаций.

Основные методы организации самостоятельной работы:

- изучение тем и проблем, не освещаемых на учебных занятиях;
- написание реферата и оформление презентации;
- выполнение заданий для самоконтроля знаний.

Перечень заданий СРС:

1. Активная площадь поверхности активированного древесного угля достигает 1000 м^2 на 1 г угля. Рассчитайте массу фосгена, которая должна поглотиться $0,10 \text{ м}^2$ площади поверхности угля, если 1 г угля адсорбирует $0,440 \text{ л}$ фосгена.

Ответ: $0,19 \cdot 10^{-4} \text{ г}$

2. Теплота адсорбции аммиака на мелко раздробленной меди равна $29,3 \text{ кДж/моль}$. Какой объем аммиака поглотится медью, если при этом выделилось $158,6 \text{ кДж}$ теплоты?

Ответ: $120,96 \text{ дм}^3$

3. Поверхностное натяжение (σ) водного раствора масляной кислоты при 20 °С подчиняется эмпирическому уравнению Шишковского:

$$\sigma = \sigma_0 - 29,8 \cdot 10^{-3} \ln (1 + 19,64 \cdot C),$$

где σ_0 – поверхностное натяжение чистой воды, равное $72,75 \cdot 10^{-3}$ Н/м.

Рассчитайте поверхностное натяжение раствора с молярной концентрацией 0,01 М. Вычислите адсорбцию масляной кислоты из раствора с указанной концентрацией.

Ответ: $2 \cdot 10^{-6}$ Н/м

Контроль СРС осуществляется в виде:

- оценки устного ответа на вопрос, сообщения, доклада или презентации;
- индивидуальной беседы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Болтromeюк, В. В. Общая химия : пособие для студентов учреждений высш. образования, обучающихся по специальностям 1-79 01 01 "Лечеб. дело", 1-79 01 02 "Педиатрия", 1-79 01 04 "Мед.-диагност. дело", 1-79 01 05 "Мед.-психол. дело", 1-79 01 06 "Сестр. дело" / В. В. Болтromeюк ; УО "ГрГМУ", Каф. общей и биоорганической химии. - Гродно : ГрГМУ, 2020. - 574 с. : ил., фот., табл. - Рек. УМО по высш. мед., фармацевт. образованию.

2. Ткачев, С. В. Общая химия : учеб. пособие для студентов учреждений высш. образования по специальностям "Лечеб. дело", "Педиатрия", "Стоматология", "Мед.-профилакт. дело" / С.В. Ткачев, В.В. Хрусталеv. - Минск : Вышэйшая школа, 2020. - 494, [1] с. : ил., табл. - Допущено М-вом образования Респ. Беларусь.

3. Калибабчук, В.А. Медицинская химия: учебник / В.А. Калибабчук, Л.И. Грищенко, В.И. Галинская и др.; под ред. В.А. Калибабчук. – 3-е изд., испр. – К.: ВСИ «Медицина», 2017. – С. 217-249, 311-314.

4. Ершов, Ю.А. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов. В 2 кн. Книга 2: учебник для вузов /Ю.А. Ершов, В.А. Попков, А.С. Берлянд; под ред. Ю.А. Ершова. – М.: Юрайт, 2018. – Серия: Бакалавр. Академический курс. – С. 225-252.