



Eureka

ОТКРЫТИЯ,

Виктор Балабанов
Иван Балабанов

НАНОТЕХНОЛОГИИ
ПРАВДА И ВЫМЫСЕЛ

**КОТОРЫЕ
ПОТЯСАЛИ
МИР**

**ВСЕ ТАЙНЫ
ПЕРЕДОВЫХ
РУБЕЖЕЙ
НАУКИ**


ЭКСМО

Иван Балабанов

**Нанотехнологии.
Правда и вымысел**

«ЭКСМО»

Балабанов И. В.

Нанотехнологии. Правда и вымысел / И. В. Балабанов —
«Эксмо»,

Авторы книги знакомят читателей с относительно новым научно-практическим направлением знаний – нанонаукой – и уделяют большое внимание популяризации и достижений нанотехнологий. В книге рассматриваются по большей части не какие-то фантастические проекты, а разработки, уже реально применяемые или находящиеся на этапе исследований. При чтении книги каждый сможет получить для себя некоторые неожиданные знания о взаимодействии наночастиц, имеющих размеры атомов и молекул, и сделать неожиданные открытия из удивительного мира нанотехнологий. В книге разрушаются многочисленные мифы и стереотипы, связанные с нанотехнологиями.

© Балабанов И. В.

© Эксмо

Содержание

Введение	5
Глоссарий	6
А	6
Б	7
В	8
Г	9
Д	10
З	11
И	12
К	13
Л	15
М	16
Н	17
П	19
Р	20
С	21
Т	22
У	23
Ф	24
Х	25
Ц	26
Ш	27
Э	28
В начале пути	29
Конец ознакомительного фрагмента.	37

Виктор Балабанов, Иван Балабанов

Нанотехнологии: правда и вымысел

Памяти нашего отца и деда Ивана Ивановича

Введение

Несомненно, нанотехнология остается ключевым понятием начала XXI века, символом третьей научно-технической революции. С позиций сегодняшнего дня цель нанотехнологии – создание наносистем, наноматериалов, наноустройств, способных оказать революционное воздействие на развитие цивилизации.

Развитие нанотехнологии открывает большие перспективы при разработке новых материалов, совершенствовании связи, биотехнологии, микроэлектроники, энергетики, здравоохранения и вооружений. Среди наиболее вероятных научных прорывов эксперты называют значительное увеличение производительности компьютеров, восстановление человеческих органов, получение новых материалов, созданных напрямую из заданных атомов и молекул, и появление новых открытий в химии и физике.

Нанонаука продолжает стремительно развиваться. Разрабатываются новые устройства и материалы, появились новые термины и определения, произошел ряд знаковых событий у нас в стране и за рубежом в этой области.

Здесь приводятся базовые термины и определения, исторические аспекты развития научного направления, рассматриваются некоторые природные наноэффекты и виды наноструктур, а также методы их искусственного получения, приводятся примеры практического использования нанотехнологий в энергетике и электронике, машиностроении и строительстве, медицине и косметологии, сельском хозяйстве, военной промышленности и т. д.

Большое внимание уделено реальным достижениям практической нанотехнологии, в основном отечественной науки и производства, более подробно рассказывается об исследованиях и достижениях наших соотечественников (как в России, так и за рубежом).

Нам хотелось бы представить вашему вниманию достаточно простую книгу, чтобы она была интересна и полезна школьнику и пенсионеру, аспиранту и бизнесмену, чтобы ее можно было почитать в библиотеке или аудитории, дома или в пути, а что из этого получилось – судить вам, дорогие читатели.

Надеемся, что при чтении каждый из вас сможет сделать для себя неожиданные открытия из удивительного мира нанотехнологий.

*С уважением,
Виктор Балабанов,
Иван Балабанов*

Глоссарий

А

Абляция (лат. *ablatio* – отнятие) – многозначный физический термин, обозначающий процесс сноса вещества с поверхности твердого тела обтекающим потоком. В физике твердого тела – удаление (испарение) вещества с поверхности под воздействием лазерного излучения.

Агрегация (лат. *aggregatio* – присоединение) – 1) процесс объединения элементов в одну систему; 2) объединение, моделирование каких-либо однородных показателей с целью получения более общих показателей.

Аденовирус (adenovirus, лат. *adeoides*, от греч. *ade* – железа и лат. *virus* – яд) – представитель группы ДНК-вирусов, вызывающий у человека инфекционные заболевания верхних дыхательных путей, напоминающие обычную простуду, желудочнокишечные инфекции или одну из разновидностей раковых опухолей. Приставка «аден-» (aden-) указывает на связь объекта с железой или железами.

