

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра химии

О. Н. Каныгина, Е. В. Сальникова, Е. А. Осипова

ТИПЫ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 04.06.01 Химические науки

Оренбург
2019

УДК 544.1(076.5)
ББК 24.51я7
К 19

Рецензент – доцент, кандидат физико-математических наук А. Г. Четверикова

Каныгина, О. Н.
К 19 Типы низкоразмерных систем: методические указания /О. Н. Каныгина, Е. В. Сальникова, Е. А. Осипова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 30 с.

В методических указаниях приведены основные сведения о новых веществах (наночастицах, наноматериалах, низкоразмерных структурах и кластерах), проблемы получения и исследования строения которых связаны с квантовохимическими процессами. Авторы показывают современные проблемы, связанные с развитием этого научного направления, обусловленные как неустановившимися или неоднозначными понятиями и классификацией самих низкоразмерных систем, так и недостаточными сведениями об структурных параметрах.

Приведены примеры низкоразмерных структур неорганического и органического составов, указаны области их применения.

Методические указания по дисциплине «Основные типы низкоразмерных систем», предназначены для самостоятельной работы обучающихся по программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 04.06.01 Химические науки.

УДК 544.1(076.5)
ББК 24.51я7

© Каныгина О. Н.,
Сальникова Е. В.,
Осипова Е. А., 2019
© ОГУ, 2019

Содержание

Введение.....	4
1 Наночастицы в природе.....	7
2 Типы низкоразмерных систем.....	10
2.1 Неорганические низкоразмерные системы.....	10
2.2 Органические низкоразмерные системы.....	17
2.3 Кластеры.....	24
Список использованных источников.....	26
Приложение А (рекомендуемое) Иерархия структурных уровней вещества.....	28
Приложение Б (обязательное) Глоссарий для освоения терминологии.....	29

Введение

Учебным планом подготовки аспирантов очной формы обучения, по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки, предусмотрена дисциплина по выбору «Химия низкоразмерных систем», дополняющая научную информацию к основной дисциплине направленности «Математика и квантовая химия».

В настоящее время интерес к новому классу материалов в областях фундаментальной и прикладной науки, промышленности и бизнеса постоянно увеличивается, что обусловлено стремлением к миниатюризации изделий, получением материалов с уникальными свойствами (рисунок 1), развитием новых технологических приемов и методов, базирующихся на принципах самосборки и самоорганизации, практическим внедрением современных приборов исследования и контроля наноматериалов, развитием и внедрением новых технологий.

В связи с изложенными причинами необходимо создание и развитие профессионального языка, эволюция известных терминов и образование новой терминологии. В первую очередь, требуется классификация наноматериалов. Одной из наиболее часто используемых классификаций наноматериалов является разделение их на четыре основные категории.

Первая, включает материалы в виде твердых тел, размеры которых в одном, двух или трех пространственных координатах не превышают 100 нм. Это наноразмерные частицы (нанопорошки), нанопроволоки и нановолокна, очень тонкие пленки (толщиной менее 100 нм), нанотрубки и тому подобное.

Вторая категория – это малоразмерные изделия с характеризующим размером в примерном диапазоне от 1 мкм до 1 мм (проволоки, ленты, фольги); содержащие наноматериалы с большим числом структурных элементов или наноматериалы в виде микроизделий.

Третья категория – объемные наноматериалы размером более нескольких миллиметров, состоящие из кристаллитов размером от 1 до 100 нм.

Четвертая категория – композиционные материалы, содержащие в своем составе компоненты из наноматериалов. В качестве компонентов могут выступать композиты с наночастицами и (или) нановолокнами, изделия с измененной ионной имплантацией, поверхностным слоем в тонких пленках, а также композиционные материалы со сложным использованием наноконпонентов.



Рисунок 1 – Многообразие наноструктур [8]

Процессы, в результате которых происходит формирование наноматериалов – это кристаллизация, рекристаллизация, фазовые превращения, интенсивные внешние воздействия и другие. Наночастицы материалов могут иметь сферическую, гексагональную, хлопьевидную, пластинчатую, игольчатую формы или аморфную структуру.

Для получения наноматериалов используют химические методы: химический синтез; осаждение соединений металлов из растворов и солей; гель-метод, заключающийся в осаждении из водных растворов металлических соединений в виде гелей, а также способ восстановления и термического разложения.

К физическим методам получения наноматериалов относят: способы испарения и конденсации; газофазный синтез; способ электрического взрыва проводников. Кроме того, используются и механические методы – измельчение материалов в мельницах и дезинтеграторах различных типов [3].

В настоящих методических указаниях уделено основное внимание первым двум группам наноматериалов (низкоразмерным структурам (системам)).

Низкоразмерные структуры – это новый тип наноструктурных материалов: квантовые ямы, квантовые нити и квантовые точки. Они получаются при последовательном уменьшении размеров образца. Эти наноструктуры являются элементарными «кирпичиками», из которых строятся все устройства нанoeлектроники, нанофотоники, наномеханики. В них реализуется основное уникальное свойство наномира – суперминиатюризация.

