



Учреждение образования  
«Белорусская государственная  
орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени  
сельскохозяйственная академия»



**Кафедра биологии растений и химии**

# **ХИМИЯ**

**Теоретический раздел  
Лекция  
Коллоидные растворы  
Коллоидные системы: их получение и очистка.  
Строение.**



## КОЛЛОИДНЫЕ РАСТВОРЫ

### 1. Признаки объектов коллоидной химии и количественные характеристики дисперсных систем

Дисциплина, к изучению которой мы приступаем, до настоящего времени не получила общепринятого наименования, но при этом имеет точную дату своего возникновения – 1861 г.

Исторически первым было название «коллоидная химия». Это было связано с тем, что в 1861 г. английский химик Томас Грэм (1805–1869), один из основателей и первый президент Лондонского химического общества, опубликовал работу, в которой сделал попытку классификации веществ по способности их растворов кристаллизоваться и диффундировать через полупроницаемые мембраны. Все вещества были им разделены на два класса: кристаллоиды (быстро диффундируют и способны к кристаллизации) и коллоиды (не диффундируют и не кристаллизуются). Согласно представлениям Грэма, коллоиды, в отличие от кристаллоидов, не дают истинных растворов, имеют повышенную вязкость и неустойчивы во времени. К ним он отнес такие природные вещества, как оксиды алюминия, железа, цинка, белки, танин, декстрины, крахмал, агар-агар, казеин и т. д. Большинство из приведенных веществ по своему физическому состоянию напоминают либо используются для приготовления клеев, а клей по-гречески «colla». Однако уже в 1869 г. профессор Киевского университета Борщов сформулировал представления о коллоидах не как об особом классе веществ, а как о **состоянии**, присущем многим веществам, в том числе и кристаллоидам. Впоследствии это положение было подтверждено многими работами, и установлено, что даже такие кристаллические вещества, как поваренная соль и металлы, могут быть переведены в коллоидное состояние. Таким образом, термин «коллоид» означает особое состояние вещества, в котором могут находиться практически все известные тела. Это состояние характеризуется высокой степенью раздробленности (дисперсности) вещества, развитой удельной поверхностью с присутствием ей многочисленными поверхностными явлениями. В связи с этим более современным наименованием дисциплины является «коллоидная химия». Этой дисциплиной заканчивается изучение общехимических курсов и начинается изучение прикладных, так как изучаемые в ней законы и принципы сопровождают биохимические процессы. Поверхностные явления, как правило, происходят самопроизволь-



но, значит, присущи всем телам, имеющим реальные поверхности. Далее объектами изучения являются системы, в которых хотя бы один компонент находится в дисперсном, т. е. в раздробленном состоянии.

Коллоидная химия – это наука о поверхностных явлениях и физико-химических свойствах дисперсных систем. Представления коллоидной химии используются в:

- материаловедении – «нанохимия», порошковая металлургия, механохимия и т. д.;
- строительных материалах – бетоны, пенопласты, краски;
- экологии – аэрозоли, очистка вод, пыль;
- медицине – биологические процессы, механизмы влияния на организм;
- метеорологии – облака, туманы;
- почвоведении – капиллярные эффекты;
- косметологии, фармацевтике – изготовление средств и лекарств;
- пищевой промышленности – изготовление шоколада, майонеза, сладостей, маргарина;
- текстильной и бумажной промышленности – качество окрашивания, печатания.

Ежегодно изготавливаются миллионы тонн веществ в коллоидном состоянии.

Выделившись из физической химии, коллоидная химия во многом вобрала ее терминологию.

Вещество, распределенное в виде отдельных частиц (твердых частиц, капель жидкости, пузырьков газа и т. д.), называется **дисперсной фазой**. **Фаза** – совокупность частей системы, тождественных по составу и термодинамическим свойствам.

Система, состоящая из двух и более фаз, называется гетерогенной. Дисперсные системы всегда гетерогенные, или гетерофазные: гель, золь и др. (рис. 8.1). Граница фаз называется межфазной поверхностью раздела.

