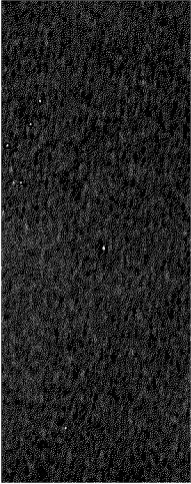


54  
3-38

*В. Н. Захарченко*

# КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ





54  
3-38

*В. Н. Захарченко*

# КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ

Издание второе,  
переработанное и дополненное

Допущено  
Министерством высшего и среднего  
специального образования СССР  
в качестве учебника для студентов  
медико-биологических специальностей  
высших учебных заведений



Москва  
«Высшая школа» 1989

541

ББК 24.6  
3-38  
УДК 541.18

Рецензент: проф. Ю. Г. Фролов (Московский химико-технологический институт им. Д. И. Менделеева)

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемый учебник отражает двадцатилетний опыт преподавания коллоидной химии на медико-биологическом факультете 2-го Московского медицинского института им. Н. И. Пирогова. Своеобразие обучения будущих врачей-биофизиков и врачей-биохимиков заключается в том, что наряду с предметами медико-биологического профиля они изучают точные науки. Коллоидная химия рассматривается не только как общеобразовательная дисциплина, но и как теоретическая база специальных дисциплин: биофизики и биохимии.

Как известно, коллоидная химия традиционно была тесно связана с проблемами биологии и медицины. Огромный вклад в ее развитие внесли исследователи, ранее работавшие в этих областях (А. Фик, Ф. Гофмейстер, Во. Паули, Г. Михаэлис и др.). В то же время крупнейших химико-коллоидников интересовали возможности объяснения ряда вопросов медицины с коллоидно-химических позиций (Во. Оствальд, Н. П. Песков, И. И. Жуков и др.).

Начиная с середины 60-х годов наблюдается возрастающее применение методов коллоидной химии: широкое использование гемодиализа, появление гемофильтрации и сорбционной экстракорпоральной детоксикации организма, разработка препаративного электрофореза клеток и т. д. Выпускникам медико-биологических факультетов отводится особая роль в прогрессе медицины и ее техническом оснащении, в том числе в дальнейшем развитии методов коллоидной химии.

В новом издании несколько изменено построение книги. По сравнению с первым изданием 1974 г. учебник дополнен материалом о применении коллоидно-химических методов в клинической и теоретической медицине. В частности, более детально рассмотрены коллоидно-химические основы методов экстракорпоральной детоксикации. В учебник включены сведения о структурно-механических свойствах крови и др.

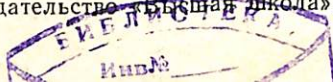
Автор выражает искреннюю признательность проф. Ю. Г. Фролову, внимательно ознакомившемуся с рукописью второго издания и сделавшему ценные замечания, проф. И. Н. Путиловой, проф. М. А. Луниной, С. М. Ларионову и другим коллегам за полезные рекомендации, способствовавшие улучшению рукописи.

Автор

3  $\frac{1708000000(4309000000)-055}{001(01)-89}$  120-89

ISBN 5-06-000069-9

© Издательство «Высшая школа», 1974  
© Издательство «Высшая школа», 1989, с изменениями



## ВВЕДЕНИЕ

Первые работы, ставшие отправным пунктом в возникновении науки о коллоидах, были проведены в середине XIX в. Одни из наиболее ранних исследований коллоидных систем были выполнены итальянским ученым Ф. Сельми (1845). Он изучал системы, представляющие собой хлорид серебра, серу, берлинскую лазурь, распределенные в объеме воды. Известно, что эти вещества нерастворимы в воде и при определенных условиях выпадают в осадок. Однако системы, полученные Сельми, почти прозрачные по внешнему виду, были очень похожи на истинные растворы, к которым относятся, например, растворы хлорида натрия или сульфата меди в воде. Сельми полагал, что ни сера, ни хлорид серебра, ни ряд других веществ не могут находиться в воде в виде таких же мелких частиц, образующихся при растворении хлорида натрия и сульфата меди в воде, т. е. в виде отдельных молекул или ионов.