Вторым особым свойством наноструктур является большая удельная площадь поверхности, открывающая новые возможности каталитической химии. Вещество в наноматериалах находится в особом измененном «наноразмерном» состоянии, в котором проявляются квантовомеханические эффекты в объемах, соизмеримых с так называемыми, корреляционными радиусами эффектов (например, длиной свободного пробега электронов, фононов, размерами магнитного момента).

1 Наночастицы в природе

Наночастица – квазинульмерный (0D) нанообъект, у которого все характерные линейные размеры имеют один порядок величины; как правило, наночастицы имеют сфероидальную форму. Способы образования наночастиц в природе разнообразны и отражены в одноименной схеме (рисунок 2).

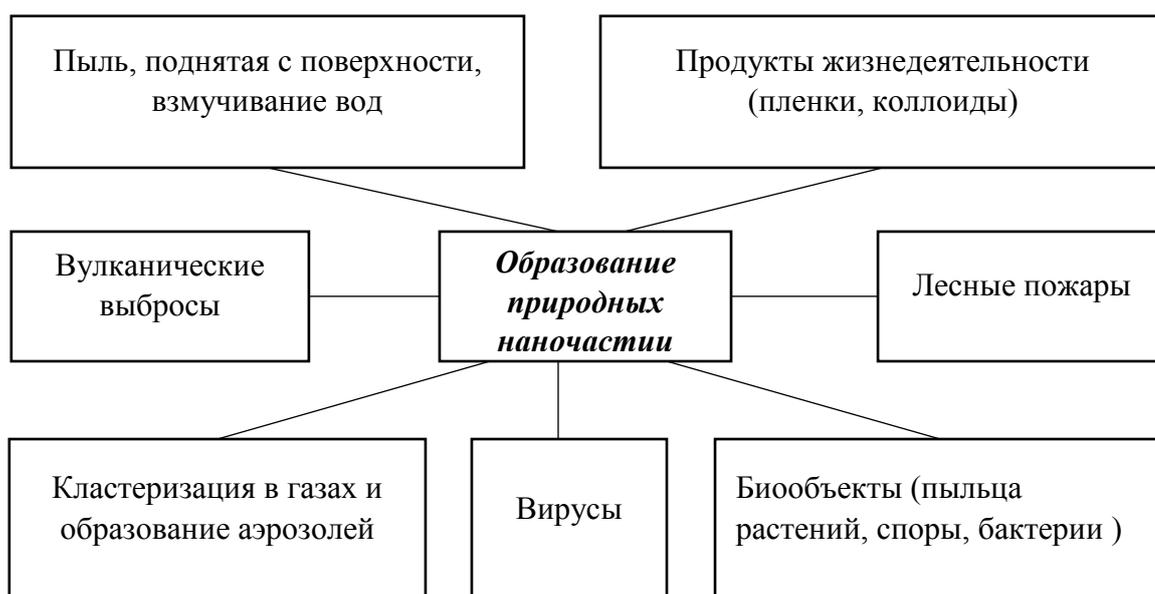


Рисунок 2 – Способы образования природных наночастиц

Наночастицы в атмосфере

При сгорании дров в домашнем камине образуются фуллерены или нанотрубки. Достаточно одного лесного пожара, чтобы образовалась целая гамма фуллеренов, нанотрубок, графенов. Самыми крупными поставщиками наночастиц на большие высоты в атмосфере служат вулканы (вулканическая пыль).

Один из источников образования наночастиц – пылевые бури Сахары, которые разносят столько песка над океаном, что он виден из космоса. Пыль Сахары состоит из наномасштабных смешанных оксидов кремния, алюминия, титана, железа, калия и кальция. Пыль Сахары содержит железистые соединения, которые удобряют

морские регионы, в которых она оседает. В результате этого быстро растущие водоросли производят диметилсульфид, молекулы которого образуют в воздухе мелкие кристаллы, тоже наночастицы.

Наночастицы литосферы.

Шунгит – уникальный природный материал. Он необычен по происхождению, структуре входящего в их состав углерода и структуре самих пород. Шунгитовый углерод – это окаменевшая древнейшая нефть, или аморфный, некристаллизирующийся, фуллереноподобный углерод. Его содержание в породе около 30 %, а 70 % составляют силикатные минералы – кварц, слюды. Кроме углерода в состав шунгита входят также SiO_2 (57,0 %), TiO_2 (0,2 %), Al_2O_3 (4,0 %), FeO (2,5 %), MgO (1,2 %), K_2O (1,5 %), S (1,2 %).

Основу её представляет многослойная глобула размером около 10 нм (рисунок 3). Такая структура очень активная в окислительно-восстановительных реакциях, обладающая сорбционными и каталитическими свойствами. Также, она адсорбционно активна по отношению к бактерицидным клеткам, фагам, патогенным сапрофитам, что обуславливает бактерицидные свойства. Частицы шунгита, независимо от их размера, обладают биполярными свойствами. Следствием этого является высокая адгезия и способность шунгита смешиваться без исключения со всеми веществами. Например, при производстве литейного чугуна 1 тонна шунгита заменяет 1,3 тонны кокса, а при очистке сточных вод обеспечивает высокую поглощаемость нефтепродуктов.