Адрон (древнегреч. адрон – сильный, тяжелый) – класс элементарных частиц, подверженных сильному взаимодействию и не являющихся истинно элементарными с точки зрения кварковой теории (см. Кварк).

Адсорбция (лат. *ad* – на, при; *sorbeo* – поглощаю) – процесс концентрирования вещества из объема фаз на границе их раздела.

Актюатор (англ. *actuator* – привод, пускатель) – исполнительное устройство, передающее воздействие на объект. В технике под актюатором обычно понимается преобразователь входного сигнала (электрического, оптического, механического и др.) в выходной сигнал (см. Наномотор), действующий на объект управления. Актюаторами являются: электродвигатели, электрические, пневматические и гидравлические приводы, релейные устройства и т. д.

Аллотропия (греч. *аллос* – иной, *тросос* – поворот, свойство) – существование одного и того же химического элемента в виде различных по свойствам и строению структур.

Ассемблер (наноассемблер, конструктор) (англ. *assemble* – собирать) – кибернетическое устройство нанометрических масштабов, способное по заданной программе производить (собирать) из набора атомов молекулы путем механохимии. Ассемблер включает в себя мощный нанокomпьютер, комплекс наноманипуляторов и наносенсоров, то есть это молекулярная машина, которую можно запрограммировать на построение практически любой молекулярной структуры или устройства из более простых химических строительных блоков, подобие управляемого компьютером механического цеха.

Атом (древнегреч. *атомос* – неделимый) – частица химического элемента, сложное, делимое тело. Атом состоит из облака электронов, окружающего плотное ядро, которое в тысячи раз меньше, чем сам атом. Наномашины будут работать не с ядрами, а с атомами.

Атто... (лат. *atten* – восемнадцать) – приставка к наименованию единицы физической величины, служащая для образования дольной единицы, равной 10^{18} от исходной. Сокращенное обозначение: русское – *а*, международное – *a*. Например, 1 ас (аттосекунда) = 10^{18} с.

Аэрогель (от лат. *aero* – воздух и *gelatus* – замороженный) – класс материалов, представляющих собой гель, в котором жидкая фаза полностью замещена газообразной. Такие материалы обладают одновременно рядом уникальных свойств: очень низкой плотностью, высокой твердостью, прозрачностью, жаропрочностью и т. д. Известны аэрогели на основе аморфного диоксида кремния, глиноземов, углерода, оксидов хрома и олова.

Б

Балк-технология (англ. *bulk-technology*) – технология, основанная на манипуляции совокупностями атомов и молекул (массовая технология или материал), а не индивидуальными атомами.

Белок зеленый флуоресцентный (англ. *green fluorescent protein, GFP*) – белок, обладающий зеленым свечением при освещении светом определенной длины волны. Впервые был выделен из медузы *Aequorea victoria* в 1962 году. В настоящее время на основе GFP созданы другие белки, светящиеся различными цветами. GFP стал одним из важнейших инструментов в биохимии, молекулярной биологии и бионанотехнологии.

В

Вирус (лат. *virus* — яд) – частица микро– или наноразмеров, способная инфицировать клетки живых организмов. В настоящее время известны вирусы, размножающиеся в клетках растений, животных, грибов и бактерий (последних обычно называют бактериофагами). Вирусы являются потенциальными объектами для использования в бионанотехнологиях.

Вискеры (от англ. *whisker* — волос, шерсть; «усы», неорганические волокна) – нитевидные кристаллы с диаметром от 1 до 10 мкм и отношением длины к диаметру больше 1000, являются одним из наиболее перспективных кристаллических материалов с уникальным комплексом свойств.

Г

Геомодификатор (греч. *геос* — земля) – специальная микро– или нанодобавка в топливно-смазочные материалы и технологические среды на базе минералов геологического (реже – искусственного) происхождения, которые могут вступать во взаимодействие с контактируемыми (трущимися) участками деталей и формировать на них металлокерамический слой, частично восстанавливающий дефекты поверхностей трения.

Гетероструктура (греч. *гетеро* – союз, товарищество) – комбинация нескольких гетеропереходов (контакт двух разных полупроводников), используемая для создания потенциальных ям для электронов и дырок в слоистых полупроводниковых структурах и применяемая в полупроводниковых лазерах и светоизлучающих диодах.

