

Лекция 8. Микрогетерогенные системы.

План лекции:

1. Микрогетерогенные системы.
2. Студни гели, пены.
3. Роль и место физической и коллоидной химии в обучении химии в соответствии с требованиями ФГОС ОО.

1. Микрогетерогенные системы.

Микрогетерогенные системы — это термин, используемый в физической химии, коллоидной химии и материаловедении для описания дисперсных систем, в которых одна фаза (дисперсная фаза) распределена в другой (дисперсионной среде) в виде мелких частиц, имеющих размеры преимущественно в диапазоне от 0,1 до 10 мкм (иногда до 100 мкм).

Микрогетерогенные системы обычно непрозрачны или мутны. Они проявляют эффект Тиндаля (рассеяние света), если размер частиц соизмерим с длиной волны света. Для частиц > 1 мкм рассеяние подчиняется законам геометрической оптики (Ми), а не рэлеевскому рассеянию, характерному для наночастиц.

В современной химии и технологии важно различать:

1. Микрогетерогенные системы: Частицы видны в оптический микроскоп. Их поверхностные свойства менее выражены относительно объема. Устойчивость часто обеспечивается структурно-механическим фактором (вязкость среды).

2. Нано- (коллоидные) системы: Частицы 1–100 нм. Обладают гигантской удельной поверхностью, высокой термодинамической устойчивостью (за счет электростатического или адсорбционно-сольватного фактора) и проявляют свойства, отличные от макрофазы.

Когда мы говорим о микрогетерогенных системах, мы обращаемся к одному из ключевых понятий коллоидной химии и физико-химии дисперсных систем. Само слово «гетерогенный» означает неоднородный, то есть наличие границы раздела фаз, а приставка «микро-» указывает на характерный размер структурных элементов, из которых эта неоднородность складывается. В отличие от истинных растворов, где компоненты перемешаны на молекулярном или ионном уровне, микрогетерогенная система всегда состоит из двух или более фаз, причём одна из них – дисперсная – распределена в другой – дисперсионной среде – в виде мелких частиц, капель или пузырьков. Размер этих частиц лежит в интервале примерно от 0,1 до 10–100 микрометров, то есть они достаточно велики, чтобы их можно было различить в оптический микроскоп, но при этом они ещё не относятся к грубодисперсным системам, где частицы быстро оседают под действием силы тяжести.

Важно понимать, что микрогетерогенные системы занимают промежуточное положение между ультрамикрогетерогенными (или собственно коллоидными) системами с размерами частиц 1–100 нанометров и макроскопически неоднородными смесями. Их ключевая особенность – большая межфазная поверхность. Даже при небольшом содержании дисперсной фазы площадь контакта между фазами оказывается весьма значительной, что определяет высокую поверхностную энергию и, как следствие, термодинамическую неустойчивость этих систем. Любая микрогетерогенная система стремится к уменьшению свободной энергии, то есть к укрупнению частиц, слиянию или разделению фаз. Однако благодаря кинетическим факторам – например, вязкости среды, наличию стабилизаторов или электростатическому отталкиванию – такие системы могут сохранять свои свойства долгое время, что делает их чрезвычайно важными для практики.

В зависимости от агрегатного состояния дисперсной фазы и дисперсионной среды можно выделить несколько основных типов микрогетерогенных систем. Если твёрдое тело распределено в жидкости, мы имеем дело с суспензией или, при достаточно высокой степени дисперсности, с лиозолем. Если жидкость диспергирована в другой жидкости, образуется эмульсия – классический пример микрогетерогенной системы, где размер капель часто находится в диапазоне от долей до десятков микрометров. Когда газ

распределён в жидкости, формируется пена, а если газ заключён в твёрдую матрицу – получаются твёрдые пены или пористые материалы.

Физико-химические свойства микрогетерогенных систем определяются их дисперсностью. Оптические характеристики особенно показательны: из-за того, что размер частиц соизмерим с длиной волны видимого света, такие системы обычно мутны или непрозрачны, они рассеивают свет, но характер рассеяния зависит от точного размера частиц. Для частиц, близких к нижней границе микродиапазона, заметно броуновское движение, которое препятствует быстрому оседанию. По мере увеличения частиц до нескольких микрометров всё большее значение приобретает седиментация – оседание под действием гравитации или центробежных сил.

Особый интерес микрогетерогенные системы представляют в биологии и медицине. Клетки крови, такие как эритроциты, имеют размер как раз около 7–8 микрометров, и их суспензия – это типичная микрогетерогенная система.

В фармацевтике микрогетерогенные эмульсии используются для парентерального питания, а также для создания систем доставки лекарств с контролируемым высвобождением. В пищевой промышленности это молоко, майонез, различные соусы – везде, где одна жидкость тонко диспергирована в другой, образуя устойчивую эмульсию. В нефтегазовой отрасли водонефтяные эмульсии и пены играют важную роль как при добыче, так и при транспортировке углеводородов.

