



МАЛЫЕ ЧАСТИЦЫ С БОЛЬШИМИ ПЕРСПЕКТИВАМИ: ЧТО ЭТО ТАКОЕ?

Ольга В. Сергеева

Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

Абстракт

В первой из предполагаемой серии статей рассмотрены основные представления, понятия и термины новой, бурно развивающейся области человеческого познания и практики – нанотехнологии. Выделено проблемное поле нанохимии, кратко охарактеризованы ее объекты (кластеры, наночастицы, квантовые точки) и их особые свойства, обусловленные тем, что размеры нанообъектов соизмеримы с характеристическими физическими параметрами, имеющими размерность длины.

Ключевые слова: химическое образование, нанотехнология, нанохимия, наночастицы.

Введение

В XXI столетии стратегическим направлением науки становится нанотехнология. Это предполагает необходимость фундаментальной перестройки существующих технологий промышленных производств, а также системы подготовки и переподготовки специалистов. Во всех промышленно развитых странах за последние 10-15 лет определены национальные приоритеты в области нанонауки и нанотехнологии, утверждены соответствующие научные и образовательные программы. В области образования сейчас разрабатываются учебные курсы, учитывающие междисциплинарный характер данной области науки. Специализированные модули по нанопроблематике включаются в программы факультетов университетов и колледжей, которые уже изучают химические и физические свойства массивных материалов. Разрабатываются магистерские программы для студентов, которые уже прошли основной курс обучения и хорошо знакомы со свойствами массивного вещества, а также создаются принципиально новые программы, в которых концепции наномасштаба вводятся с самого начала обучения в средней школе (Goodhew, 2006). В предлагаемой серии статей, написанных по материалам спецкурса, который вот уже несколько лет читается студентам-химикам Белорусского государственного университета (Сергеева, 2006), рассматриваются основные представления, понятия и термины новой области человеческого познания и практики, наночастицы и их особые физические и химические свойства, методы их получения и объединения в наноструктуры, свойства которых, в свою очередь, также необычны и уникальны и не определяются просто суммой свойств составляющих их частиц.

Нанотехнология, нанонаука, наночастицы

Сегодня мы на каждом шагу встречаем понятия “нанонаука”, “нанотехнология”, “наноматериалы”. Приставка “нано” (1 миллиардная часть, $1\text{nm}=10^{-9}\text{ м}$) не только прочно вошла в современный научно-технический обиход, но внедряется уже и в бытовое сознание. Рекламные щиты сообщают нам о “нанозащите от бактерий”, реставрации зубов нанокерамикой и нанокompозитами, лаке для ногтей, содержащем нанодисперсные алмазы и т.п.. В фокусе нового бурно развивающегося направления - наноразмерные объекты величиной от долей нанометра до приблизительно 100 нм: индивидуальные частицы, пленки, трубки, стержни (т.е. двух- и трехмерные образования), а также так называемые нуль-мерные объекты (или квантовые точки),

консолидированные наноструктурированные материалы, нанопористые материалы, наноконпоненты и наноустройства.

Нанообъекты окружают нас повсюду. Именно в интервале наноразмеров, на молекулярном уровне природа “программирует” основные характеристики веществ, явлений и процессов. Сама биологическая жизнь на планете Земля, собственно говоря, представляет собой наиболее яркий и убедительный пример успешного функционирования наноансамблей. Из нанообъектов состоят все природные материалы и системы, к ним относятся белки, ДНК, микроорганизмы, тонкие составляющие горных пород, аэрозоли, катализаторы, тонкие пленки. Любопытным примером “естественной нанотехнологии” является своеобразный внутренний компас магнитотактических бактерий. Он представляет собой цепочку крошечных магнитных частиц, размер каждой из которых соответствует отдельному магнитному домену. Взаимодействие магнитного поля Земли с этими частицами заставляет бактерию определенным образом ориентироваться вдоль силовых линий этого поля.