Взгляды, близкие к предположениям Сельми, высказывал и К. Нэгели, также считавший, что в таких системах частицы серы, хлорида серебра и других веществ — более крупные агрегаты по сравнению с отдельными молекулами. Для полимолекулярных агрегатов Нэгели ввел название «мицелла»\*. Чтобы отличать системы, содержащие мицеллы, от растворов, в которых растворенное вещество находится в виде отдельных молекул, Нэгели назвал мицеллосодержащие системы «золями». Названия «мицелла», «золь» общеприняты и в настоящее время.

М. Фарадей (1857) исследовал системы, содержащие золото, распределенное в объеме воды. Такие системы были известны еще алхимикам, получившим их восстановлением в воде солей золота и давшим им название *augur potable* (питьевое золото). Изучая оптические свойства золей золота, Фарадей пришел к выводу, что золото в них содержится в виде очень маленьких частиц.

Т. Грэм (1861) провел исследования, сыгравшие исключительно важную роль в развитии коллоидной химии. Он установил, что по скорости диффузии все вещества можно разделить на два класса: хорошо диффундирующие, названные им «кристаллоиды», и плохо диффундирующие — «коллоиды». Грэм разработал также метод отделения коллоидов от кристаллоидов — диализ. В этом методе исполь-

зуется способность пленок, изготовленных из некоторых природных и искусственных материалов, пропускать кристаллоиды и задерживать коллоиды. Например, мембрана, полученная из обработанного особым образом мочевого пузыря быка, пропускает ионы натрия и хлора в водном растворе хлорида натрия, но не пропускает частицы берлинской лазури, также распределенные в воде. Таким образом, Грэму удалось установить критерий, характеризующий принадлежность веществ к коллоидам.

Грэм изучал диффузию и применял диализ (см. с. 17), работая с системами, содержащими органические вещества: желатин, пектин, казеин, гуммиарабик и другие, которые, как и золото, берлинская лазурь в золях, отличаются малой скоростью диффузии и не проходят через мембраны. Из указанных органических веществ можно приготовить клей, поэтому их называли коллоидами (от греч. *κόλλα* — клей и *ειδος* — подобие). Впоследствии это название распространили на все вещества, не проходящие через мембрану при диализе и плохо диффундирующие.

Название «кристаллоид» было дано веществам, способным легко кристаллизоваться при насыщении растворов.

Принципиальное разделение веществ на два класса означало бы, что кристаллоиды не могут образовывать золи. В противоположность Грэму Г. И. Борщов (1869) высказал предположение, что частицы в коллоидных системах могут иметь кристаллическое строение. Поэтому вещества, относящиеся к кристаллоидам, способны также образовывать коллоидные системы.

Уже к 1910 г. было известно несколько методов получения хлорида натрия — типичного кристаллоида — в коллоидном состоянии. Мельчайшие кристаллики соли, подобные частицам золота и берлинской лазури в водных золях, получали в различных органических средах. Таким образом, подтвердилась условность названия «коллоиды». Г. И. Борщов одним из первых предсказал большую роль, которую может сыграть изучение коллоидных систем в развитии биологии и медицины.

До начала XX в. предположения о строении коллоидных систем делались на основании косвенных экспериментов. В то время не было методов прямого наблюдения за отдельными частицами в золях. Поэтому наряду с правильными взглядами на коллоиды как на системы, содержащие полимолекулярные частицы (мицеллы), возникали ошибочные представления. Например, некоторые исследователи считали, что коллоидные системы — это молекуляр-

\* Уменьшительное от лат. *micra* — частица, крупинка.