Современная наука и технология требуют чёткого различия микро- и наногетерогенных систем, хотя граница между ними часто размыта. Для наночастиц – размером менее 100 нанометров – на первый план выходят квантово-размерные эффекты и огромная удельная поверхность, что придаёт системе свойства, кардинально отличающиеся от свойств макрофазы. Микрогетерогенные системы в этом смысле ближе к макроскопическим объектам, но их устойчивость уже не может обеспечиваться только броуновским движением, как в коллоидных растворах; здесь чаще всего требуется структурно-механическая стабилизация – например, добавление загустителей или эмульгаторов, которые создают прочный адсорбционный слой на межфазной границе.

Таким образом, микрогетерогенные системы – это обширный класс дисперсных структур, сочетающих в себе признаки гетерогенности с достаточно высокой степенью дисперсности. Их изучение лежит в основе многих технологических процессов, от производства строительных материалов до создания биосовместимых имплантатов, а понимание закономерностей их образования, стабилизации и разрушения позволяет управлять свойствами материалов и сред, с которыми мы сталкиваемся ежедневно.

2. Студни гели, пены.

Если микрогетерогенные системы в широком смысле включают в себя дисперсные системы с размером частиц от 0,1 до 100 мкм, то среди них особое место занимают структурированные системы – студни, гели и пены. Их объединяет то, что они представляют собой не просто взвесь отдельных частиц или капель, а обладают пространственной структурой, придающей системе механические свойства, характерные для твёрдого или полутвёрдого тела, хотя по составу они могут быть преимущественно жидкими или газообразными. Такие системы называют также коагуляционными или конденсационными структурами, и они имеют колоссальное значение в биологии, медицине, пищевой промышленности, косметологии и многих других областях.

Начнём с гелей и студней. В коллоидной химии эти термины часто используют как синонимы, хотя иногда под студнями понимают более мягкие, слабосшитые системы, а под гелями – более прочные. Суть одна: это дисперсные системы, в которых дисперсионная среда (обычно жидкость) заключена в непрерывную пространственную сетку, образованную частицами дисперсной фазы или макромолекулами. Такая сетка может возникать двумя основными путями. Первый – это когда из истинного раствора или золя в результате изменения температуры, pH, добавления электролитов или специальных сшивающих агентов образуется трёхмерный каркас.

Например, при охлаждении раствора желатина макромолекулы белка сворачиваются в спирали и образуют зоны физического сшивания – формируется студень. Второй путь – химическое сшивание, когда между линейными полимерами возникают ковалентные связи, как при получении силикагеля или полиакриламидного геля. В любом случае структура геля представляет собой сетку, ячейки которой заполнены жидкостью. При этом объёмная доля жидкости может достигать 99 процентов и более, но система не течёт – она ведёт себя как твёрдое тело, способное сохранять форму и проявлять упругость.

Свойства гелей определяются природой сетки и взаимодействием с растворителем. Важнейшее свойство – способность к набуханию. Если гель поместить в растворитель, который хорошо взаимодействует с полимерной сеткой, он будет поглощать жидкость и увеличиваться в объёме в десятки и сотни раз. Обратный процесс – синерезис – самопроизвольное сжатие геля с выделением жидкости во внешнюю среду. Это явление часто наблюдается у стареющих студней, например, у кефирного сгустка или у некоторых гидрогелей при длительном хранении.

Особого внимания заслуживает тиксотропия – способность геля при механическом воздействии (встряхивании, перемешивании) разжижаться и переходить в золь или вязкую жидкость, а в покое самопроизвольно восстанавливать исходную структуру. Именно тиксотропией объясняется поведение многих зубных паст, косметических кремов, красок и буровых растворов.

Гели классифицируют по природе растворителя: если растворителем является вода, перед нами гидрогель; если органическая жидкость – органогель. Когда после удаления жидкости сохраняется пористая структура, получают ксерогель (например, силикагель – высушенный гель кремниевой кислоты), а если жидкость удаляют в сверхкритических условиях так, что каркас не разрушается, образуется аэрогель – материал с рекордно низкой плотностью и уникальными теплоизоляционными свойствами.

Переходя к пенам, следует отметить, что они тоже являются структурированными дисперсными системами, но здесь дисперсная фаза – газ, а дисперсионная среда – жидкость (двухфазные пены) или твёрдое тело (твёрдые пены, например, пенопласты, пенобетон). В отличие от гелей, где устойчивость обеспечивается сеткой из полимеров или частиц, в пенах структура создаётся тонкими плёнками жидкости, разделяющими газовые пузырьки. Такие плёнки стабилизируются поверхностно-активными веществами, которые адсорбируются на границе раздела жидкость–газ и препятствуют слиянию пузырьков за счёт сил электростатического отталкивания или структурно-механического барьера.