Интересно, что многими из наноразмерных объектов традиционная наука занималась задолго до того, как они были названы нанообъектами. В частности, такие давно и успешно развивающиеся области научной и практической деятельности человека, как фотография и катализ, всегда были основаны именно на нанопроцессах, хотя мы еще “не знали” о существовании последних, вернее, так их не называли. Многие из традиционных объектов коллоидной химии сегодня относят к наносистемам. Случайно обнаруженные нанообъекты и нанопроцессы используются в различных традиционных технологиях, хотя роль их выяснена далеко не во всех случаях. Простой пример: давно известно, что добавление в каучук небольших количеств неорганических глиен существенно улучшает характеристики получаемой резины. Как оказалось, нанометровые частицы глины прочно связывают концы полимерных цепочек, то есть в этом простом процессе образуется фактически нанокомпозитный материал “резина+глина”. Такие методы получения материалов, как порошковая металлургия, контролируемая кристаллизация из аморфного состояния, интенсивная пластическая деформация, и технология нанесения тонких пленок и покрытий также могут быть отнесены к нанотехнологиям.

Нанонаука занимается фундаментальными исследованиями свойств вещества в нанометровом масштабе. Нанотехнологию, в свою очередь, можно определить как умение работать с объектами, структура которых регулируется в нанометровом масштабе, и создавать из них более крупные структуры, обладающие принципиально новой молекулярной (точнее, надмолекулярной) организацией и новыми физическими, химическими и биологическими свойствами. Базовая концепция нанотехнологии, выдвинутая американским ученым Э.Дрекслером, подразумевает сознательное манипулирование атомами и молекулами, в результате которого каждая из них занимает в конечной структуре то место, которое ей определено человеком, что позволит, по мнению теоретиков нанотехнологии, полностью изменить отношения человека и природы.

Нанотехнология, используя природные законы и процессы, не только дает возможность получать уже известные вещества на атомном и молекулярном уровне дисперсности, но и создавать новые, ранее неизвестные. По существу, она является наукой конструирования. А элементами конструктора или строительными блоками для создания наноструктур являются так называемые наночастицы. Познакомимся с ними поближе.

Наночастицы занимают промежуточное положение между молекулами и объектами микронных размеров. Они содержат поддающееся счету число атомов и ведут себя подобно хамелеонам. Если рассматривать их как молекулы, то из-за своего сравнительно большого для молекул размера, они проявляют весьма своеобразные

квантовые особенности поведения, а если рассматривать их как материалы, то они обнаруживают характеристики, которые у материалов, состоящих из более крупных (микронных) структур, не наблюдаются. Характеристики наноструктур, особенно электрические и магнитные, преимущественно описываются законами квантовой физики. В определенном смысле наноструктуры можно считать особым состоянием вещества (Бучаченко, 2003).

Пока в литературе не сформировано четкое отличие между терминами “кластер”, “наночастица”, “квантовая точка”. В целом термин “кластер” чаще используют для частиц, включающих небольшое число атомов, “наночастица” – для более крупных агрегатов, обычно при описании свойств металлов и углерода, “квантовая точка” – как правило, при описании частиц полупроводников, на свойства которых влияют квантовые ограничения движения носителей зарядов.

Обычно считается, что кластер – это группа из небольшого (счетного) переменного числа взаимодействующих частиц (атомов, молекул, ионов). Нижняя граница очевидна – это два, верхняя граница неотчетлива, но ясно, что она должна находиться в той области, где добавление еще одного атома уже не изменяет свойств кластера, и обычно это около тысячи частиц в группе. Различают свободные и стабилизированные кластеры. Во втором случае в структуре можно выделить тело кластера (собственно группу взаимодействующих частиц) и стабилизирующие элементы, например, оболочку из лигандов (Губин, 2000, Суздаев, 2001).

Выявление особенностей влияния размера частицы или количества атомов в ней на физико-химические свойства и реакционную способность представляет собой одну из наиболее фундаментальных проблем современной химии, и в конце 1990-ых годов в литературе появляется термин “нанохимия”, то есть выделяется область знания, исследующая получение, свойства и реакционную способность частиц и сформированных из них ансамблей, которые по крайней мере в одном из направлений имеют размер менее 10 нм.

Развитие новых методов исследования позволило получать информацию о частицах различных элементов Периодической системы, содержащих небольшое (меньше 100) число атомов, обнаруживающих необычные, трудно предсказуемые химические свойства, совершенно отличные от свойств частиц микроскопического размера и не описываемые на уровне ранее развитых представлений. Выявленные к настоящему времени закономерности позволяют говорить о некоем третьем измерении Периодической системы, понимая под этим параметр N (число атомов в кластере), которое можно рассматривать в качестве критического параметра, соответствующего проявлению наномасштабности.

