

Методические указания к изучению дисциплины

Процессы на поверхности раздела фаз.

При изучении всех тем следует пользоваться материалом курса лекций Л.В.Адамовой «Процессы на поверхности раздела фаз», а также литературой, рекомендованной в программе дисциплины.

Для понимания важности изучаемого курса следует иметь в виду, что большинство реальных объектов неживой и живой природы, продуктов и материалов, создаваемых человеком, находится в дисперсном состоянии, т.е. содержит в своем составе малые частицы, волокна, тонкие пленки мембраны. Дисперсные системы – это микрогетерогенные системы, в которых по крайней мере одна из фаз находится в дисперсном состоянии. Диапазон дисперсных систем чрезвычайно широк – от грубодисперсных с частицами от 1 мкм и выше до высокодисперсных, в том числе ультрамикрогетерогенных (наносистем) с размерами частиц 1 – 10 нм.

Необходимо подчеркнуть, что важнейшей особенностью высокодисперсных систем является высокоразвитая поверхность раздела фаз, количественной характеристикой которой является величина удельной поверхности $S_{y\partial}$ – поверхности единицы массы дисперсных частиц. Легко подсчитать, что для монодисперсных частиц сферической формы в случае грубодисперсных систем $S_{y\partial}$ составляет 1-10 м²/г, а для частиц нанометрового диапазона $S_{y\partial}$ достигает 10³ м²/г. Поэтому наиболее характерные свойства дисперсных (в особенности высокодисперсных, наноразмерных) систем определяются явлениями, происходящими на поверхности раздела фаз - поверхностными явлениями. Из общего курса «Коллоидной химии» необходимо вспомнить общие представления о дисперсных системах, виды их классификации и основные характеристики

При рассмотрении всех тем курса необходимо исходить из того, что все явления, происходящие на поверхности раздела фаз, обусловлены

избыточной поверхностной энергией и стремлением систем к ее минимизации.

Тема 1. Поверхностные свойства однокомпонентных двухфазных систем

Раздел 1.1. Термодинамические характеристики поверхности в однокомпонентных системах

При обсуждении термодинамических характеристик поверхности в однокомпонентных системах следует обратить внимание на то, что молекулы конденсированных фаз, находящиеся в поверхности раздела, обладают избыточной энергией по сравнению с молекулами в объеме из-за некомпенсированности их межмолекулярных взаимодействий. Это порождает возникновение на поверхности раздела поверхностных сил и избытка энергии – поверхностной энергии. Необходимо рассмотреть понятие поверхностного натяжения σ , - основной характеристики поверхности, которое представляет собой работу обратимого изотермического образования единицы поверхности; и силу, действующую вдоль поверхности раздела и препятствующую ее увеличению. Важно подчеркнуть, что для жидкостей поверхностное натяжение численно равно удельной свободной поверхностной энергии. Поверхностные свойства проявляются на межфазной поверхности, которая рассматривается как конечный по толщине слой, в котором осуществляется переход от свойств, характерных для одной фазы, к свойствам, характерным для другой. Чтобы получить связь между термодинамическими функциями поверхности и объемных фаз необходимо использовать два подхода: метод избыточных величин Гиббса и метод слоя конечной толщины, развитый Гуггенгеймом и затем А.И. Русановым. Используя термодинамический подход Гиббса, нужно рассчитать избыток свободной энергии системы на единицу поверхности ΔF . Необходимо показать что величины σ и ΔF совпадают только для так называемой эквимолекулярной поверхности. Следует проанализировать понятие тангенциального давления в поверхности разрыва, которое входит в ур.

Беккера. Оно очень велико по сравнению с гидростатическим давлением в объемах фаз и отрицательно, что отражает стремление поверхности уменьшить свою площадь.

Используя известные термодинамические соотношения для соответствующих объемных величин, следует вывести уравнения, связывающие свободную энергию поверхности σ и избытки полной (внутренней) энергии Δu , энтропии Δs в поверхностном слое, а также температурные зависимости этих величин.