ные растворы. Вначале такую точку зрения разделял Р. Зигмонди. Любопытно, что именно ему совместно с Г. Зидентопфом удалось в 1903 г. сконструировать прибор для прямого наблюдения за частицами в золях и тем самым опровергнуть свои ранние воззрения\*. В этом приборе, названном ультрамикроскопом, наблюдается свет, рассеиваемый отдельными частицами при интенсивном освещении золя. Применение ультрамикроскопа способствовало быстрому развитию коллоидной химии. С его помощью удалось вычислить размеры частиц в золях, проверить теорию броуновского движения, разработанную А. Эйнштейном и М. Смолуховским (1905—1906).

Исследования, проведенные Р. Зигмонди, Ж. Перреном, Т. Сведбергом и другими учеными в начале XX в., показали, что на свойства коллоидных систем влияют размеры частиц распределенного в них вещества. Величина частиц определяет интенсивность броуновского движения, их способность оседать под действием силы тяжести, оптические свойства коллоидных систем.

Русский ученый П. П. Веймарн и немецкий В. Оствальд обратили внимание на то, что размер частиц является существенной характеристикой коллоидных систем. Однако и тот и другой ошибочно полагали, что, изучая коллоидные системы и описывая их свойства, надо исходить только из одного признака — размера частиц. При таком подходе нельзя выяснить роль явлений на границе между поверхностью частиц и средой, в которой они распределены, так как многие из этих явлений очень мало зависят от размера частиц. Однако работы многих ученых показали, что именно явления на границе частица — среда определяют многие свойства коллоидных систем, в том числе одно из важнейших — устойчивость.

Односторонность подхода Оствальда к характеристике коллоидов показал Н. П. Песков (1918). По Пескову, взгляд на коллоиды, как на системы, свойства которых являются функцией только размера частиц, недостаточен для полного описания коллоидных систем. Это может быть сделано лишь с учетом факторов, определяющих способность коллоидной системы сохранять неизменными размеры частиц. Изменение размеров частиц происходит при их слипании — коагуляции. Способность противостоять коагуляции была названа агрегативной устойчивостью.

\* В 1925 г. Р. Зигмонди была присуждена Нобелевская премия по химии.

Изучение явлений, связанных с агрегативной устойчивостью, Песков считал важнейшим направлением коллоидной химии.

Идеи Пескова получили всеобщее признание. В настоящее время проблема устойчивости коллоидных систем — одна из главных в науке о коллоидах. В ее решение огромный вклад внесла советская школа исследователей (А. А. Думанский, И. И. Жуков, П. А. Ребиндер, Б. В. Дерягин и др.).

Коллоидная химия играет важную роль в современном научно-техническом прогрессе. Без коллоидно-химических процессов невозможны многие технологические операции радиоэлектронной, пищевой, легкой промышленности, производство строительных материалов, медицинских препаратов и др. Многие методы, первоначально разработанные для коллоидно-химических исследований, нашли широкое применение в биохимии и биофизике. Изучение коллоидной химии — необходимое звено в подготовке квалифицированного специалиста во многих областях биологии и медицины.

## ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ

**Основные определения.** В коллоидной химии широко используются многие понятия из курса физической химии, в том числе фаза, гомогенная и гетерогенная системы.

**Фаза** — часть системы одного состава, одинаковых физических свойств, ограниченная от других частей поверхностью раздела. Систему, состоящую из одной фазы, а следовательно, имеющую одинаковые макроскопические свойства во всех ее точках, называют гомогенной. Гетерогенная система состоит из двух и более фаз. Гетерогенную систему, в которой одна из фаз представлена в виде частиц микроскопических размеров, называют *микрогетерогенной*. Гетерогенная система может содержать частицы значительно меньших размеров в сравнении с видимыми в оптический микроскоп. Такие частицы наблюдают с помощью специального оптического прибора — ультрамикроскопа. Систему, содержащую столь малые частицы (но все же их масса превосходит в десятки и сотни тысяч раз массу отдельных обычных молекул и ионов), называют *ультрамикрогетерогенной*. По предложению Оствальда и Веймарна, фазу, входящую в микрогетерогенную и ультрамикроретерогенную систему в виде мелких частиц, называют дисперсной.