Наночастицы можно рассматривать как специфические псевдомолекулы, обладающие избыточной энергией и высокой химической активностью. Для более близкого знакомства с такими частицами приведем одно из определений, относящихся к наночастицам металлов: “Металлическая наночастица – это находящийся в среде из легких атомов объект сферической формы, состоящий из 10-1000 атомов, имеющий диаметр 1-10 нм и соотношение между количеством поверхностных частиц и частиц в объеме равное и больше единицы ($N_{\text{пов.}}/N_{\text{объемн.}} \geq 1$)” (Губин, 2000). Подчеркнем, что говорить о наночастицах без упоминания среды, в которой они находятся, вряд ли целесообразно, поскольку у них резко увеличивается поверхностная энергия, и, соответственно, роль взаимодействия с окружением также возрастает. Наночастицы, диспергированные в газовой фазе, в аргоновой или метановой матрице, в полимере, в матрице другого металла, в полостях цеолита будут обладать разными свойствами. Если частица находится на поверхности твердого тела, влияние среды асимметрично, что не может не отразиться на строении и свойствах наночастицы. Хорошо организованная поверхность монокристалла оказывает структурирующее влияние на растущую на ней

частицу (эффект репликации). Часто первые два слоя атомов, непосредственно примыкающие к поверхности, повторяют ее строение, при этом форма наночастицы на поверхности меняется. Из-за избыточной поверхностной энергии общая энергия наночастиц такова, что они способны эффективно взаимодействовать с любыми химическими соединениями, включая инертные газы. В этом смысле справедливо утверждение, что для металлических наночастиц не существует инертной среды.

Применительно к наночастицам теряет смысл макроскопическое понятие фазы или твердого и жидкого состояний на основе представлений о наличии или отсутствии дальнего порядка взаимодействия, поскольку размеры наночастицы сопоставимы с областями ближнего порядка в жидкости.

Среди частиц, состоящих из десятков и сотен атомов наиболее стабильны (равновесны) те из них, которые содержат определенные числа атомов, которые принято называть магическими.

Существует 2 набора таких чисел. Один близок к совокупности чисел $2n^2$ электронов (n – главное квантовое число) в замкнутой (завершенной) электронной оболочке. Этот набор особо характерен для кластеров щелочных металлов (натрия и калия) и состоит из следующих чисел 2, 8, 20, 40, 50, 98, 138, 196, 260, 344, 440, 558 (Губин, 2000).

Другой набор магических чисел характерен для кластеров переходных металлов и определяется плотностью упаковки. Если число атомов в частице меньше 13, реализуется такая плотная упаковка, в которой каждый атом является поверхностным. При n больше 13 в кластере возникает два вида атомов – внутренние и поверхностные. При $n=13$ один внутренний атом координирует вокруг себя еще 12 с образованием икосаэдра – правильного двадцатигранника с 12 вершинами и 30 ребрами. Каждая его грань представляет собой правильный треугольник, в вершине которого сходятся 5 граней. Если это кластер оболочечного строения, то вокруг этих тринадцати наращиваются следующие, а число атомов в слое определяется совокупностью чисел $10m^2+2$ (m – число слоёв). Повышенная стабильность частиц в этом случае связана с тем, что такая структура обеспечивает образование максимального числа связей металл-металл и тем самым – минимальную поверхностную энергию системы (Ролдугин, 2000).

Среди нанообъектов с квантовыми ограничениями наиболее совершенными являются квантовые точки (quantum dots) – структуры с трехмерным квантовым ограничением. Отдельные образцы квантовых точек получают, вырезая из многослойной пленки электронным лучом столбики с основанием 10×10 нм. Квантовые точки называют также искусственными атомами (artificial atoms) или суператомами, хотя их размер достигает нескольких нанометров и состоят они из тысяч настоящих атомов. Такое название эти частицы получили потому, что в них движение электронов ограничено в трех направлениях и энергетический спектр полностью дискретный, как в атоме. Подобно настоящим атомам квантовые точки могут содержать один или несколько свободных электронов (один электрон - искусственный атом водорода, два – искусственный атом гелия и т.д.) (Смирнов, 1996). Если движение электронов в наноструктуре ограничено в двух направлениях, то перед нами квантовая проволока или нить (quantum wire), а если в одном – поверхность, состоящая из квантовых ям (quantum wells) (Демиховский, 1997).

Размерные эффекты

Напомним, что размеры нанообъектов лежат в интервале $1-10^6$ атомов на частицу. Эти величины соизмеримы с некоторыми характеристическими физическими параметрами, имеющими размерность длины (размер магнитных доменов, длина свободного пробега электрона, де-Бройлевская длина волны элементарных

возбуждений). Вследствие этого в соответствующих свойствах системы (магнитных, электронных, оптических и др.) наблюдаются определенные аномалии, т.е. возникают размерные эффекты (Сергеев, 2003).