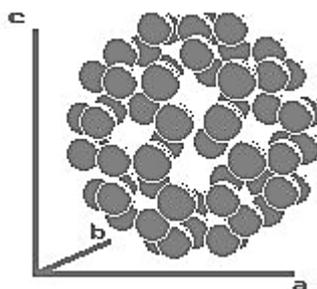


Рисунок 3 – Схема многослойной глобулы шунгита

Наночастицы монтмориллонита (рисунок 4), трехмерные (3D) нанообъекты, содержащиеся в природных глинах – пластинки размерами $1 \times 10 \times 100$ нм используют в качестве адсорбентов для очистки воды; присадок к маслам в нефтегазовой и автомобильной промышленности.

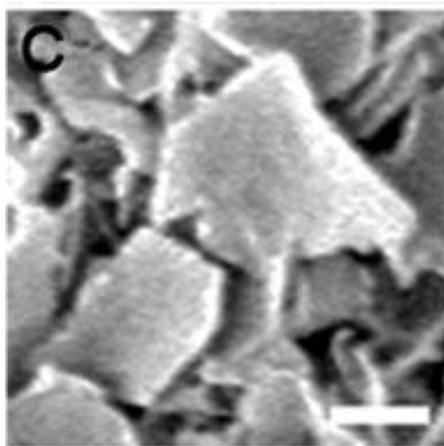


Рисунок 4 – Наночастицы монтмориллонита, увеличение 10 000 раз

Наночастицы в гидросфере.

В гидросфере наночастицы образуются, большей частью, в вершинах, так называемых «черных курильщиков», где высокие уровни наноминерализации связаны с зонами разгрузки флюидно-гидротермальных горячих источников, смешивающихся с холодной водой. Наночастицы гидротермальных растворов (их температура около $400\text{ }^{\circ}\text{C}$), соединяясь с холодной водой, обращаются в видимые частицы из которых образуются рудные месторождения.

Частицы железа, находящиеся в морской воде, тоже собираются в наночастицы в виде магнитотактических бактерий. Они образуют цепи из наномасштабных кристаллов магнетита, которые действуют как компасные стрелки, направляющие бактерии по наклонному геомагнитному полю в различные слои воды. Опускаясь на дно, в таком количестве, бактерии располагаются параллельно к имеющемуся геомагнитному полю, тем самым, навсегда фиксируя направление месторождений железной руды.

2 Типы низкоразмерных систем

Наноструктуры являются элементарными “кирпичиками”, из которых строятся все устройства наноэлектроники, нанофотоники, наномеханики. Важно, что для исследований низкоразмерная система электронов, толщиной порядка Фермиевской длины волны (от 10 до 30 нм), является искусственным макроскопическим квантовым объектом, идеальным для фундаментальных исследований. Говоря о низкоразмерных системах, следует учесть, что их названия зависят от конкретной задачи, и, соответственно, могут быть очень разными.

В этой работе предпринята попытка классифицировать и обобщить доступные сведения о низкоразмерных частицах и системах, условно разделенных авторами на неорганические и органические.

2.1 Неорганические низкоразмерные системы

Неорганические низкоразмерные системы представлены: полупроводниковыми, магнитными, двумерными наноструктурами (таблица 1).

Таблица 1 – Неорганические наночастицы и низкоразмерные системы

Неорганические наночастицы.	
Магнитные наночастицы	
Основные сведения	Применение
1	2
1. Наночастицы железа Fe^0 сферической формы, диаметром 80 (± 5) нм; получают в Институте энергетических проблем химической физики РАН, методом высокотемпературной конденсации.	Применяют в медицине для доставки лекарств в магнитном поле, для визуализации и лечения МРТ, для очистки грунтовых вод органическими загрязнителями; для предпосевной обработки семян растений в качестве микроудобрений.
2. Наночастицы магнетита Fe_3O_4 ($FeO \cdot Fe_2O_3$) шириной от 50 до 80 нм и высотой от 4 до 10 нм получают методом химического взаимодействия гидрата аммиака («ЧДА») с растворами солей $FeCl_2$ и $Fe_2(SO_4)_3$ («ХЧ»).	Применяют в биомедицине, в сочетании с магнитно-резонансной томографией дают контрастные изображения опухоли, для транспорта лекарств, в магнитной сепарации, в сельском хозяйстве для стимуляции роста растений.
Неорганические низкоразмерные системы	
Полупроводниковые наноструктуры	
Квантовые точки	
Нанообъекты, в которых движение носителей заряда квантовано во всех трех направлениях. Имеют	Дисплеи на квантовых точках, маркеры в медицине, физическая модель для изучения поведения реальных атомов

Продолжение таблицы 1

1	2
<p>дискретный энергетический спектр (искусственный атом). Основные физические явления в квантовых точках: одноэлектронные и однофотонные явления. Методы получения те же, что и для квантовых ям, использование прецизионной литографии для создания квантовых точек из квантовых ям.</p>	<p>вещества. В солнечных батареях – материал, преобразующий солнечную энергию в постоянный электрический ток. Лазеры и светодиоды в ближнем ИК диапазоне, фотоприемники для среднего ИК диапазона, однофотонные приемники, однофотонные генераторы, одноэлектронные транзисторы.</p>
<p>Квантовые проволоки</p>	
<p>Системы, в которых движение носителей заряда квантовано в двух направлениях. Основные физические явления в квантовых проволоках: квантование проводимости, сильно коррелированный электронный транспорт. Основные методы получения квантовых проволок те же, что и квантовых ям, плюс использование прецизионного травления или специальных затворов.</p>	<p>Используют в полупроводниковых лазерах. Приборных применений пока нет.</p>
<p>Квантовые ямы</p>	
<p>Системы, в которых имеется размерное квантование</p>	<p>Высокочастотные полевые транзисторы с высокой</p>