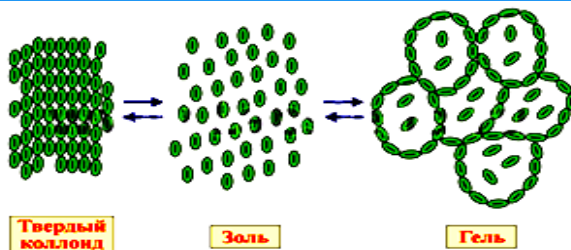


Рис. 8.1. Строение геля и золя

Вещество, в котором распределена дисперсная фаза, называется **дисперсионной средой**. Дисперсная фаза не растворима в дисперсионной среде и отделена от нее поверхностью раздела. Дисперсные системы различаются степенью дробления дисперсной фазы.

Система, в которой одно вещество раздроблено и распределено в массе другого вещества, называется **дисперсной системой**.

Дисперсная система как минимум двухфазна (фаза + среда). Следовательно, объектам изучения коллоидной химии присущи два основных признака: гетерогенность (качественный признак) и дисперсность (количественный признак). Сюда можно отнести: сыпучие и пористые тела, полимеры, строительные материалы, почвы, сплавы, волокна, биологические ткани (человек – ходячий коллоид), продукты питания, лекарства, косметику, облака, туманы и т. д.

**Количественные характеристики дисперсных систем.** Степень измельчения (дробления) вещества называется степенью дисперсности.

Для характеристики дисперсных систем используют две основные величины:

1. Поперечный размер частиц ( $\phi$ , ребро куба) –  $d$ ;  $[d] = \text{см}$ , м.
2. Дисперсность ( $D$ ) – величина, обратная поперечному размеру частиц:  $D = 1/d$ ;  $[D] = \text{см}^{-1}$ ,  $\text{м}^{-1}$ .

Физический смысл – число частиц, расположенных на длине 1 см или  $1 \text{ м}^3$ . Физический смысл ( $S_{уд}$ ) – это межфазная поверхность ( $S_{1,2}$ ), приходящаяся на единицу объема ( $V$ ) или единицу массы ( $m$ ). В зависимости от размера частиц системы могут быть моно- и полидисперсные. Реальные системы – полидисперсные.



## 2. Классификация дисперсных систем

Ниже приведена классификация дисперсных систем по различным признакам.

### 1. По степени дисперсности:

- грубодисперсные,  $d \geq 10^{-5}$  м (10 мкм) – пыли, пески;
- микрогетерогенные,  $d = 10^{-5} - 10^{-7}$  м – эмульсии, суспензии, пены;
- коллоидно-дисперсные в жидкой среде (золи),  $d = 10^{-7} - 10^{-9}$  (истинно коллоидные) – гидрозолы, органозолы, аэрозолы;
- молекулярно или ионодисперсные (истинные растворы),  $d < 10^{-9}$  м.

Частицы золей невидимы в оптический микроскоп, водные системы прозрачны, фильтруются через обычные фильтры.

Самую большую  $S_{уд}$  имеют коллоидные растворы, в истинных растворах межфазные поверхности отсутствуют. Коллоидные системы реальные, как правило, полидисперсны.

### 2. По степени взаимодействия между частицами дисперсной фазы:

- свободнодисперсные – частицы не связаны, это системы, обладающие текучестью, как обычные жидкости и растворы (коллоидные растворы, взвеси, суспензии);

- связнодисперсные – это структурированные системы, имеющие пространственную сетку, каркас и приобретающие свойства полутвердых тел (гели, пористые тела, аморфные осадки):

при  $d_{пор} < 2$  нм – микропористые;

$d_{пор} = 2 - 200$  нм – переходные;

$d_{пор} > 200$  нм – макропористые.

### 3. По взаимодействию между дисперсной фазой и дисперсионной средой (для жидкой среды).

Системы с интенсивным взаимодействием фазы и среды с образованием, например в жидкостях, на поверхности дисперсной фазы сольватных слоев называются лиофильными (гидрофильными). При слабом взаимодействии дисперсной фазы и дисперсионной среды системы называются лиофобными (гидрофобными).

### 4. По топографическому признаку (учитывается различие в форме частиц):

- корпускулярные (частицы малы во всех измерениях);
- фибриллярные (волокнистые – частицы малы по двум измерениям);



- ламинарные (пленочные – малой является только толщина).

Если минимальные размеры частиц в этих системах близки, то и удельные поверхности их близки.

### **5. По агрегатному состоянию.**

И дисперсная фаза, и дисперсионная среда могут быть в трех агрегатных состояниях (твердое, жидкое, газообразное). Комбинируя попарно эти агрегатные состояния, можно получить **9** различных состояний (табл. 8.1).