Причинами появления размерных эффектов являются следующие обстоятельства:

1) Соизмеримость количества поверхностных и объемных атомов создает нескомпенсированность межатомных потенциалов. Отсюда следует нетождественность атомных, молекулярных, ионных кластеров при одинаковом размере и плотности атомов, “магические числа” в кластерах, возможность существования разных кристаллических решеток в одном кластере (так называемые “кентавры”) и т.п.

2) Кластер или любую наночастицу можно рассматривать как потенциальный ящик для захваченных электронов, где стенки ящика – поверхность кластера с резким скачком электростатического потенциала. В результате этого состояния электронов в кластере отличаются от их состояний в макроскопических безграничных систем. Эти состояния характеризуются своими зонными структурами и энергетическими расщеплениями, зависящими от размера потенциального ящика, т.е. размера частицы. Таким образом, свойства наночастицы есть функции не только природы вещества частицы, но и ее размера (Бучаченко, 2003).

В нанобъектах электроны демонстрируют свои квантовые свойства – электронные стоячие волны, свободный и коррелированный пробег электронов и др. Эффекты, связанные с квантовыми свойствами электронов в наночастицах, обуславливают их особые электрические, оптические и магнитные свойства.

Особенно впечатляют размерные оптические эффекты в полупроводящих нанокристаллах, (квантовых точках). При электронном возбуждении в них возникают экситоны – квазичастицы, представляющие собой слабосвязанную пару электрон-дырка. Время жизни экситона в наноструктурах заметно возрастает по сравнению с массивными полупроводниками. Это приводит к появлению экситонных спектров с резкими линейчатыми компонентами вплоть до комнатных температур. Минимальная энергия, необходимая для того, чтобы создать в квантовой точке экситон, определяется шириной так называемой энергетической щели E_g (аналог запрещенной зоны в массивных полупроводниках). Так как ширина энергетической щели зависит от размера частицы, набор пиков поглощения также зависит от него. В квантовой точке энергия, которая должна высвободиться при аннигиляции экситона, слишком велика, чтобы рассеяться в виде вибрационных колебаний решетки. Она высвобождается в виде испускания квантов света – фотонов. Излучательный распад с испусканием фотонов или люминесценция – наиболее вероятный канал сброса энергии в квантовых точках. Длина волны люминесценции больше длины волны поглощенного света и также зависит от размера частицы. По мере уменьшения размера кластера рекомбинационная люминесценция сдвигается в голубую область, т.е. область более высоких энергий. Классический пример – нанокристаллы CdSe в оболочке из одного-двух монослоев ZnS. При дискретном увеличении размера внутреннего ядра CdSe с 2,3 нм до 5,5 нм яркая голубая люминесценция меняет цвет на зеленый, желтый, оранжевый и, наконец, на ярко-красный (Nanoparticles, 2004).

Спектры поглощения малых металлических частиц характеризуются интенсивной широкой полосой в области видимого спектра, отсутствующей у массивных образцов. Эта полоса связана с коллективным возбуждением электронов проводимости (или как еще говорят, с поверхностными плазмонами) и её наличие обуславливает разнообразие цветовой гаммы дисперсий частиц металлов.

В практическом плане уникальные оптические свойства наночастиц используют для создания оптических фильтров, пленок, меток биомакромолекул, обратимых фоточувствительных фотохромных стекол, оптических переключателей, оптических ловушек и т.п.

Химические размерные эффекты – это явления, выражающиеся в качественном изменении химических свойств и реакционной способности в зависимости от количества атомов или молекул в частице вещества. Систематическое исследование химических размерных эффектов еще только начинается. Выявление закономерностей, управляющих активностью частиц размеров ~ 1 нм и меньше – одна из основных проблем нанохимии (Сергеев, 2003).