Продолжение таблицы 1

1	2
<p>движения носителей заряда в одном направлении. Основные физические явления в квантовых ямах: размерное квантование электронного спектра, квантовый эффект Холла (целочисленный и дробный), при специальном приготовлении очень высокая подвижность электронов. Основные методы получения квантовых ям на гетероструктурах: металлоорганическая газовая и молекулярно-пучковая эпитаксия.</p>	<p>подвижностью электронов, полупроводниковые гетеролазеры и светодиоды, от ближнего ИК до голубого света, лазеры дальнего ИК диапазона, параметрические источники света среднего ИК диапазона, фотоприемники среднего ИК диапазона, примесные фотоприемники дальнего ИК диапазона, приемники дальнего ИК диапазона на квантовом эффекте Холла, модуляторы в ближнем ИК диапазоне.</p>
<p>Структуры с туннельно-прозрачными барьерами (системы квантовых ям и сверхрешетки)</p>	
<p>Физические явления в системах: резонансное туннелирование; формирование минизонного спектра в сверхрешетках периодических системах, содержащих квантовые ямы, разделенные туннельно-прозрачными барьерами; нелинейные электрические и оптические явления в сверхрешетках. Методы выращивания те же, что и для квантовых ям.</p>	<p>Резонансно-туннельные диоды (генераторы и смесители в гигагерцовом и терагерцовом диапазонах); мощные генераторы и смесители на сверхрешетках: каскадные лазеры среднего и дальнего ИК диапазонов.</p>

Продолжение таблицы 1

Фотонные кристаллы	
1	2
<p>Системы с зонным спектром для фотонов. Основные физические явления: полное отражение света в определенном диапазоне частот, резонансные фотонные состояния. Существует несколько методов выполнения фотонных кристаллов, но все они пока несовершенны.</p>	<p>Возможные приборные применения: эффективные лазеры с низкими пороговыми токами, системы управления световыми потоками.</p>
Магнитные наноструктуры	
<p>1. Эффект гигантского магнитосопротивления заключается в изменении сопротивления многослойной структуры из сверхтонких ферромагнитных и диамагнитных слоев при смене ферромагнитного упорядочения в структуре на антиферромагнитное. Многослойные структуры – новый тип доменной структуры, где роль доменов играют ферромагнитные пленки, а доменными стенками являются пленки диамагнетика.</p>	<p>Этот эффект находит свое применение при создании новых датчиков магнитного поля, а также при разработке сред для сверхплотной записи информации.</p>

Продолжение таблицы 1

1	2
<p>2. Искусственные кристаллы, содержащие магнитные кластеры Mn₁₂ и Fe₃. Магнитный момент кластеров равен 10 магнетонам Бора (промежуточное значение между магнитным моментом атомов и макроскопических частиц). Обменное взаимодействие между кластерами отсутствует, а магнитная анизотропия высока.</p>	<p>Функция: туннелирование магнитного момента в сверхмалых ферромагнитных частицах. Изучение этих процессов представляется интересным и важным с точки зрения разработки элементной базы квантовых компьютеров. Появляется возможность квантовых переходов между магнитными равновесными состояниями в кластерах.</p>
<p>Двумерные структуры (тонкие пленки)</p>	
<p>1. Искусственные одномерные кристаллы из пленок нанометровой толщины. Определяются в наиболее коротковолновой части диапазона от 0,01 до 0,02 нм. Управление излучением зависит от материалов слоев: диэлектрик, полупроводник, металл, сверхпроводник.</p>	<p>Рентгеновские зеркала позволяют фокусировать излучение синхротронов или рентгеновских трубок или формировать параллельные пучки; увеличивают эффективность рентгеновских трубок в 30–100 раз. Тонкие пленки аморфного кремния, применяются в качестве солнечных элементов.</p>
<p>2. В диапазоне от 0,6 до 6 нм лежит характеристическое излучение легких элементов от бора до фосфора.</p>	<p>Рентгеновские зеркала для исследования спектров в приборах элементного анализа материалов. Рентгеновская многослойная оптика применяется для формирования фильтрации и</p>

1	2
В области от 10 до 60 нм лежат линии излучения солнечной плазмы.	управления поляризацией в синхротронных источниках.
3. Электроизоляционные пленки представляют собой химические покрытия, полученные из труднорастворимых солей с помощью специальных растворов. Ситаллы – («ситалл» – сокращение от слов «силикат» и «кристалл») – продукт частичной кристаллизации стекломассы, в которую кроме обычных оксидов вводят тонкодисперсные примеси, служащие для образования центров кристаллизации.	Для изоляции алюминиевых проводов и лент, пленочных электролитических конденсаторов, элементов интегральных схем используют пленки оксидов алюминия Al_2O_3 , тантала Ta_2O_5 , титана TiO_2 , ниобия Nb_2O_5 , кремния SiO_2 , германия GeO и другие.