Раздел 1.2 Поверхностная энергия и взаимодействия молекул в однокомпонентных системах.

При изучении этого раздела следует обратить внимание на связь поверхностной энергии с взаимодействием молекул в однокомпонентных системах. Для этого необходимо рассмотреть понятие работы или энергии когезии, которая определяется как работа, которую необходимо совершить для разрыва молекулярных связей в конденсированной фазе. Следует вывести соотношение между поверхностной энергией, теплотой испарения и молярным объемом, которое носит название правила Стефана. В разделе рассматривается теория Гамакера и Де-Бура, рассчитавших энергию взаимодействия фаз при условии сложения сил притяжения всех молекул. Нужно уметь показать связь поверхностной энергии жидкости с макроскопической величиной, характеризующей межмолекулярные взаимодействия,— внутренним давлением. Необходимо обратить внимание на различные параметры, представляющие собой макроскопические характеристики взаимодействий между молекулами: модуль упругости E , теоретическую прочность идеального кристалла, энергию сублимации

Раздел 1.3. Методы определения поверхностного натяжения жидкостей и поверхностной энергии твердых тел

В разделе рассматриваются методы определения основной характеристики свойств поверхности раздела фаз – удельной свободной поверхностной энергии и численно равной ей величине поверхностного натяжения. Эта величина для легкоподвижных границ раздела фаз жидкость – газ и жидкость – жидкость может быть определена с большой точностью. При рассмотрении методов определения поверхностного натяжения их следует разделить на три группы: статические, полустатические и динамические. Статические методы основаны на изучении устойчивого равновесного состояния, к которому самопроизвольно приходит система. Нужно уметь объяснить принципы методов капиллярного поднятия, лежащей и висящей капли (пузырька), вращающейся капли, уравнивания пластинки, которые относятся к числу статических. Полустатические методы определения поверхностного натяжения основаны на достижении системой некоторого равновесного состояния, но это равновесие неустойчиво. Определение поверхностного натяжения основано в этом случае на изучении условий, при которых система теряет равновесие. Следует обратить внимание на наиболее распространенные полустатические методы: метод наибольшего давления, необходимого для образования в жидкости пузырька (или капли другой жидкости), метод отрыва кольца от поверхности жидкости и методы взвешивания и счета капель (сталагмометрия). Динамические методы определения поверхностного натяжения применяются в основном для изучения неравновесных состояний поверхностных слоев жидкостей и скорости установления равновесной структуры их поверхности. Нужно уметь описать метод колеблющихся струй, позволяющий изучать свойства поверхности жидкости через очень малые промежутки времени после их образования. При рассмотрении методов измерения поверхностной энергии твердых тел (метод нулевой ползучести, метод расщепления кристалла, изучение зависимости растворимости от размера частиц) следует оценить их возможности и ограничения. При выводе уравнений для расчета поверхностного натяжения в

каждом из рассмотренных методов необходимо представлять предпосылки вывода и условия выполнимости полученных соотношений.

Тема 2. Поверхности раздела между конденсированными фазами в двухкомпонентных системах.

Рассмотрено поверхностное натяжение границ раздела между конденсированными фазами, его температурная зависимость и связь с характером межмолекулярных взаимодействий компонентов на межфазной поверхности.

Раздел 2.1. Граница раздела жидкость – жидкость.

При анализе границы раздела между двумя взаимно насыщенными жидкостями следует установить связь между типом фазовых диаграмм для двухкомпонентных систем жидкость — жидкость, и температурными изменениями поверхностной энергии. Для систем с верхней критической температурой растворения, с нижней критической температурой, с двумя критическими температурами и замкнутой областью существования двухфазных систем приводятся температурные зависимости поверхностного натяжения и изменение энтропии поверхностного слоя. Знак сгущения энтропии связан либо с сильной ориентацией молекул в поверхностном слое, либо с разрушением направленных связей. Необходимо объяснить причины изменения энтропии поверхности в каждом из рассмотренных случаев. При рассмотрении подобной сильной ориентации молекул на межфазной поверхности жидкость — твердое тело следует обратить внимание на роль таких структурированных слоев для устойчивости дисперсных систем.