Следует подчеркнуть, что число атомов в частице, несомненно, является более фундаментальной характеристикой, чем сам по себе геометрический размер. Изучение физических и химических свойств наночастиц металлов свидетельствует об их определенной периодичности в зависимости от числа атомов в частице, ее формы и способа организации. В этой связи предпринимаются попытки создания электронной и геометрической таблицы кластеров и наночастиц по аналогии с Периодической системой химических элементов Д.И.Менделеева. Например, для кластеров натрия показано, что частицы Na_3 , Na_9 , Na_{19} являются одновалентными, Na_7 и Na_{17} галогеноподобны и обладают повышенной активностью, кластеры с завершенными электронными оболочками Na_2 , Na_8 , Na_{18} , Na_{20} имеют наименьшую активность. Для кластеров натрия, содержащих несколько тысяч атомов, также обнаруживается определенная периодичность в стабильности частиц. При $N < 1500$ преобладает упаковка в закрытые оболочки, подобные благородным газам (Нанотехнологии, 2002).

Изменение размера нанокристалла металла управляет переходом “металл-неметалл”, что наблюдается для частиц размером 1-2 нм и также может отражаться на их реакционной способности. С проблемой установления зависимости химических свойств от размера участвующих в реакции частиц связано также выявление закономерностей формирования наномасштабных твердых фаз в процессах кристаллизации. В этой области еще недостаточно развиты представления о том, сколько атомов того или иного элемента необходимо для самопроизвольного возникновения кристаллического зародыша, инициирующего образование наноструктуры.

На сегодняшний день практически открытым остается вопрос о влиянии формы наночастиц металлов на их химическую активность. Анализ активности частиц разной формы – одна из важных задач при экспериментальных и теоретических исследованиях кластеров. При этом интерес представляет не только переход от сферических частиц к стержневидным, но и частицы, имеющие одно и то же число атомов, но разную форму (например, сравнение активности тримеров в форме треугольника или линейной цепочки).

Как мы уже отмечали, в наночастицах значительное число атомов находится на поверхности, и с уменьшением размера частиц их доля растет. Соответственно, вклад поверхностных атомов в общую энергию системы тоже увеличивается. Это влечет за собой ряд термодинамических следствий, в частности зависимость от размера частиц таких характеристик вещества, как температура плавления, температура полиморфных превращений, увеличение растворимости и сдвиг химического равновесия (Сергеев, 2003).

Снижение $T_{\text{пл}}$ вещества в высокодисперсном состоянии по сравнению с массивным образцом, по-видимому, один из первых размерных эффектов, привлечших внимание исследователей. С уменьшением размера частицы температура плавления может понизиться на несколько сотен градусов, а для золота при переходе от компактного металла к частицам диаметром 2 нм она уменьшается на 1000°C . Такое уменьшение температуры плавления отражается и на химической активности металла. В последнее время для золота обнаружена аномально высокая реакционная способность его наноразмерных частиц, а в обычном состоянии оно весьма неохотно участвует в химических превращениях. Наночастицы золота, напротив, активны в реакциях

низкотемпературного горения, окисления углеводов, гидрирования ненасыщенных органических соединений, восстановления оксидов азота (Нанотехнологии, 2002).

Учет дисперсности при термодинамическом описании приводит к тому, что появляется дополнительная степень свободы – размер частицы, который можно рассматривать как некий эквивалент температуры, то есть для наномасштабных частиц возможны при стандартных условиях реакции, в которые вещество в компактном состоянии не вступает.

Примером специфического проявления термодинамических особенностей поведения веществ в наноразмерном состоянии является фазовый размерный эффект. Проявляется он в том, что при уменьшении размера частиц до 1-10 нм как в нано-, так и в микрокристаллах стабилизируются высокотемпературные фазы, при этом могут возникнуть и такие, которые вообще не характерны для данного вещества, в том числе аморфные (Уваров, 2001).

При изменении размеров частиц твердого вещества, участвующего в реакции, может меняться не только скорость процесса, но и сам механизм твердофазной реакции. Причиной этого может быть переход от гомогенных систем к гетерогенным, а размерный эффект в данном случае заключается в зависимости состава продуктов окисления от размера частиц реагентов. Примером несколько иного характера проявления размерного эффекта является наличие минимального размера частиц металлического серебра, с которого начинается химическое и физическое проявление фотографического изображения. При химическом проявлении, то есть обработке бромида серебра (I) раствором восстановителя, каталитическую активность проявляют кластеры, содержащие не менее 5 атомов серебра, которые образуются при агрегации атомарного серебра на поверхности. Существует и критический размер кристаллов серебра, при превышении которого происходит физическое проявление, то есть осаждение атомов металла из раствора на потенциальные центры кристаллизации. Минимальный размер таких кристаллов – 4 нм.