Микрогетерогенные и ультрамикроретерогенные системы — представители особого класса гетерогенных систем, называемых дисперсными системами. Эти системы имеют чрезвычайно развитую поверхность раздела фаз. Понятие «дисперсные системы» объединяет системы, содержащие частицы, малые во всех измерениях, и системы с частицами, имеющими в некоторых направлениях значительные размеры (вплоть до макроскопических). К первому роду систем относятся дисперсии золота, серы, берлинской лазури и других веществ в воде, ко второму — активированный уголь, силикагель, синтетические пористые алюмосиликаты (цеолиты).

**Дисперсность.** Предположим, что полученные дисперсные системы с одинаковым составом дисперсных фаз и дисперсионных сред. Различие заключается лишь в том, что одна система содержит дисперсную фазу в виде частиц одного и того же размера, а другая — частицы разного

размера. Это простейший пример, когда различие между системами устанавливается указанием размера частиц. Однако наиболее часто встречаются системы, в которых частицы дисперсной фазы неодинаковы по размерам. В качестве характеристики, используемой для сравнения таких систем, В. Оствальд предложил применять степень дисперсности, мерой которой служит удельная поверхность.

*Удельной поверхностью* называют площадь раздела фаз, приходящуюся на единицу массы или объема дисперсной фазы. Если частицы дисперсной фазы имеют форму куба и одинаковы по размерам, то удельная поверхность системы вычисляется по формуле

$$S_{уд} = \frac{S_{\text{ч}}}{V_{\text{ч}}} = \frac{6a^2}{a^3} = 6a^{-1}, \quad (1.1)$$

где  $S_{\text{ч}}$  — поверхность частицы;  $V_{\text{ч}}$  — ее объем;  $a$  — длина ребра кубической частицы.

Для системы, содержащей одинаковые частицы дисперсной фазы сферической формы,

$$S_{уд} = 6a^{-1}.$$

В общем случае для систем, содержащих одинаковые частицы произвольной формы,

$$S_{уд} = ka^{-1},$$

где  $k$  — коэффициент, зависящий от формы частиц;  $a$  — выбранный линейный размер частиц.

Удельная поверхность системы с частицами одной формы, но разных размеров определяется по формуле

$$S_{уд} = \frac{k \int_{a_{\min}}^{a_{\max}} \alpha(a) da}{V},$$

где  $\alpha(a)$  — относительное содержание в системе частиц дисперсной фазы, имеющих выбранный линейный размер  $a$ ;  $a_{\min}$  и  $a_{\max}$  — минимальный и максимальный размеры частиц дисперсной фазы;  $V$  — объем дисперсной фазы.

Используя удельную поверхность как усредненную характеристику, можно сравнивать микро- и ультрамикроретерогенные системы с пористыми телами, также включаемыми в класс дисперсных систем. Например, средний размер частиц в ультрамикроретерогенных системах можно принять равным  $10^{-8}$  м, чему соответствует удельная поверхность  $10^9$  м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>. Имеющие развитую внутреннюю поверхность активированный уголь и силикагель по этому

показателю близки к ультрамикрорегетерогенным системам; их удельная поверхность соответственно  $8 \cdot 10^5$  м<sup>2</sup>/кг и  $4 \cdot 10^5$  м<sup>2</sup>/кг.

**Классификация дисперсных систем.** В основу наиболее простой классификации дисперсных систем положены размеры частиц дисперсной фазы (табл. 1).