Раздел 2.2. Граница раздела между двумя твердыми фазами.

Для установления связи энергии границы раздела с характером взаимодействия молекул двух образующих систему компонентов следует ввести величину работы адгезии. Эта величина определяется как работа изотермического обратимого разделения двух разных конденсированных фаз

вдоль межфазной поверхности единичной площади. Она характеризует родственность контактирующих фаз, т. е. степень насыщения некомпенсированных поверхностных сил при контакте. Необходимо вывести уравнения, связывающие работу адгезии и поверхностное натяжение на границе между двумя твердыми поверхностями с энергией взаимодействия разнородных атомов или молекул.

Раздел 2.3. Составляющие поверхностного натяжения.

Следует обратить внимание на то, что величина поверхностного натяжения может быть разделена на две составляющие: «неспецифическую» дисперсионную и недисперсионную, которая определяется типом молекулярных взаимодействий в граничащих фазах. Дисперсионная составляющая поверхностной энергии границы раздела конденсированных фаз описывается выражением, в которое входят соответствующие константы Гамакера. Следует получить выражение для свободной поверхностной энергии границы раздела конденсированных фаз, согласно Ф. Фоуксу, Л. Джерифалко и Р. Гуду. При рассмотрении соотношения между дисперсионной и недисперсионной составляющими поверхностной энергии, следует проанализировать, как оно зависит от природы граничащих фаз. Необходимо обратить внимание на правило Антонова, связывающее межфазную энергию на границе раздела двух несмешивающихся жидкостей, и поверхностные натяжения жидкостей.

Тема.3. Дисперсность и термодинамические свойства тел.

Особенность высокодисперсных и ультрадисперсных систем заключается в том, что их свойства зависят не только от химического состава образующего их вещества, но и от размера частиц дисперсной фазы. Это означает, что поверхностная энергия определяет объемные свойства тел. Зависимость свойств от размера частиц называют размерным или масштабным, эффектом.

При рассмотрении темы важно обратить внимание на то, что размерные эффекты, наблюдаемые в дисперсных системах, делятся на две большие группы.

1. Эффекты, связанные с кривизной поверхности жидкой или газовой дисперсной частицы
2. Эффекты, связанные с влиянием размера частиц на физические и химические свойства веществ.

Кривизна поверхности определяет величину поверхностного натяжения, капиллярное давление и давление насыщенного пара жидкости.

От размера частиц зависят кристаллическая структура и степень симметрии кристаллической решетки, термодинамические параметры: теплоемкость, температура плавления (кристаллизации), механические, магнитные и электрические свойства, химические свойства, например каталитическая активность.

Важная особенность размерных эффектов в дисперсных системах заключается в том, что интервал размеров частиц, в котором они обнаруживаются, не является универсальным. Для каждого конкретного свойства характерен свой интервал, где размерные эффекты играют существенную роль. При этом важно подчеркнуть, что размерные эффекты особенно значительны для ультрадисперсных систем, т.е. в интервале наноразмеров. Тема посвящена рассмотрению влияния размеров частиц дисперсных систем на их свойства.