Отдельно вне классификации стоят растворы высокомолекулярных соединений. Имея большие размеры молекул, они являются объектами изучения коллоидной химии. Занимая положение между истинными растворами и коллоидными, они не являются гетерогенными системами (нет одного признака).

Таблица 8.1. **Классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию**

| Дисперсионная среда | Дисперсная фаза | Условные обозначения | Примеры   |
|---------------------|-----------------|----------------------|---|
| 1                   | 2               | 3                    | 4   |
| Газ                 | 1. Газ          | $г_1/г_2$            | Смеси некоторых газов при высоких давлениях   |
|                     | 2. Жидкость     | ж/г                  | Туманы, облака, аэрозоли  |
|                     | 3. Твердое      | т/г                  | Дымы, пыль, аэрозоли  |
| Жидкость            | 1. Газ          | г/ж                  | Пены (пивная, противопожарная, пастила)   |
|                     | 2. Жидкость     | $ж_1/ж_2$            | Эмульсии (молоко, нефть, кремы, латекс, майонез)  |
|                     | 3. Твердое      | т/ж                  | Суспензии, взвеси, пасты, илы, шоколад, какао   |
| Твердое состояние   | 1. Газ          | г/т                  | Гели, пемза, древесный уголь, пенопласт, пенобетон, силикагель                                      |
|                     | 2. Жидкость     | ж/т                  | Почвы, грунты, жемчуг   |
|                     | 3. Твердое      | $т_1/т_2$            | Металлические сплавы, бетоны, минералы, рубиновые стекла, аметисты, эмали, композиционные материалы |

В то же время изучение свойств высокомолекулярных соединений представляет исключительный интерес в биологии и медицине, так как к ним относят растворы белков, полисахаридов, нуклеотидов.



### 3. Методы получения дисперсных систем

Всякое вещество можно получить в дисперсной системе, если создать для этого необходимые условия. Так как коллоиды это не особый класс веществ, а состояние, присущее всем веществам, рассмотрим методы, обеспечивающие достижение этого состояния. Все методы разделяются на 2 группы. Получить вещество в коллоидном состоянии можно двумя противоположными способами: **диспергированием (раздроблением)** макрочастиц или **конденсацией** атомов или молекул. Чтобы получившиеся коллоидные частицы не слипались, необходим стабилизатор в виде ионов, молекул неорганических веществ, поверхностно-активных органических соединений или высокомолекулярных соединений. Последние, адсорбируясь на поверхности коллоидных частиц, снижают их свободную поверхностную энергию и делают частицу устойчивой.

**Диспергационные.** Вещества тонко измельчаются – диспергируют в состав дисперсионной среды.

1. Механическое дробление (все природные коллоидные системы). Шаровые мельницы обеспечивают  $d$  от 2–3 до 50–70 мкм. В коллоидных мельницах в результате высоких скоростей вращения ротора в пространстве между ротором и корпусом и за счет трения достигается измельчение вещества до  $d < 1$  мкм.

2. Ультразвуковое дробление. За счет захлопывания возникающих в жидкости полостей возникают ударные микроволны (кавитация). Частота колебаний достигает 800 тыс/с.

3. Электрическое дробление (в вольтовой дуге или с помощью высокочастотного разряда).

4. Химическое дробление – пептизация,  $\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{NaCl} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2\text{Cl} + \text{NaOH}$ .

Для **диспергирования** можно применять механическое дробление или ультразвуковые колебания. Так, твердые и жидкие тела измельчают на коллоидных мельницах, действующих по принципу удара, трения или вибрации.

Если распылять металлы в электрической дуге под водой или в органических жидкостях, то вначале металл испаряется до атомов, а затем происходит конденсация атомов до коллоидных частиц. Такой метод их получения называется дисперсионно-конденсационным.

**При конденсационных методах** создаются условия для соединения атомов, молекул или ионов в коллоидные частицы. Этого можно



достичь охлаждением паров, пересыщением растворов или химическими реакциями получения нерастворимых веществ. Примерами конденсации могут служить: образование водного тумана в воздухе или получение золя хлорида натрия при прибавлении спиртового раствора хлористого натрия к эфиру, в котором хлорид натрия не растворяется.

**Конденсационные** (коллоидное состояние возникает в результате объединения молекул или ионов вещества).

Конденсационные методы получения подразделяются на физические и химические.