Таблица 1. Классификация дисперсных систем по размеру частиц

Тип системы	Размеры частиц, м	Характерные свойства
Грубодисперсная Коллоидно-дисперсная	$10^{-5} - 10^{-7}$	Частицы дисперсной фазы видны в обычный микроскоп
	$10^{-7} - 10^{-9}$	Частицы проходят через бумажные и стеклянные фильтры, но не проходят через ультрафильтры; невидимы в обычный микроскоп, но видны в ультра- и электронный микроскоп

Низкомолекулярные системы (обычные жидкости, растворы, газовые смеси) имеют размеры частиц менее  $10^{-9}$  м. Входящие в их состав молекулы и ионы невидимы в ультрамикроскоп и способны проходить через ультрафильтры\*.

Иногда классифицируют системы по числу атомов, образующих частицы (Г. Штаудингер). В этом случае к грубодисперсным относят системы, частицы которых в среднем содержат не менее  $10^9$  атомов. Коллоидные частицы состоят из  $10^3 - 10^9$  атомов. Системы, содержащие частицы с числом атомов меньше  $10^3$ , рассматриваются как молекулярно- или ионно-дисперсные.

Указание размеров частиц или числа составляющих их атомов недостаточно для полной характеристики системы, так как при этом не учитываются свойства дисперсной фазы и свойства дисперсионной среды.

Наибольшее распространение получила классификация, в основу которой положено агрегатное состояние фаз, образующих дисперсную систему. Возможны следующие сочетания агрегатных состояний дисперсионной среды и дисперсной фазы (см. табл. 2). Вначале указано состояние дисперсионной среды: Г/Ж, Г/Т, Ж/Г, Ж/Ж, Ж/Т, Т/Г, Т/Ж, Т/Т. Буквами Г, Ж и Т обозначены соответственно газообразное, жидкое и твердое состояния.

\* Ультрафильтры — это пленки с порами, размер которых находится в тех же пределах, что и размеры коллоидных частиц. Более подробно см. с. 18.

Таблица 2. Классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию

Дисперсионная среда	Дисперсная фаза	Характеристика по размеру частиц*	Название системы
Г	Г	—	—
	Ж	Гд Кд	Туман Аэрозоль
	Т	Гд Кд	Пыль, дым Аэрозоль
Ж	Г	Гд Кд	Пена »
	Ж	Гд Кд	Эмульсия »
	Т	Гд Кд	Суспензия Золь
Т	Г	Гд Кд	Твердая пена То же
	Ж	Гд Кд	Нет названия То же
	Т	Гд Кд	» Твердый золь**

\* Кд и Гд означают соответственно коллоидно-дисперсные и грубодисперсные системы.

\*\* Примером твердого золья может служить «рубиновое стекло», в котором коллоидно-дисперсное золото распределено по объему силикатного стекла.

В название коллоидно-дисперсных систем часто включают название дисперсионной среды и слово «золь», например лиозоль (жидкая среда, от греч. лиос — жидкость), алкозоль (в спирте), гидрозоль (в воде) и т. п.

Классификация, учитывающая различие в форме частиц, называется классификацией по топографическому признаку. В соответствии с этим различают корпускулярные, фибриллярные (волоконистые) и ламинарные (пленочные) системы. В корпускулярных системах частицы дисперсной фазы малы по всем измерениям, в фибриллярных (волоконистых) — по двум измерениям, в пленочных (ламинарных) — по одному измерению.



Если минимальные размеры частиц каждой системы близки, то удельная поверхность их также близка. В этом нетрудно убедиться, рассмотрев следующий пример. Пусть имеются ламинарная система с частицами  $1 \times 10 \times 10^{-7}$  м, фибриллярная система с частицами  $1 \times 10^{-7} \times 10^{-7}$  м и корпускулярная система с частицами  $10^{-7} \times 10^{-7} \times 10^{-7}$  м. Им соответствуют удельные поверхности  $2 \cdot 10^7$  м<sup>-1</sup> (рассматривается двусторонняя пленка),  $4 \cdot 10^7$  м<sup>-1</sup> и  $6 \cdot 10^7$  м<sup>-1</sup>. Таким образом, в системах, содержащих аннзодиаметрические частицы, т. е. частицы со значительным отношением максимального размера к минимальному, удельная поверхность мало зависит от площади пленки или от длины волокна.