2.2 Органические низкоразмерные системы

Фуллереноподобные материалы (таблица 2).

Графит, алмаз и не всеми признанный карбин, долгое время считались основными аллотропными состояниями углерода. Их применяли во многих отраслях промышленности и техники, в том числе в микро- и оптоэлектронике. За десять лет до конца XX века были обнаружены сначала в космосе, а потом получены в лаборатории новые молекулярные формы углерода – фуллерены и фуллереноподобные индивидуальные вещества и материалы. Самоорганизация этих структур происходит повсюду, а свойства и структура этих материалов настолько разнообразны и интересны, что фуллереновые материалы начинают широко применять в промышленности: от микро- и наноэлектроники до эффективных медицинских препаратов.

Полимерные наноструктуры.

К молекулярным наноструктурам относятся индивидуальные молекулы и наноразмерные ансамбли молекул, характеризующиеся, как правило, сложной пространственной конфигурацией, которая характерна в первую очередь для молекул органических соединений. Наиболее распространенными разновидностями этих наноструктур являются супрамолекулярные ассоциаты, биомолекулы и биомолекулярные комплексы, мицеллы и липосомы.

Многообразие органического мира хорошо известно (около 2 млн. синтезированных соединений, и это количество непрерывно растет) от «полунеорганических» комплексов (углеродные кластеры, металлоорганика) до биологических объектов (ДНК, геммы). С точки зрения материалов для нанотехнологии и молекулярной электроники условно можно выделить три основных класса: полимеры, молекулярные ансамбли и единичные молекулы, последние называются также «умные» или «функциональные» молекулы.

Таблица 2 – Органические низкоразмерные системы

1. Фуллерены	
Основные сведения	Применение
1	2
<p>Они образуют молекулярно-кристаллические твердые тела, часто вследствие большого размера и высокой симметрии своих молекул, пластические кристаллы без температуры плавления. Они образованы молекулами C_{2n}, имеющими форму либо сфер, либо эллипсов, хотя возможны их другие комбинации (полусферы с цилиндрами из углерода). Возможны многослойные сферы или эллипсы ("оолитовые" или "луковичные" структуры). Размер молекул главного представителя фуллеренов составляет 1 нм, и в растворе молекулы обладают свойствами броуновской частицы.</p>	<p>Аккумуляторы и электрические батареи, в которых используются добавки фуллеренов, их основой являются литиевые катоды, содержащие интеркалированные фуллерены. Фуллерены также используют в качестве добавок для получения искусственных алмазов методом высокого давления. При этом выход алмазов увеличивается до 30 %. Нашли фуллерены применение и в качестве добавок в интумесцентные (вспучивающиеся) огнезащитные краски. За счёт чего краска под воздействием температуры при пожаре вспучивается, образуя достаточно плотный пенококсовый слой, в несколько раз увеличивающий время нагревания до критической температуры защищаемых конструкций. Фуллерены и их различные химические производные используются в сочетании с полисопряжёнными полупроводящими полимерами для изготовления солнечных элементов.</p>

Продолжение таблицы 2

2. Углеродные нанотрубки	
1	2
<p>Они образованы из свернутых по различным направлениям графитовых плоскостей и закрыты на концах сетчатыми углеродными полусферами. Такие "графитовые" нанотрубки могут быть однослойными и многослойными. Последние могут быть переведены, окислением и травлением, в однослойные. Углеродные нанотрубки могут иметь разветвления и изгибы. В этом случае они теряют исходную "графитовую" структуру и не называются "графитовыми". Однослойные нанотрубки имеют размеры от 1 до 10 нм в диаметре и длину от 100 до 1000 нм и более, а многослойные имеют диаметры и длину в 10–100 раз больше. Твердые тела могут быть образованы из жгутов нанотрубок или коллинеарных (но более коротких) образований. Одностенные углеродные нанотрубки являются универсальной</p>	<p>Механические применения: сверхпрочные нити, композитные материалы. Применение в микроэлектронике: транзисторы, нанопровода, прозрачные проводящие поверхности. В оптике: дисплеи, светодиоды.</p> <p>Для создания соединений между биологическими нейронами и электронными устройствами в новейших нейрокомпьютерных разработках. В качестве капилляров: капсулы для активных молекул, хранение металлов и газов, нанопипетки.</p> <p>Теоретически, могут держать огромный вес – до тонны на квадратный миллиметр (трос для космического лифта). Но получить достаточно длинные углеродные трубки с толщиной стенок в один атом пока не удастся, поэтому используют нити, сплетённые из относительно коротких нанотрубок, что уменьшает итоговую прочность.</p> <p>Путём введения парафина в скрученную нить из нанотрубок, международной команде ученых из университета Техаса,</p>