Раздел 3.1. Правило фаз Гиббса для дисперсных систем

Обращается внимание на то, что дисперсность (или удельная поверхность) является самостоятельным термодинамическим параметром состояния системы, изменение которого вызывает изменение других равновесных свойств. Поэтому только вследствие изменения дисперсности (удельной поверхности) системы при постоянстве объема, массы, температуры, давления, числа компонентов и фаз происходит изменение

состояния системы. Это означает, что система обладает дополнительной степенью свободы. В соответствии с этим для дисперсных систем правило фаз Гиббса должно применяться в виде выражения, учитывающего дисперсность как отдельный параметр

Раздел 3.2. Влияние дисперсности на внутреннее давление тел

В разделе рассмотрено влияние кривизны поверхности раздела между двумя несмешивающимися жидкостями на внутреннее давление в фазах. Необходимо вывести уравнение Лапласа, из которого следует, что фазы, разделенные искривленной поверхностью, могут находиться в равновесии только при разных давлениях внутри фаз. Уравнение Лапласа следует модифицировать для поверхностей разных форм. Необходимо показать, что в фазе, имеющей положительную кривизну, давление больше, чем внутри фазы с отрицательной кривизной. Выражая уравнение Лапласа через дисперсность, следует доказать, что чем выше дисперсность системы, тем больше внутреннее давление.

Раздел 3.3. Поверхностная энергия и равновесные формы тел

При анализе любых явлений, происходящих в границах раздела фаз, следует иметь в виду, что важнейшим свойством, определяющим поведение дисперсных систем, является стремление поверхностной энергии к минимуму. Это стремление вызывает искривление поверхности жидкости. Поэтому существует связь между поверхностной энергией и формой тел. В разделе необходимо проанализировать принцип Гиббса — Кюри: термодинамически устойчивой является та форма тела, при которой система обладает наименьшей поверхностной энергией Гиббса. Следует рассмотреть применение этого принципа к жидкостям и твердым телам.

Жидкости изотропны, поэтому все свойства, в том числе и поверхностное натяжение, в любой точке поверхности жидкости имеют одно

и то же значение. термодинамически устойчивой формой жидкого тела является та, которая имеет наименьшую поверхность при данном объеме.

Кристаллы анизотропны, поэтому каждая их грань имеет характерную для нее поверхностную энергию. Нужно уметь показать, что для кристаллов справедлив закон Вульфа, который гласит: условием минимума поверхностной энергии является пропорциональность удельных поверхностных энергий граней кристалла их расстояниям от его центра. Отсюда следует, что дефекты структуры реального кристалла соответствуют областям избыточной (поверхностной) энергии Гиббса

Раздел 3.4. Капиллярные явления

Необходимо получить представления о капиллярных явлениях, которые наблюдаются в содержащих жидкость узких сосудах, капиллярах, пористых телах. Следует проанализировать специфику поведения жидкости в капиллярных сосудах в зависимости от того, смачивает или не смачивает жидкость стенки капилляра. Вывести формулу Жюрена, связывающую высоту капиллярного поднятия краевым углом смачивания. Рассмотреть поведение жидкости в капиллярах, опущенных в жидкость под углом к ее поверхности. Нужно обратить внимание на ряд практически важных явлений, обусловленных капиллярным поднятием жидкостей, в т.ч. рассмотреть метод измерения объема пор пористых тел (порометрия), основанный на капиллярных явлениях. Следует рассмотреть механизм самопроизвольного заполнения капилляров в пористых телах. Разобрать вывод уравнения капиллярного поднятия жидкости между параллельными пластинами, близко расположенными друг к другу. При изучении кинетических закономерностей капиллярного течения следует привести вывод уравнения, показывающий, что по мере удаления от входа в капилляр скорость перемещения мениска убывает. Необходимо обратить внимание на сложность процесса капиллярного течения в пористых телах, которое описывается уравнением

Дарси, связывающим скорость течения жидкости в пористой среде с удельной поверхностью пористого тела.