По термодинамической устойчивости и характеру образования различают *лиофобные* и *лиофильные* системы. Первые образуются из пересыщенных систем или в результате дробления более крупных частиц и являются термодинамически неустойчивыми. Лиофильные системы образуются самопроизвольно и, следовательно, термодинамически устойчивы. В лиофильных системах частицы дисперсной фазы могут состоять из небольших молекул или представлять собой одиночные молекулы большой массы. Изучение растворов высокомолекулярных соединений представляет исключительный интерес с точки зрения биологии и медицины, так как к ним относятся системы, образуемые белками, полисахаридами, нуклеотидами.

По мере развития коллоидной химии неоднократно изменялась ее терминология и оценка важности изучения различных типов систем. Первоначально истинными коллоидами называли клееподобные системы, которые являются растворами высокомолекулярных соединений, а золи золота, нодида серебра, берлинской лазури и других называли «случайными» коллоидами. Затем большое внимание стало уделяться системам типа золя золота, которые были названы «лиофобными коллоидами». После того как работами Г. Штаудингера, В. А. Каргина и других ученых было установлено принципиальное различие в строении частиц и термодинамических свойств лиофобных коллоидов и растворов высокомолекулярных соединений, последние стали исключать из коллоидной химии и изучать отдельно. В настоящее время растворы высокомолекулярных соединений рассматривают как отдельную группу лиофильных коллоидных систем.

**Получение дисперсных систем.** Известны два способа получения дисперсных систем. В одном из них тонко измельчают (диспергируют) твердые и жидкие вещества в соответствующей дисперсионной среде, в другом вызывают образование частиц дисперсной фазы из отдельных молекул или ионов.

Методы получения дисперсных систем измельчением более крупных частиц называют *диспергационными*. Методы, основанные на образовании частиц в результате кристаллизации или конденсации, называют *конденсационными*. Диспергационные методы широко используют для получения грубодисперсионных систем — суспензий, эмульсий, порошков. Выбор типа измельчения твердых материалов зависит от их механических свойств. Хрупкие материалы предпочитают измельчать ударом, вязкие — истиранием.

Механическое измельчение проводят в специальных промышленных и лабораторных устройствах — мельницах. Наиболее распространены шаровые мельницы. Это полые вращающиеся цилиндры, в которые загружают измельчаемый материал и стальные или керамические шары. При вращении цилиндра шары перекатываются, истирая измельчаемый материал. Измельчение может происходить и в результате ударов шаров. В шаровых мельницах получают системы, размеры частиц которых находятся в довольно широких пределах: от 2—3 до 50—70 мкм. Полный цилиндр с шарами можно приводить в круговое колебательное движение, что способствует интенсивному дроблению загруженного материала под действием сложного движения измельчающих тел. Такое устройство называется вибрационной мельницей.

Более тонкое измельчение по сравнению с шаровыми и вибрационными мельницами можно получить, используя коллоидные мельницы. Их существует несколько типов. В одном из них суспензию, подвергаемую дальнейшему измельчению, пропускают между вращающимся ротором и неподвижным корпусом мельницы. Вследствие большой скорости вращения (доходящей на поверхности ротора до 150 м/с) и малого зазора между корпусом и ротором (доли миллиметра) создаются значительные касательные усилия, в результате чего частицы суспензии разрушаются. Измельчение вызывается преимущественно трением.

Коллоидные мельницы, работающие по принципу измельчения ударом, имеют вращающийся диск, на периферии которого устанавливают металлические стержни. Несколько пар металлических стержней устанавливают и на корпусе мельницы. Стержни, прикрепленные к диску, проходят между стержнями, устанавливаемыми в корпусе с большой скоростью (до 200 м/с), разбивая частицы суспензии. Коллоидные мельницы обеспечивают возможность получения суспензий с размерами частиц не более 1 мкм.