Продолжение таблицы 2

1	2
<p>проводящей добавкой и миниатюрными датчиками для обнаружения молекул в газовой среде или в растворах, мониторинга окружающей среды, в военных, медицинских и биотехнологических применениях.</p>	<p>удалось создать искусственную мышцу, которая в 85 раз сильнее человеческой. Могут применяться для выработки энергии из солнечного света.</p>
<p>3. Наполненные фуллерены (эндопроизводные)</p>	
<p>Наполнением могут быть молекулы инертных или других газов, небольшие органические и неорганические молекулы, атомы металлов (щелочных, щелочноземельных, лантанидов и др.). Несмотря на трудности получения и малый выход таких производных, присущие им свойства заставляют исследовать их синтез и возможные применения. Эти производные в большинстве своем имеют крайне низкие потенциалы ионизации по сравнению с металлами, и, по-видимому, обладают металлическими свойствами.</p>	<p>Встроив самый устойчивый из фуллеренов (он называется C₆₀) в молекулу воды, учёным удалось создать водную среду, очень похожую на среду в здоровых клетках организма. Вода со встроенным фуллереном нейтрализует свободные радикалы, то есть является антиоксидантом.</p>

Продолжение таблицы 2

4. Наполненные углеродные нанотрубки	
1	2
<p>Нанотрубки, интеркалированные (заполненные) эндоэдральными молекулами фуллеренов, называются «стручки». Однослойные углеродные нанотрубки могут быть заполнены эндофуллеренами C_{60}, C_{70} и C_{80}.</p>	<p>В стручках изменяется электронная структура молекулы металлофуллерена. Уменьшается равновесное расстояние между атомами La в молекуле $La_2@C_{80}$, заключенной внутри нанотрубки.</p>
5. Пленки	
<p>Плѐнки Ленгмюра–Блоджетт; моно- и мультимолекулярные плѐнки с необычными оптическими, электрическими и акустическими свойствами. «ЛБ-пленки» – хорошо упорядоченные монокристаллические молекулярные пленки заранее известной толщины могут размещаться на поверхности подложек даже из не монокристаллического материала (стекло, плавный кварц, золото, серебро, окисленный алюминий).</p>	<p>ЛБ – пленки применяют в виде элементов микро- и оптоэлектроники, при создании химических сенсоров, фото- и электронорезистов высокого разрешения и т.п. Высокая проводимость пленок Ленгмюра–Блоджетт используется использования в тонкопленочных структурах биосенсорных устройств.</p>

Продолжение таблицы 2

6. Полимеры	
1	2
Диэлектрические, оптические и люминесцентные свойства различных поли- и олигомеров.	Используют в технике и электронике, они стоят ближе всего к рынку и экономическому эффекту.
7. Молекулярные ансамбли	
Агрегаты на основе порфиринов и других амфифильных молекул, получаемые из растворов. Супрамолекулярная (надмолекулярная) организация сложна, обусловлена клеточным транспортом. Исследуются наноразмерные молекулярные стержни и проволоки в том числе в качестве интерфейса между неорганическими материалами (например, двумя металлическими электродами).	Сенсоры, перспективные передающие материалы при литографии, также для изучения электропереноса вдоль контура сопряжения молекулы. Чувствительность и уникальная избирательность систем к внешним воздействиям (свет, атмосфера, вибрация) позволяет использовать их в различных сенсорах, в том числе со смешанной электронно-ионной проводимостью.
8. Единичные молекулы	
Жидкокристаллические дисплеи, технологии CD-R, фотопреобразователи, сенсоры и другие устройства на органических материалах хорошо известны и постепенно (хотя и медленно из-за торможения со	Конструируются молекулярные наномашинны и наномоторы (роторы), динамические молекулярные переключатели, транспортировщики энергии, устройства распознавания, хранения информации. Наибольшие практические перспективы

Продолжение таблицы 2

1	2
<p>стороны уже широко инвестированного «силиконового» и GaAs-ного приоритета) приходят на рынок, то одномолекулярные устройства в реальном производстве отсутствуют.</p>	<p>имеют исследование и модификация соединений с высокой стабильностью и способностью интегрироваться в разработанные технологические процессы, наиболее известные это фталоцианины, фуллерены, политиофены и полиарены.</p>

2.3 Кластеры

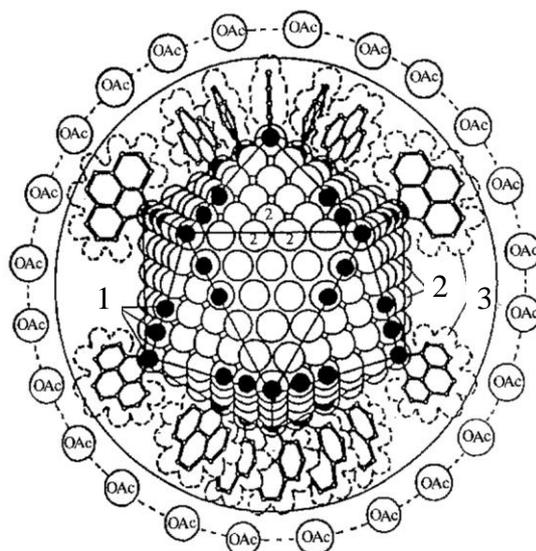
Кла́стер (англ. cluster – скопление, кисть, рой) – объединение нескольких однородных элементов, которое может рассматриваться как самостоятельная единица, обладающая определенными свойствами.

Свойства кластеров кардинально отличаются от свойств макроскопических объемов материалов того же состава. Из нанокластеров можно целенаправленно конструировать новые материалы с заданными свойствами и использовать их в каталитических реакциях, для разделения газовых смесей и др. Кластеры характеризуются макроскопическими параметрами, которые по мере увеличения в нем числа частиц приближаются к соответствующим характеристикам дисперсной конденсированной фазы.