*Физические:*

1. Конденсация пара в газовой среде (туман).
2. Конденсация пара в жидкости (ртуть в холодной воде), золи металлов в электрической дуге.
3. Конденсация частиц при замене растворителя (канифоль – замена спирта на воду).
4. Совместная конденсация веществ, не растворимых друг в друге (золи металлов Al, Na, K в органических растворителях), – испарение и совместная конденсация в вакууме.

*Химические* (называются по типу химической реакции):

1. Восстановление (метод Зигмунди: золи Ag, Pt, Hg, Bi, Cu);  

$$2\text{HAuCl}_4 + 3\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Au}_{\text{золь}} + 8\text{HCl} + 3\text{O}_2.$$
2. Гидролиз,  

$$\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl}$$
 (золь гидроксида железа(III));  

$$\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{HCl}$$
 (очистка воды коагуляцией).
3. Окисление-восстановление,  

$$3\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{S} \rightarrow 3\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$$
 (золь серы).
4. Реакция обмена,  

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SiO}_3 + 2\text{NaOH}$$
 (золь кремниевой кислоты);  

$$\text{AgNO}_3 + \text{KI} = \text{AgI} + \text{KNO}_3$$
 (золь иодида серебра(I)).

Для получения высокодисперсных систем в жидких средах пользуются также методом пептизации. Это один из дисперсионных методов. При пептизации свежееобразованный осадок слипшихся коллоидных частиц под действием стабилизатора снова переходит в коллоидный раствор. Если взять, например, свежееосажденный и быстро промытый осадок гидроксида железа(III), прибавить к нему раствор хлорного железа или соляной кислоты, то при перемещении осадок перейдет в раствор, т. е. образуется золь.

Для повышения степени дисперсности системы:

1. Смешивают очень разбавленные растворы,  $C < 10^{-4}$  моль/дм<sup>3</sup>.



2. Вводят специальные вещества (стабилизаторы), которые уменьшают слипание, создавая защитную прослойку (мыло, желатин).

#### **4. Строение коллоидных частиц (мицелл)**

Коллоидные системы представляют собой вид дисперсных систем с размером частиц дисперсной фазы от 1 до 100 нм. Диспергирование (дробление) растворенного вещества в истинных растворах происходит до молекул и ионов. В коллоидных системах частицы дисперсной фазы представляют собой относительно крупные агрегаты, состоящие из сотен и тысяч молекул, ионов и атомов.

Жидкие коллоидно-дисперсные системы называются коллоидными растворами, или золями. От истинных растворов коллоидные растворы отличаются рядом специфических свойств: они относительно неустойчивые, частицы дисперсной фазы не проходят через мембрану, обладают малой скоростью диффузии, способны рассеивать свет.

Частица дисперсной фазы в коллоидном растворе называется мицеллой. Мицелла в целом электронейтральна. В центре мицеллы находится ядро. Ядро мицеллы представляет собой совокупность кристаллически или аморфно упакованных молекул труднорастворимого соединения. Ядро коллоидной частицы прочно адсорбирует на своей поверхности ионы определенного заряда электролита-стабилизатора, которые называются потенциалопределяющими ионами. Ионы противоположного знака, компенсирующие заряд частицы, называются противоионами. Одна часть противоионов располагается за счет электростатического взаимодействия в адсорбционном слое в непосредственной близости к ядру и удерживается частицей при ее передвижении по раствору, а вторая часть противоионов находится в диффузном слое и слабо связана с частицей. Ядро вместе с адсорбционным слоем (потенциалопределяющие ионы совместно с частью противоионов) называется гранулой. Гранула имеет заряд. Знак заряда гранулы определяется потенциалопределяющими ионами, прочно адсорбированными на поверхности ядра коллоидной частицы. Мицелла в целом электронейтральна за счет диффузного слоя.

Стремление гетерогенной системы к уменьшению поверхностной энергии вызывает отрицательное ориентирование полярных молекул, ионов, электронов в поверхностном слое, вследствие этого соприкасающиеся фазы приобретают заряды противоположного знака, но рав-



ной величины. Так, на поверхности возникает двойной электрический слой.