Высокой дисперсности можно достичь ультразвуковым диспергированием. Диспергирующее действие ультразвука связано с кавитацией — образованием и захлопыванием полостей в жидкости. Захлопывание полостей сопровождается появлением кавитационных ударных волн, которые и разрушают материал. Экспериментально установлено, что дисперсность находится в прямой зависимости от частоты ультразвуковых колебаний. Особенно эффективно ультразвуковое диспергирование, если материал предварительно подвергнут тонкому измельчению. Эмульсии, полученные ультразвуковым методом, отличаются однородностью размеров частиц дисперсной фазы.

Механическому разрушению твердых материалов способствуют дефекты их кристаллической структуры. Существование таких дефектов приводит к неоднородному распределению механических напряжений в кристалле, чем вызывается появление в дефектных местах очень малых трещин. При последующем механическом воздействии по трещинам происходит разрушение кристаллических тел. По мере исчезновения дефектов прочность кристаллов повышается и дальнейшее диспергирование идет при более интенсивных ударах по частицам.

Получению высокодисперсных систем может препятствовать слипание частиц дисперсной фазы. Скорость слипания обычно возрастает с уменьшением размеров частиц.

Известны вещества, которые при введении в дисперсную среду могут располагаться на твердой поверхности и снижать поверхностную энергию на границе твердого тела с жидкостью. Чем ниже поверхностная энергия, тем легче образуется новая поверхность в результате дробления частиц.

Дисперсные системы образуются не только при дроблении отдельных кристаллов, но и при разрушении агрегатов, состоящих из нескольких слипшихся кристаллов. Если не произошло срачивание кристаллов, то добавка определенных веществ может настолько ослабить связи между ними, что агрегаты разрушаются при слабом механическом воздействии.

Конденсационные методы позволяют получать дисперсные системы из гомогенных сред. Появление новой фазы происходит при пересыщении среды. Пересыщение, т. е. создание концентраций, превышающих равновесные, можно вызвать проведением химической реакции или физического процесса. В зависимости от этого различают физические и химические конденсационные методы.

**Физические методы.** Они основаны на конденсации пара. В газовой среде конденсацией паров различных веществ получают аэрозоли. Совместной конденсацией веществ, нерастворимых друг в друге, можно получать золи. В частности, так получают золи некоторых металлов в органических растворителях.

**Химические методы.** В качестве примеров приведем следующие химические процессы.

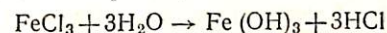
1. *Восстановление.* Классический пример этого метода — получение золя золота восстановлением золотохлористоводородной кислоты. В качестве восстановителя можно применять пероксид водорода (метод Зигмонди):



Известны и другие восстановители. Некоторые из них применяли еще в средние века алхимики.

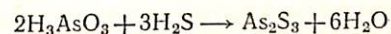
Золи железа, никеля, вольфрама, свинца и ряда других металлов можно получать электрохимическим восстановлением их солей (Э. М. Натансон).

2. *Гидролиз.* Широко применяется для получения золь гидроксидов металлов. Например, золь гидроксида железа получают по реакции

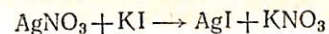


Для очистки воды от механических примесей используют гидроксид алюминия, получаемый гидролизом сульфата алюминия.

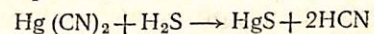
3. *Реакции обмена.* Этот метод наиболее часто встречается на практике. Например, получение золя сульфида мышьяка



получение золя иодида серебра



Интересно, что реакции обмена дают возможность получать золи в органических растворителях. В частности, хорошо изучена реакция



Ее проводят, растворяя  $\text{Hg}(\text{CN})_2$  в метиловом, этиловом или пропиловом спирте и пропуская через раствор сероводород.