В химии и материаловедении под кластерами чаще всего имеют в виду одно из промежуточных по размерам состояний вещества между атомом (молекулой, ионом) и твёрдым телом (наночастицей), при этом свойства наноструктур определяются не только размером кластеров, но и способами их организации или самоорганизации в нанокластерную структуру, в которой кластеры выступают в роли отдельных атомов.

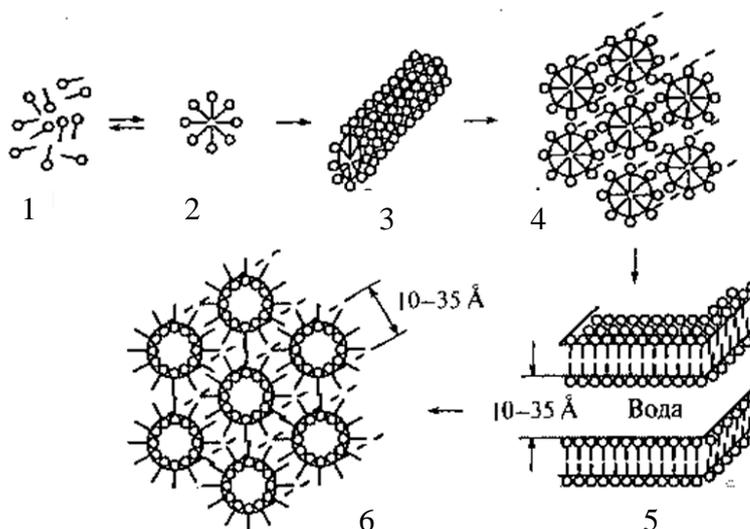
Молекулярный кластер (рисунок 5) – это многоядерное комплексное соединение, в основе структуры которого находится окруженный лигандами остов из атомов металла. Кластером считается ядро, включающее больше двух атомов. Молекулярные лиганды кластеров образуются из металлокомплексных соединений в результате проведения химических реакций в растворе.

Коллоидный кластер (рисунок 6) представлен наноструктурами, возникающими в растворах с участием ПАВ. Например, мицеллы – это агрегаты поверхностно-активных веществ в коллоидном растворе, состоящие из большого количества амфифильных молекул.



1 – атомы Pd поверхностного слоя металлоостова, связанные с бидентатно координированными лигандами phen; 2 – атомы Pd поверхностного слоя металлоостова, не связанные с лигандами phen; 3 – лиганды phen.

Рисунок 5 – Гигантский кластер палладия



1 – мономер; 2 – мицелла; 3 – цилиндрическая мицелла; 4 – гексагонально упакованные цилиндрические мицеллы; 5 – ламелярная мицелла; 6 - гексагонально упакованные обратные мицеллы.

Рисунок 6 – Наноструктуры, возникающие в растворах с участием ПАВ

Список использованных источников

1. Алымов, М. И. Методы получения и физико-механические свойства объемных нанокристаллических материалов / М. И. Алымов, В. А. Зеленский. – М.: МИФИ, 2005. – 52 с.
2. Андриевский, Р. А. Наноструктурные материалы: учеб. пособие / Р. А. Андриевский, А. В. Рагуля. – М.: Академия, 2005. – 117 с.
3. Девятов, Э. В. Основы физики низкоразмерных систем и режима квантового эффекта Холла: метод. пособие для студентов / Э. В. Девятов. – Черноголовка, 2014. – 25 с. – Режим доступа: <http://www.kapitza.ras.ru>.
4. Иванова, В.С. Введение в междисциплинарное наноматериаловедение / В. С. Иванова. – М.: «Сайнс-Пресс», 2005. – 208 с.
5. Ковнеристый, Ю. К. Объемно-аморфизирующиеся металлические сплавы и наноструктурные материалы на их основе / Ю. К. Ковнеристый // Металловедение и термическая обработка, 2005. – №7. – С. 17
6. Колмаков, А. Г. Анализ связи структурных изменений и механических свойств металлических материалов при модификации поверхности с использованием мультифрактальных представлений: дис. ... д-ра техн. наук / А. Г. Колмаков.– М.: ИМЕТ им. А. А. Байкова РАН, 2005. – 376 с.
7. Колмаков, А. Г. Влияние магнетронного покрытия из алюминия на механические свойства мартенситно-старяющей стали / А. Г. Колмаков, В. В. Геров, Е. Е. Баранов // Деформация и разрушение материалов, 2005. – №10. – С. 7-12.
8. Нанотехнологии. Азбука для всех / Под ред. Ю. Д. Третьякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 368 с.
9. Amorusoa, S. Synthesis of nickel nanoparticles and nanoparticles magnetic films by femtosecond laser ablation in vacuum / S. Amorusoa, G. Ausaniob, C. de Lisioa // Applied Surface Science, 2005. – V. 247. – P. 71-75.