Образование коллоидных частиц рассмотрим на примере реакции образования золя иодида серебра(I):  $\text{AgNO}_3 + \text{KI} = \text{AgI} + \text{KNO}_3$ .  $\text{AgI}$  – нерастворимое вещество, поэтому может образовывать золь. Ядро коллоидной частицы образуют микрокристаллики, состоящие из  $m$  ионов  $\text{Ag}^+$  и  $m$  ионов  $\Gamma$ , т. е.  $m\text{AgI}$ .

Поверхностная ионизация – переход ионов, электронов из одной фазы в другую, например, с поверхности металла в газовую фазу переходят электроны, образуя со стороны газовой фазы электронное облако. Количественная характеристика процесса – работа выхода. В результате поверхность металла приобретает заряд (+), а газовая фаза (–) – возникает ДЭС.

В воде на поверхности  $\text{AgI}$  может образовываться ДЭС по следующему механизму: при растворении  $\text{AgI}$  в воду преимущественно переходят  $\text{Ag}^+$ , так как они сильнее гидратируются. В результате поверхность  $\text{AgI}$  будет иметь избыточный отрицательный заряд за счет  $\Gamma$  (потенциалопределяющий ион), который будет нейтрализован избытком ионов  $\text{Ag}^+$  (противоионов). При добавлении в раствор соли  $\text{AgNO}_3$  возрастает электрохимический потенциал серебра, определяющий ион и противоион поменяются местами. Для определения заряда поверхности используют **правило Фаянса – Панета**, согласно которому структуры кристаллической решетки могут достраивать только те ионы, которые входят в ее состав.

Адсорбция ДЭС может образовываться за счет избирательной адсорбции в межфазном слое ионов, электронов, не входящих в состав вещества, т. е. соединения примесей. Так, добавка в систему металл – вода раствора  $\text{NaCl}$  приводит к избирательной адсорбции  $\text{Cl}^-$  ионов на поверхности металлов. Появляется избыточный отрицательный заряд на поверхности металла, который компенсируется положительным  $\text{Na}^+$  в близлежащем слое раствора, т. е. на межфазной поверхности образования ДЭС.

Если межфазная поверхность образована веществами, не способными обмениваться зарядами, то ДЭС может образовываться в результате ориентирования полярных молекул сопряженных фаз в результате их взаимодействия.

Для определения знака заряда на поверхности в безэлектролитном растворе работает правило Кёна: из двух соприкасающихся фаз положительно заряжается та, которая имеет большую  $\epsilon$  (диэлектрическая

проницаемость). Поэтому все недиссоциируемые вещества, находящиеся в контакте с водой, имеющей большую  $\epsilon$ , заряжаются отрицательно.

Частицу дисперсной фазы вместе с двойным электрическим слоем называют мицеллой, она является нейтральной (рис. 8.2).

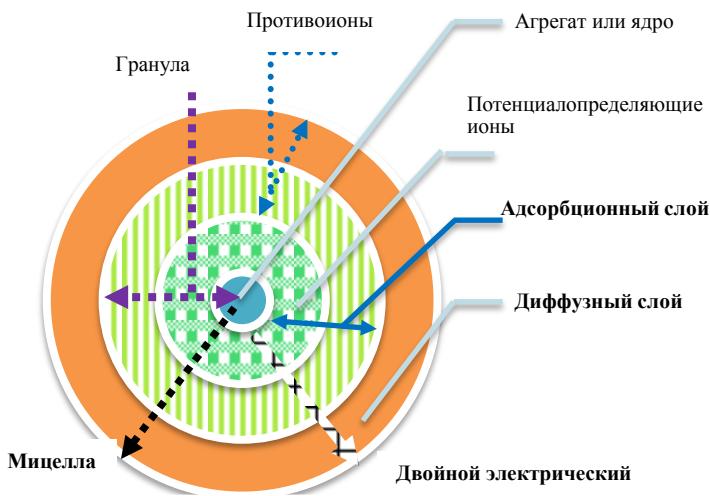
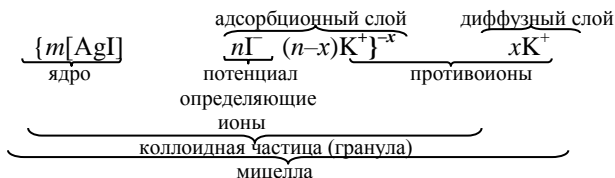