Ключевая характеристика пены – её кратность, то есть отношение объёма газа к объёму жидкости. Высокократные пены содержат до 95–98 процентов газа и напоминают сухую пену, где пузырьки имеют форму многогранников, разделённых тончайшими прослойками. Низкократные пены – это скорее вспененная жидкость, где пузырьки ещё сферические. Пены термодинамически неустойчивы – они разрушаются под действием трёх основных процессов: синерезиса (самопроизвольного истечения жидкости из плёнок под действием гравитации и капиллярных сил), коалесценции (слияния пузырьков) и диффузии газа из мелких пузырьков в крупные (из-за разности давлений Лапласа).

Задача технологов – замедлить эти процессы, вводя стабилизаторы, повышая вязкость жидкой фазы или создавая прочные структурные сетки в объёме жидкости, что сближает пены с гелями. Такие системы называют пеногелями или газонаполненными гелями – яркий пример, взбитый сливочный мусс, в котором воздушные пузырьки закреплены в белково-жировой гелевой матрице.

Если сопоставить гели и пены с ранее рассмотренными микрогетерогенными системами, можно увидеть общую черту – наличие развитой межфазной поверхности и термодинамическую неустойчивость. Однако гели выделяются тем, что в них дисперсная фаза образует непрерывный каркас, то есть система становится структурно-механически устойчивой, часто обратимо. Пены же, оставаясь, по сути, микрогетерогенными системами

типа газ–жидкость, приобретают стабильность благодаря тем же механизмам, что и эмульсии, но с ещё большей ролью структурной вязкости и адсорбционных слоёв.

В природе и технике мы постоянно сталкиваемся с такими системами. Гели – это основа клеточного матрикса, межклеточного вещества, хрящевой ткани. В лабораториях на гидрогелях выращивают клеточные культуры, в медицине используют гидрогелевые раневые покрытия и системы доставки лекарств. Пищевые студни – это желе, мармелад, зефир, заливные блюда. Пены окружают нас повсеместно: от мыльной пены и пенки на кофе до пенополиуретанов и огнетушащих составов. В нефтедобыче пены применяют для регулирования проницаемости пласта, в строительстве – для получения лёгких пористых материалов.

Таким образом, студни, гели и пены представляют собой особую, структурированную разновидность микрогетерогенных систем, где дисперсная фаза не просто распределена в среде, а образует пространственную сетку или плёночную структуру, придающую системе новые механические и функциональные свойства. Понимание закономерностей их формирования и стабильности лежит в основе разработки материалов с заданными характеристиками – от мягких и эластичных до твёрдых и пористых, что открывает широкие перспективы в биотехнологии, фармации и инженерии материалов.

3. Роль и место физической и коллоидной химии в обучении химии в соответствии с требованиями ФГОС ОО.

В современной системе российского образования, определяемой Федеральным государственным образовательным стандартом основного общего образования (ФГОС ОО), предмет «Химия» занимает особое место в формировании естественнонаучной картины мира.

Изучение химии направлено не просто на освоение суммы фактов и формул, но и на развитие способности к познанию, анализу и применению знаний в реальных жизненных ситуациях. В этом контексте физическая и коллоидная химия, хотя и не изучаются как самостоятельные дисциплины в основной школе, играют фундаментальную методологическую и содержательную роль. Их принципы и подходы составляют ту невидимую основу, на которой строится понимание многих тем базового курса, начиная с самых первых уроков в 8 классе.

Согласно ФГОС ОО, содержание обучения химии включает изучение первоначальных химических понятий, где важнейшее место занимает знакомство с гомогенными и гетерогенными смесями, способами их разделения, а также с понятием раствора как физико-химической системы. Здесь прямым образом проявляется связь с фундаментальными разделами физической и коллоидной химии. Когда восьмиклассники изучают, почему смесь песка и воды можно разделить фильтрованием, а раствор соли — только выпариванием, они на доступном уровне знакомятся с идеями о гетерогенных системах, размерах частиц дисперсной фазы и методах их разделения.

А когда речь заходит о растворах, о факторах, влияющих на растворимость веществ, и о способах выражения концентрации, это не что иное, как пропедевтика учения о растворах — одного из центральных разделов физической химии, который впоследствии будет изучаться на более высоком теоретическом уровне в вузе.

Более того, роль этих дисциплин выходит далеко за рамки содержательного наполнения уроков. ФГОС ОО требует формирования у школьников метапредметных результатов: умения определять понятия, создавать обобщения, устанавливать аналогии, классифицировать, самостоятельно выбирать основания и критерии для классификации. Изучение сложных систем, таких как эмульсии, суспензии, аэрозоли или гели, которые мы ежедневно встречаем в виде молока, тумана, косметических кремов или бытовой химии, предоставляет богатейший материал для развития этих мыслительных операций.