Каталитические свойства наночастиц так же, как и все их прочие свойства, весьма интересны и уникальны. В гетерогенном катализе существует сейчас новая стратегия, связанная с появлением сканирующих зондовых и туннельных микроскопов. Зонд (игла) такого микроскопа способен наносить любые атомы в любом количестве на любой топологической элемент поверхности – грань, ребро, террасу. Таким путем можно создавать каталитические нанореакторы и тестировать на них любые реакции. Можно вообразить себе набор, и очень обширный, самых разных чрезвычайно малых катализаторов, включающих известные, но разные числа атомов (опять же одинаковых или разных) на заданных подложках. Такой набор позволил бы осуществить быструю оценку эффективности катализаторов в различных реакциях. Подобного рода исследования в области каталитических реакций только начинаются, но перспективы их очевидны. Они расширяют фундаментальные знания о каталитических свойствах наносистем на молекулярном уровне, практическое использование которых позволит затем синтезировать новые избирательные катализаторы с заданными свойствами.

Управляя размером и формой наноструктур, можно придавать материалам совершенно новые физические характеристики, резко отличающиеся от характеристик обычных материалов. Исследования последних лет продемонстрировали важную роль наноструктур в различных областях науки и техники. Например, было обнаружено, что углеродные нанотрубки на порядок прочнее стали, имея при этом в 6 раз меньший удельный вес; наночастицы способны избирательно проникать в раковые клетки и поражать их; некоторые наноструктуры могут в миллион раз повысить быстродействие ЭВМ. Придавая материалам и системам принципиально новые качества, нанотехнология могла бы обеспечить прогресс во всех существующих областях деятельности, от автомобилестроения и компьютерной техники до принципиально новых методов

лечения, а также, возможно, привести к возникновению новых областей науки и техники.

Литература

- Бучаченко А.Л. (2003). Нанохимия – прямой путь к высоким технологиям нового века. *Успехи химии*, Т.72, № 5. С. 419.
- Goodhew P. (2006). Education moves to a new scale. *Nanotoday*, Vol.1, iss.2. P.40-43
- Губин С.П. (2000). Что такое наночастица? Тенденции развития нанохимии и нанотехнологии. *Росс.хим. журнал*, Т. 44, С.42
- Демиховский В. Я. (1997). Квантовые ямы, нити, точки. Что это такое? *Соросовский образовательный журнал*, №5. С. 80
- Нанотехнологии в ближайшем десятилетии. Прогноз направлений исследований. Под. ред. М.К.Роко, Р.С.Уильямса, П.Аливисатоса. (2002). Москва: Мир.
- Nanoparticles. From Theory to Application. Edited by Gunter Schmid. (2004) Wiley-vch.
- Ролдугин В.И. (2000). Квантоворазмерные металлические коллоидные системы. *Успехи химии*, Т. 59. С. 899.
- Сергеев Г.Б. (2003). Нанохимия. Москва: Из-во Московского ун-та.
- Сергеева. О.В. (2006). Приглашение в наномир. *Хімія. Проблеми викладання*, № 12. С. 13-22.
- Смирнов В.М. (1996). Химия наноструктур. Синтез, строение, свойства. Санкт-Петербург: Из-во С.-Петербургского ун-та
- Суздаев И.П., Суздаев П.И. (2001). Нанокластеры и нанокластерные системы: организация, взаимодействие, свойства. *Успехи химии*, Т. 70. С. 203
- Уваров Н.Ф., Болдырев В.В. (2001). Размерные эффекты в химии гетерогенных систем. *Успехи химии*, Т. 70. С. 307.

Summary

SMALL PARTICLES WITH LARGE PERSPECTIVES: WHAT IS IT?

Olga V. Sergeeva

Belarus State University, Republic of Belarus

The article (the first one from the suggested serial) deals with the main ideas, conceptions and terms of the new and rapidly developing sphere of human cognition and practice – nanotechnology. The nanochemistry problem field is determined and it's objects (clusters, nanoparticles, quantum dots) are briefly characterized as well as their very special properties. Nanochemistry is a new area of modern science. In the field of education the training courses considering interdisciplinary character of given area of a science are now developed.

Key words: chemical education, nanotechnology, nanochemistry, nanoparticles.

Received 14 June 2007; accepted 25 August 2007



Olga V. Sergeeva

Chemistry Department

Belarus State University

Leningradskaya Street, 14, BY-220050, Minsk, Republic of Belarus

E-mail: o_sergeeva@yahoo.com