Раздел 3.5. Зависимость термодинамической реакционной способности от дисперсности

В разделе рассматриваются представления о том, что в дисперсных системах реакционная способность зависит от степени дисперсности вещества, изменение которой может приводить к сдвигу фазового или химического равновесия. Нужно уметь вывести уравнение, в котором дополнительное приращение энергии Гиббса связывается с изменением дисперсности, и уравнение Томсона-Кельвина, из которого следует, что при положительной кривизне (например, для сферической капли) давление насыщенного пара над искривленной поверхностью будет тем больше, чем больше кривизна, т. е. меньше радиус капли. При отрицательной кривизне, имеющей место в капиллярах при смачивании, давление насыщенного пара над искривленной поверхностью уменьшается с уменьшением радиуса кривизны. Важно отметить, что вследствие высокой реакционной способности высокодисперсные и особенно нанодисперсные твердые частицы металлов и оксидов металлов имеют высокую каталитическую активность. Следует обратить внимание на примеры, иллюстрирующие каталитические свойства нанодисперсных частиц.

Раздел 3.6. Влияние дисперсности на растворимость вещества.

Необходимо вывести уравнения, которые показывают, что с увеличением дисперсности растворимость веществ возрастает, и это зависит как от размера частиц, так и от знака кривизны поверхности. Следует показать, что измерение растворимости в зависимости от дисперсности вещества лежит в основе метода определения поверхностного натяжения твердых тел. Нужно проанализировать влияние степени дисперсности исходных веществ и продуктов на равновесие химической реакции.

Раздел 3.7. Влияние дисперсности на температуру фазового перехода

Для дисперсных систем с изменением дисперсности веществ изменяется температура фазового перехода. С помощью термодинамических соотношений следует вывести количественную взаимосвязь между температурой фазового перехода и дисперсностью вещества. Из полученных уравнений нужно уметь сделать вывод о том, что с уменьшением размера частиц температуры плавления и испарения вещества уменьшаются, причем, изменение температуры фазового перехода с изменением дисперсности тем больше, чем выше температура фазового перехода для макроскопического тела, чем больше поверхностное натяжение, мольный объем и меньше теплота фазового перехода. Поэтому наиболее сильный эффект понижения температуры плавления с ростом дисперсности наблюдается для тугоплавких веществ. Необходимо отметить, что для металлических частиц этот эффект проявляется наиболее сильно в интервале наноразмеров, т.е. размер наночастиц можно рассматривать как своеобразный аналог температуры. Важно подчеркнуть, что размер дисперсных частиц оказывает влияние не только на процесс плавления, но и на процесс кристаллизации. Высокодисперсные капли разных жидкостей могут длительное время сохраняться в жидком состоянии при сильном переохлаждении.

Раздел 3.8. Дисперсность и физические свойства тел.

При анализе прочностных характеристик дисперсных систем следует показать, что так же как и для термодинамических свойств, имеет место обратно пропорциональная связь между свойством дисперсной частицы и ее размером. Так, предельное напряжение увеличивается по мере уменьшения диаметра частиц, волокон, стержней, тонких нитей. Особенно сильное увеличение прочности наблюдается в интервале малых размеров частиц. Поэтому для производства материалов с высокой прочностью используют методы получения мелкозернистой структуры; внутренний диаметр зерен

составляет от одного до нескольких нанометров. Необходимо обратить внимание на причины повышения прочности при уменьшении диаметра образца и размера зерна

Для магнитных свойств важно иметь в виду, что влияние дисперсности проявляется в значительном понижении точки Кюри— температуры перехода от ферромагнитного состояния к парамагнитному. Для наночастиц железа, кобальта, никеля размером менее 10 нм точка Кюри находится на сотни градусов ниже, чем для макроскопических образцов. Размер дисперсных частиц влияет также на коэрцитивное поле, что важно при использовании нанокристаллических ферромагнетиков. Высокодисперсные частицы имеют также низкую магнитную анизотропию, это означает, что потери при перемагничивании таких наноматериалов малы.

При рассмотрении структурных характеристик ультрадисперсных частиц важно обратить внимание на то, что они часто имеют другую кристаллографическую структуру, чем макроскопические кристаллы того же вещества. Это связано с тем, что для наночастиц действует принцип максимального координационного числа, а не условие минимума свободной энергии.