Учитель химии, опираясь на принципы классификации дисперсных систем по агрегатному состоянию фаз или по размеру частиц, учит школьников выстраивать

логические связи, сравнивать свойства разных объектов и видеть общие закономерности в, казалось бы, разных явлениях. Таким образом, физическая и коллоидная химия поставляют не только факты, но и мощный инструмент для развития интеллектуальных способностей.

Современные требования к преподаванию химии акцентируют внимание на деятельностном подходе, где знания не даются в готовом виде, а добываются в ходе активной познавательной деятельности. Здесь неоценимую помощь оказывает экспериментальный метод, который является основой как физической, так и коллоидной химии.

Выполняя лабораторные опыты по разделению смесей, наблюдению за явлениями коагуляции или диффузии, школьники осваивают эмпирические методы познания: наблюдение, измерение, эксперимент, моделирование. Они учатся выдвигать гипотезы, планировать эксперимент, фиксировать и интерпретировать результаты — все это универсальные учебные действия, закрепленные в стандарте. Работа с информацией, представленной в виде таблиц, графиков, диаграмм (например, диаграмм растворимости или фазовых диаграмм), формирует важнейшие навыки работы с научными данными.

Однако важно понимать, что ФГОС ООО устанавливает требования к результатам освоения основной образовательной программы, и в школе закладывается лишь фундамент будущего профессионального знания. Физическая и коллоидная химия как самостоятельные учебные дисциплины в полном объеме изучаются на более высоких уровнях образования — в старшей профильной школе (на углубленном уровне) или в вузе.

Их полноценное освоение требует развитого математического аппарата и глубоких знаний физики, что выходит за рамки основной школы. Тем не менее, именно в 8-9 классах закладывается понятийная база: школьники знакомятся с идеями о структуре вещества, характере межмолекулярных взаимодействий, законах сохранения и равновесия, что создает необходимую основу для последующего, более глубокого изучения этих сложных разделов химической науки.

Таким образом, физическая и коллоидная химия занимают в обучении химии в соответствии с требованиями ФГОС ООО двойственное, но крайне важное место. С одной стороны, их основные концепции являются неотъемлемой частью предметного содержания, представленного в темах о смесях, растворах, свойствах дисперсных систем.

С другой стороны, они служат методологической базой для формирования метапредметных компетенций: развития теоретического мышления, освоения экспериментального метода и умения применять научные знания для объяснения окружающего мира.

Эффективное преподавание химии в современной школе невозможно без опоры на эти фундаментальные разделы, которые превращают урок из простой трансляции информации в процесс увлекательного познания законов природы, готовящий учащихся к дальнейшему образованию и осознанной жизни в высокотехнологичном мире

Контрольные вопросы:

1. Как понятия «дисперсная фаза», «дисперсионная среда», «межфазная граница» и «поверхностная энергия» объединяют такие разные системы, как микрогетерогенные эмульсии, структурированные гели и пены? Почему все они являются объектами изучения коллоидной химии?

2. Почему знание закономерностей устойчивости микрогетерогенных систем (эмульсий, суспензий) необходимо для понимания процессов синерезиса в гелях и разрушения пен? Какие общие подходы используются для стабилизации и разрушения этих систем?

3. Каким образом требования ФГОС ОО к практико-ориентированному обучению могут быть реализованы через изучение реальных объектов — гелей (бытовая химия,

пищевые продукты), пен (моющие средства, пожаротушение), микрогетерогенных систем (эмульсии в косметике, суспензии в лекарствах)? Приведите примеры учебных ситуаций, связывающих теорию с жизнью.

4. Как межпредметные связи с физикой (поверхностное натяжение, вязкость, светорассеяние) и биологией (строение клеточных мембран, биологические жидкости) позволяют глубже раскрыть содержание тем о дисперсных системах и реализовать системно-деятельностный подход, заложенный в ФГОС?

Рекомендуемая литература:

1. Конюхов В.Ю. Физическая и коллоидная химия. В 2 ч. Часть 1. Физическая химия: учебник для среднего профессионального образования / В.Ю. Конюхова, К. И. Попова. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2026. — 259 с.

2. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия: учебник для вузов / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. — 7-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 444 с. — (Высшее образование).

3. Кудряшева, Н. С. Физическая и коллоидная химия: учебник и практикум для вузов / Н. С. Кудряшева, Л. Г. Бондарева. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2026. — 452 с.

4. Коллоидная химия. Примеры и задачи: учебное пособие для вузов / В.Ф. Марков, Т. А. Алексеева, Л. А. Брусницына, Л. Н. Маскаева; под научной редакцией В. Ф. Маркова. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 186 с.