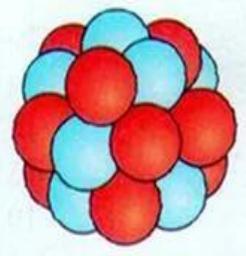
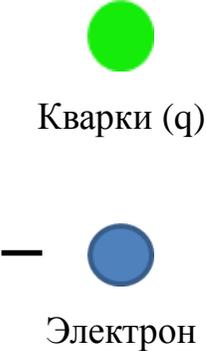
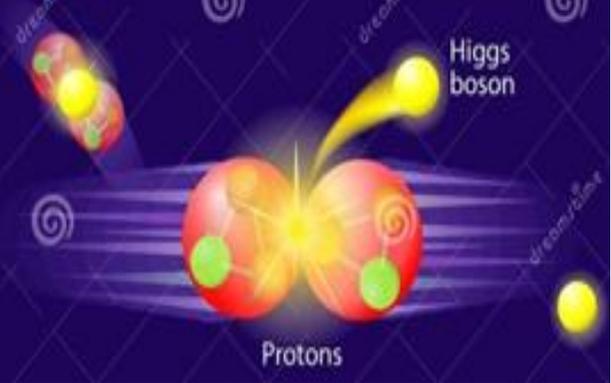
10. Cappellia, E. Surface characterisation of nano-structured carbon films deposited by Nd:YAG pulsed laser deposition / E. Cappellia, C. Scilletta, S. Orlandob, et al // *Thin Solid Films*, 2005. – V.482. – P. 305–310.
11. Caricatoa, A. P. Excimer pulsed laser deposition and annealing of YSZ nanometric films on Si substrates / A. P. Caricatoa, G. Baruccab, A. Di Cristoforob // *Applied Surface Science*, 2005. – V. 248. – P. 270-275.
12. Charitidis, C. Nanomechanical and nanotribological properties of carbon based films / C. Charitidis, S. Logothetidis // *Thin Solid Films*, 2005. – V. 482. – P. 120–125.
13. Hsieh, C-T. Influence roughness on water- and oil-repellent surfaces coated with nanoparticles / C-T. Hsieh, J-M. Chen, R-R. Kuo // *Applied Surface Science*, 2005. – V. 240. – P. 318–326.
14. Ivanov, S.V. Surface control of cooperative phenomena in nanostructured materials with quantum dots / S.V. Ivanov, A.G. Gladyshev, A.V. Kamanin, A.G. Kolmakov // *Phys.stat.sol.(c)*, 2005. – V. 2. – №6. – P. 1912-1916.
15. Koba, S. Nanocrystalline Sm–Fe composites fabricated by pulse laser deposition at 157 nm / S. Koba, K. Žužeka, E. Sarantopoulou // *Applied Surface Science*, 2005. – V. 248. – P.349-354.
16. Toth, A. Nanomechanical properties of silicon-, oxygen- and nitrogen-containing a-C:H films prepared by RF plasma beam CVD / A. Toth, M. Mohai, T. Ujvari, I. Bertoti // *Thin Solid Films*, 2005. – V. 482. – P. 188–191.
17. Qina, D.-H. Magnetic domain structure in small diameter magnetic nanowire arrays / D.-H. Qina, H.-L. Zhang, C.-L. Xua // *Applied Surface Science*, 2005. – V. 239. – P. 279–284.
18. Yoon, J. Vibration and instability of carbon nanotubes conveying fluid / J. Yoon, C.Q. Ru, A. Mioduchowski // *Composites Science and Technology*, 2005. – V. 65. – Is.9. – P. 1326-1336.

Приложение А

(рекомендуемое)

Иерархия структурных уровней вещества

Таблица А.1 – Иерархия структурных уровней вещества

10^{-10} м	$10^{-14} \dots 10^{-15}$ м	10^{-15} м	10^{-18} м	Бозон Хиггса
 <p>электрон</p> <p>протон</p> <p>нейтрон</p> <p>ядро</p> <p>Атом</p>	 <p>Ядро</p>	 <p>Нейтрон</p> <p>Протон</p> <p>Глюоны</p>	 <p>Кварки (q)</p> <p>Электрон</p>	 <p>Higgs boson</p> <p>Protons</p>

Приложение Б

(обязательное)

Глоссарий для освоения терминологии

1. Атомно-силовая микроскопия
2. Аэрогели
3. Аэрографит
4. Биостекла
5. Биокерамика
6. Биомиметика
7. Графен, графин
8. Дендримеры
9. Квантовые точки, ямы
10. Квантовые проволоки
11. Кластер
12. Клеточные биосенсоры
13. Коллоидные частицы
14. ЛБ - пленки
15. Мембрана
16. Механохимический синтез
17. Микроэмульсии
18. Мицеллы
19. Молекулярные машины
20. Морфологический дизайн
21. Мультиферроики
22. Наножидкость
23. Нанокompозиты
24. Наноэлектроника
25. Нематики

26. Пенометаллы
27. Плазмохимический синтез
28. Пористый кремний
29. Пористые металлоорганические каркасы, MOF
30. Самосборка низкоразмерных структур
31. Сверхрешетки
32. Селективные структуры
33. Смектики
34. «Стручковые» наноструктуры
35. Тонкие органические пленки
36. Углеродные нанотрубки
37. Фуллерены, фуллериты
38. Хиральная конфигурация
39. Холестерики
40. Эндофуллерены