Тема 4. Адсорбционные явления

Стремление поверхностной энергии дисперсных систем к уменьшению может приводить к перераспределению компонентов системы между объемной фазой и поверхностным слоем. Это явление, называемое адсорбцией, происходит на различных межфазных границах и приводит к уменьшению поверхностного натяжения. Тема посвящена рассмотрению адсорбционных явлений, строения и свойств адсорбционных слоев.

Раздел 4.1. Термодинамика адсорбции. Уравнение Гиббса

Для вывода уравнения Гиббса нужно уметь представить графически изменение концентраций компонентов в двухфазной двухкомпонентной системе жидкость – пар по мере пересечения поверхности разрыва и

рассмотреть связь адсорбции второго компонента с характером его распределения в поверхности разрыва. Следует показать, что адсорбция Γ_2 может рассматриваться как избыток вещества в поверхностном слое, приходящийся на единицу площади поверхности раздела фаз, по сравнению с количеством этого вещества в таком же по толщине слое объемной фазы. Необходимо вывести уравнение Гиббса в форме, из которой следует, что избыток компонента в поверхностном слое определяет резкость уменьшения поверхностного натяжения с ростом химического потенциала адсорбирующегося вещества, и упростить для двухкомпонентных систем и случая, когда раствор близок к идеальному. Следует уметь объяснить понятия «поверхностно-активные» и «поверхностно-инактивные вещества» и показать относительность этих понятий.

Раздел 4.2. Строение и свойства адсорбционных слоев.

При изучении строения и свойств адсорбционных слоев важно подчеркнуть, что они могут находиться в состояниях, аналогичных известным для объемных фаз, а также обнаруживают и некоторые иные, не имеющие аналогов в объемных фазах. Следует проанализировать классификацию А. Адамсона типов поверхностных пленок. Нужно уметь показать различия в свойствах газообразных, жидкорастянутых, жидких и твердых и поверхностных пленок, условия их образования и соединения, способные давать пленки разных типов. Следует знать методы изучения механических свойств адсорбционных слоев. Необходимо представлять способы получения, строение, возможности для исследования и перспективы практического использования пленок Лангмюра - Блоджетт.

Раздел 4.3. Адсорбция на поверхности твердых тел. Изотерма Лангмюра.

При изучении закономерностей адсорбции на поверхности раздела твердое тело – газ (пар) следует отдавать отчет в возникновении трудностей,

связанных со сложностью определения величины поверхностного натяжения. Для того чтобы описать и прогнозировать адсорбцию газа или пара на поверхности твердого тела полезно использовать теорию Лангмюра, который использовал представление об адсорбции как о квазихимической реакции между адсорбатом и адсорбционными центрами поверхности адсорбента. Необходимо представлять допущения теории Лангмюра и уметь вывести уравнение изотермы мономолекулярной адсорбции. Следует представить уравнение Лангмюра в линейной форме и определить константы этого уравнения. Нужно математически показать, как в соответствии с уравнением изотермы Лангмюра происходит адсорбция газов из их смесей. Важно обратить внимание на модификации уравнения Лангмюра с целью приближения к реальным свойствам поверхностей твердых тел.

Раздел 4.4. Теория полимолекулярной адсорбции БЭТ

Необходимо обратить внимание на условия, при которых теория Лангмюра не работает, и, следовательно, необходимы другие взгляды на взаимодействие поверхности твердого тела с газом (паром). Важно оценить представления об образовании на поверхности адсорбента «последовательных комплексов» адсорбционных центров с одной, двумя, тремя и т. д. молекулами адсорбата, которые приняты в теории Брунауэра, Эметта и Теллера (теория БЭТ). Нужно уметь представить процесс адсорбции в виде последовательных квазихимических реакций и вывести уравнение полимолекулярной адсорбции БЭТ. Следует привести уравнение к линейному виду и показать, каким образом оно позволяет определить величину удельной поверхности твердого тела.