Все приведенные выше реакции применимы не только для получения высокодисперсных систем, но и макрокри-

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	4
<i>Глава I.</i>	
Дисперсные системы . . . . .	8
Основные определения (8). Дисперсность (8). Классификация дисперсных систем (10). Получение дисперсных систем (12). Очистка золей и растворов высокомолекулярных соединений (17).	
<i>Глава II.</i>	
Поверхностные явления . . . . .	28
Межфазовая граница (28). Межфазовое натяжение на границе жидкость — жидкость (34). Растекание (35). Адгезия и когезия (37). Мономолекулярные слои (38). Смачивание (47).	
<i>Глава III.</i>	
Адсорбция . . . . .	51
Основные понятия (51). Адсорбция на однородной плоской поверхности раздела фаз. Уравнение изотермы Гиббса (52). Поверхностная активность. Поверхностно-активные вещества (56). Зависимость между адсорбцией и состоянием мономолекулярного слоя (59). Адсорбция на твердой поверхности (60). Твердые адсорбенты (67). Кинетика адсорбции (70). Динамическая и статическая адсорбция (70). Хромотаграфия (71). Сорбционные методы удаления токсических веществ из организма (80).	
<i>Глава IV</i>	
Электроповерхностные явления. Строение двойного электрического слоя . . . . .	81
Двойной электрический слой (81). Поверхностный потенциал (83). Электрокинетические явления (84). Строение двойного электрического слоя (87). Элементарная теория электрокинетических явлений (94). Применение электрофореза в биологических и медицинских исследованиях (99). Строение коллоидной мицеллы (102).	

<i>Глава V</i>	
Устойчивость и коагуляция лиофобных золей . . . . .	104
Основные закономерности коагуляции под действием электролитов (105). Кинетика коагуляции (106). Современные представления об агрегативной устойчивости лиофобных коллоидов (109). Физическая теория устойчивости и коагуляции электролитами (110). Особые случаи коагуляции (116). Пептизация (118).	
<i>Глава VI</i>	
Структурно-механические свойства дисперсных систем . . . . .	119
Закон вязкого течения Ньютона. Вязкость (119). Уравнение течения вязкой жидкости в капиллярах и между двумя соосными цилиндрами (120). Вискозиметрия (123). Реологические кривые. Структурированные системы (127). Реологические свойства биологических жидкостей (133).	
<i>Глава VII</i>	
Молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем и растворов высокомолекулярных соединений . . . . .	135
Диффузия (135). Вращательная диффузия (138). Осмос (139). Теория диффузии (141). Броуновское движение (143). Седиментация. Седиментационный анализ (148). Седиментация в центробежном поле (151). Ультрацентрифугирование растворов полимеров (153). Диффузионно-седиментационное равновесие (156).	
<i>Глава VIII</i>	
Оптические свойства дисперсных систем . . . . .	158
<i>Глава IX</i>	
Системы с самопроизвольным мицеллообразованием . . . . .	163
Коллоидные поверхностно-активные вещества (164). Критическая концентрация мицеллообразования (166). Строение мицелл (169). Солюбилизация (170). Термодинамика мицеллообразования (173).	
<i>Глава X</i>	
Микрогетерогенные системы . . . . .	175
Эмульсии (175). Аэрозоли (186). Пены (192).	
<i>Глава XI</i>	
Высокомолекулярные соединения и их растворы . . . . .	196
Природные высокомолекулярные соединения (196). Синтетические высокомолекулярные соединения (198). Строение молекул высокомолекулярных соединений (204). Не-	

которые свойства высокомолекулярных соединений (206). Растворение высокомолекулярных соединений. Набухание (207). Термодинамические свойства растворов высокомолекулярных соединений (208). Молекулярно-массовое распределение полимеров (211). Растворы полиэлектролитов (214). Иониты (218). Концентрированные растворы высокомолекулярных соединений. Студни (223).

Заключение . . . . .	225
Литература . . . . .	226