Рис. 8.2. Мицелла и двойной электрический слой

В случае избытка иодистого калия на поверхности ядра будут адсорбироваться ионы  $\Gamma$ , которые могли бы увеличить размер ядра и которые имеются в избытке (ионов  $\text{Ag}^+$  в растворе не остается). На ядре адсорбируются  $n$  ионов  $\Gamma$  и некоторое количество  $(n-x)$  катионов  $\text{K}^+$  из раствора, уменьшающих большой отрицательный заряд ионов иода. Этот слой ионов  $n\Gamma(n-x)\text{K}^+$  называется адсорбционным. Недостающие для ионной электрической компенсации ионы калия ( $x\text{K}^+$ ) могут легко диффундировать от коллоидной частицы в раствор (это диффузный слой). Итак, формула мицеллы:  $\{m\text{AgI} \times n\Gamma^{x-}(n-x)\text{K}^+\}^{-x} \times x\text{K}^+$ . Устойчивая частица в фигурных скобках – гранула, имеющая в данном случае заряд « $-x$ ». Ионы иода в данном случае обеспечивают отрицательный заряд гранулы и поэтому называются потенциалопределяющими: ионы калия называются противоионами. Если взять избыток  $\text{AgNO}_3$ , то формула мицеллы будет другой:  $\{m\text{AgI} \times n\text{Ag}^{+x} \times (n-x)\text{NO}_3^{-}\} +$

$+x \cdot x \text{NO}_3^-$ . Здесь гранула имеет положительный заряд. Эти заряды гранул препятствуют слипанию коллоидных частиц, что придает золям агрегативную устойчивость.

В качестве примера рассмотрим строение мицеллы иодида серебра(I) в избытке KI.



Коллоидная частица имеет отрицательный заряд, поэтому гранула при электрофорезе будет двигаться к аноду.

Если приготовить золь, приливая мелкими порциями KI к избытку  $\text{AgNO}_3$ , то образуются коллоидные частицы иного строения (рис. 8.3). Ядро то же, что в первом случае, —  $m\text{AgI}$ . Одноименными ионами из раствора и поэтому потенциалопределяющими будут являться катионы  $\text{Ag}^+$  (они в избытке). Соответственно протоионами из среды —  $\text{NO}_3^-$ . В гидратированном виде последние формируют адсорбционный и диффузный слои. Заряд коллоидной частицы —  $x^+$ . Мицелла имеет вид:  $\{[m\text{AgI} \cdot n\text{Ag}^+ \cdot (n-x)\text{NO}_3^- \cdot y\text{H}_2\text{O}]^{x+} + x\text{NO}_3^- \cdot z\text{H}_2\text{O}\}^0$ .

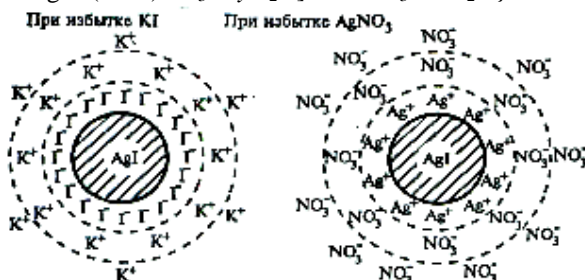


Рис. 8.3. Строение коллоидных частиц иодида серебра(I)

Для амфотерных веществ заряд поверхности может изменяться в зависимости от pH среды. В этом случае потенциалопределяющими ионами могут быть либо  $\text{OH}^-$ , либо  $\text{H}^+$ .

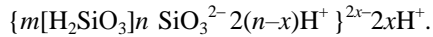
В качестве примера рассмотрим строение мицеллы кремниевой кислоты. Ядро коллоидной частицы кремниевой кислоты состоит из большого числа ( $m$ ) молекул кремниевой кислоты  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ . Молекулы  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  диссоциируют на ионы  $\text{SiO}_3^{2-}$  и  $2\text{H}^+$ . Определенное количество ( $n$ ) ионов  $\text{SiO}_3^{2-}$  адсорбируется ядром, являясь, таким образом, потен-



Учреждение образования  
«Белорусская государственная  
орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени  
сельскохозяйственная академия»



циалопределяющими ионами. Одна часть ионов  $\text{H}^+$  водорода  $2(n-x)$  сильнее связана электростатически с частицей и входит в состав адсорбционного слоя. Другая часть ионов  $\text{H}^+$  ( $2x$ ) находится в растворе в диффузном слое. При перемещении коллоидной частицы ионы диффузного слоя обычно остаются с дисперсной средой. Химическую формулу мицеллы кремниевой кислоты можно записать следующим образом:





## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Ахметов, Н. С. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов/ Н. С. Ахметов. – М.: Высш. шк., 2006. – 743. .
2. Барковский, Е. В. Аналитическая химия: Учеб. пособие/ Е. В. Барковский. – Мн.: Высш. шк., 2004. – 351 с.
3. Барковский, Е. В. Введение в химию биогенных элементов и химический анализ: Учеб. пос./ Е. В. Барковский, С. В. Ткачев и др. – М.: Высш. шк., 1997. –126 с.
4. Болдырев, А. И. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высш. шк., 1983.
5. Гольбрайх, З. Е. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие/ З. Е. Гольбрайх.–М.:ООО «Издательство Астрель»,2004.–383с
6. Грандберг, И.И. Органическая химия: Учеб. для студ. вузов обучающихся на агрономических специальностях/ И. И. Грандберг. – М.: Дрофа, 2004. –672 с.
7. Князев Д. А. Неорганическая химия: Учебник для вузов/ Д. А. Князев, С. Н. Смарыгин. – М.: Высш. шк., 1990. – 430 с.
8. Руководство к изучению курса “Общая и неорганическая химия”: Пособие для студентов нехимических специальностей / И. Е. Шиманович [и др.]; под ред. И.Е. Шимановича. – 3-е изд. – Минск: РИВШ, 2008. – 112 с.
9. Химия. Лабораторный практикум: учеб. пособие/А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная, И. В. Ковалева, Т. В. Булак.–Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 320 с.
10. Угай Я. А. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов/ Я. А. Угай. 4-е изд. – М.: Высш. шк., 2004. – 440 с.
11. Химия: учебно-методический комплекс: Учебно-методическое пособие / О. В. Поддубная, И.В. Ковалева и др. – Горки: БГСХА, 2011. – 452 с. ISBN 978-985-467-359-2
12. Хмельницкий, Р. А. Физическая и коллоидная химия: Учебник для вузов/ Р. А. Хмельницкий. – М.: Высш. шк., 1988.
13. Цитович, Н. К. Курс аналитической химии: Учебник для вузов/ Н. К. Цитович. – М.: Высш. шк., 1987. – 403 с.
14. Цыганов, А. Р. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие / А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 236 с.
15. Щербина, А.Э. Органическая химия. Задачи и упражнения: Учеб. пособие / А.Э. Щербина, Л.Г. Матусевич, И.В. Сенько. – Минск : Новое знание, 2007. – 304 с.

### Дополнительная

1. Белясова, Н.А. Биохимия и молекулярная биология: Учеб. пособие/ Н.А. Белясова. – Минск: Книжный дом, 2004. – 416 с.
2. Введение в лабораторный практикум по неорганической химии: Учеб. пособие / В.В. Свиридов, Г.А.Попкович и др. – Мн : Высш. шк., 2003. – 96 с.
3. Дорохова, Е. Н. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа: Учебник для почвенно-агрохимических специальностей / Е. Н. Дорохова, Г. В. Прохорова. – М.: Высш. шк., 1991. – 354 с.
4. Жарский, И. М. Теоретические основы химии: сборник задач: Учеб. пособие. – Минск.: Аверсев, 2004. – 397 с.
5. Практикум по общей и биоорганической химии: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / под ред. В. А. Попкова. – 3-е изд. – М.: Изд. центр «Академия», 2008. – 240 с.
6. Слесарев, В. И. Химия: основы химии живого: Учебник для вузов / В. И. Слесарев. – СПб: Химиздат, 2001. – 784 с.
7. Степин, Б. Д. Неорганическая химия: Учебник для вузов/ Б. Д. Степин, А.А.



Учреждение образования  
«Белорусская государственная  
орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени  
сельскохозяйственная академия»



Цветков. – М.: Высш. шк., 1994. – 608 с.

***Справочники:***

1. Краткий химический справочник. – М.: Химия, 1977.
2. Кольман, Я. Наглядная биохимия: Пер. с нем/ Я.Кольман, К.Г. Рем. – М.: Мир, 2000. – 469 с.
3. Лидин, Р.А. Химические свойства неорганических веществ/ Под ред. Р.А. Лидина. – 5-е изд., стер. – М.: КолосС, 2008, – 480 с.

Составитель  
**Поддубная** Ольга Владимировна