Тема 5. Образование дисперсных систем. Энергетика диспергирования и конденсации.

В этой теме разобраны способы получения дисперсных систем путем диспергирования и конденсации. Рассмотрены термодинамические и

кинетические закономерности этих процессов, влияние различных факторов на размер образующихся частиц. Описаны методы получения высокодисперсных и ультрадисперсных систем, используемые в нанотехнологиях, приведены способы регулирования размеров частиц и получения монодисперсных систем.

***Раздел 5.1. Два общих метода получения дисперсных систем.
Диспергирование.***

Следует обратить внимание на значение процессов диспергирования в производстве веществ и материалов; оценить роль самопроизвольного диспергирования, наблюдаемого для лиофильных систем и критических эмульсий. Нужно показать, что работу, необходимую для диспергирования, можно разделить на две составляющие, одна из которых расходуется на объемное деформирование тела, другая — на образование новых поверхностей. Следует вывести соотношение для вычисления работы каждого этапа диспергирования. Необходимо проанализировать использование эффекта Ребиндера – адсорбционного понижения прочности твердых тел и иметь представление о конкретных методах диспергирования, используемых на практике.

Раздел 5.2. Термодинамика конденсационного образования дисперсных систем.

Для гетерогенной, и гомогенной конденсации следует показать необходимость критической степени пересыщения исходной системы. Нужно уметь вывести уравнение для энергии Гиббса образования зародышей, включающее химическую и поверхностную составляющие, и оценить зависимость этой величины от размера зародыша. Следует обратить внимание также на влияние степени пересыщения на размеры образующихся зародышей, способных к дальнейшему росту. Необходимо оценить параметры образующихся твердых зародышей в жидкой фазе при

переохлаждении. Следует показать, что в соответствии с уравнением Липпмана появление заряда в метастабильной системе приводит к снижению энергии Гиббса образования зародышей.

Раздел 5.3. Стадии образования новой фазы

При рассмотрении кинетики конденсационного образования новой фазы следует показать, что этот процесс состоит из двух последовательных стадий: образования центров конденсации (зародышей) и роста зародышей. Нужно вывести уравнение для общей скорости образования центров конденсации и показать, что ее зависимость от температуры имеет экстремальный характер. Для второй стадии образования новой фазы - стадии роста зародышей также следует объяснить экстремальную зависимость скорости от степени пересыщения и переохлаждения. Важно продемонстрировать, как соотношение между этими скоростями и взаимное расположение их максимумов определяют характер кристаллизации и структуру продуктов кристаллизации. С точки зрения практического использования этих процессов необходимо показать, что возможность изменения скорости образования зародышей и их роста позволяет управлять степенью дисперсности в системе.

Раздел 5.4. Конденсационные методы получения нанодисперсных частиц.

•В этом разделе необходимо разобрать физические и химические конденсационные методы, используемые в нанотехнологиях. Это методы физической конденсации, в том числе двухстадийные физические методы, которые широко применяют для получения металлических наночастиц. Сюда следует отнести метод молекулярных пучков, аэрозольный метод, распылительную сушку, криохимический синтез, плазменный метод, золь - гель-метод, метод замены растворителя. Химические конденсационные

методы включают в себя химические реакции с получением нерастворимых веществ. Это могут быть реакции окисления-восстановления, обмена, гидролиза. Нужно уметь писать уравнения соответствующих реакций и знать условия, необходимые для получения высокодисперсных частиц. Следует обратить внимание на эффективный современный метод получения неорганических дисперсных частиц - гидротермальный синтез и его разновидность - сольво-термальный синтез, а также комбинированные гидротермально-микроволновой и гидротермально-электрохимический методы. Важно понимать значение и объяснять возможности синтеза дисперсных частиц в нанореакторах, в качестве которых применяют микроэмульсии, мицеллярные системы, пористые тела.