Графен – углеродный наномонослой, в котором связи С–С образуют правильные графитовые шестиугольники («пчелиные соты»).

Д

Дендримеры (греч. *дендрон* — дерево, англ. *dendritic* — ветвящийся, древовидный) — относительно новый класс химических соединений (наноструктуры размером от 1 до 10 нм), образующихся при соединении молекул, которые обладают ветвящейся структурой (древовидные полимеры).

Дизассемблер — кибернетическое устройство нанометрических масштабов, способное по заданной программе отделять атомы от молекул, записывая при этом их месторасположение на молекулярном уровне. Пара «ассемблер — дизассемблер» сможет создавать копии любых макрообъектов.

Диссипация (лат. *dissipatio* — рассеяние) — процесс необратимого рассеивания (или возврата) энергии, полученной системой в различных процессах (например, при трении).

ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) — молекула, содержащаяся в клетках всех живых организмов, а также в некоторых вирусах. Представляет собой полимерный остов из чередующихся остатков фосфата и сахара дезоксирибозы, к которому прикреплены азотистые основания (аденин, гуанин, цитозин и тимин). Молекула ДНК — это двойная нуклеотидная наноцепь с периодом 3,4 нм и диаметром 2 нм. Она является носителем *генетической информации* и наследственных признаков и заряжена отрицательно, так как фосфат в ее составе несет отрицательный заряд.

Дуга фуллереновая — дуговой метод получения фуллеренов, основанный на термическом разложении графита при электролитическом нагреве графитового электрода или лазерном облучении поверхности графита.

3

Золь-гель технология – технология получения микро-и наноструктурированных материалов из коллоидного раствора в процессе конденсации и образования полимерной пространственной сети с жидкой фазой (геля). Дальнейшее применение этой технологии позволяет, в частности, получать аэрогели (см. Аэрогель).

И

Индентор (англ. *indentation* – вдавливание, идентифицирование, лат. *into* – внутрь) – твердый предмет определенной геометрической формы (шар, конус, пирамида) и размеров, вдавливаемый в поверхность исследуемого материала под действием заданной нагрузки или собственного веса (для измерения твердости). Изготавливают обычно из алмаза, сапфира, твердого сплава и т. п.

К

Кантилевер (англ. *cantilever* – консоль) – устоявшееся название наиболее распространенной в сканирующей атомносиловой микроскопии конструкции микромеханического подвижного зонда, которая служит для измерения отклонения зонда и позволяет изучать диэлектрические материалы.

Квант (лат. *quantus* — сколько) – неделимая часть материи. Например, квант света – элементарная часть (порция) света, то же, что фотон. В основе понятия лежит представление о том, что любая физическая величина может принимать только определенные, а не произвольные значения (то есть физическая величина *квантуется*).

Кварк (англ. *quark* — предположительно звукоподражание крику морских птиц) – фундаментальная частица, обладающая электрическим зарядом, кратным $e/3$, не наблюдается в свободном состоянии. Из кварков состоят адроны, в том числе протон и нейтрон.

Кевлар (англ. *kevlar*®) – синтетическое волокно прочнее большинства сталей, создано американской фирмой *Du Pont de Nemours & Co.* Один из самых прочных материалов, доступных на рынке. Используется в аэрокосмическом конструировании, пуленепробиваемых жилетах и в случаях, когда требуется обеспечить высокую прочность при малой массе.

Кибернетика (древнегреч. *кибернетике* — искусство управления; древнегреч. *кибернао* — правлю рулем, управляю; древнегреч. *кибернитис* — кормчий) – наука об общих законах управления, получения, хранения, передачи и переработки информации в машинах, организациях и обществе.

Киборг (от англ. *cybernetic organism* — кибернетический организм) – биологический организм, содержащий электронные и механические компоненты. В ряде случаев, наоборот, подразумевается робот, содержащий биологические структуры, например мозг.

Кластер (англ. *cluster* – объединение) – совокупность двух или более однородных элементов (атомов или молекул), которая может рассматриваться как самостоятельная единица, обладающая определенными свойствами.

Клейтроника (англ. *clay* – глина, *claytronics* – «умная» глина) – новая область в науке и технологии, рассматривающая возможность сборки различных конструкций из отдельных унифицированных строительных блоков-роботов микроскопических размеров.

Когнитивность (лат. *cognitio* — познание, изучение, осознание) – термин, используемый в нескольких различных контекстах; обозначает способность к умственному восприятию и переработке внешней информации.

Коллайдер (англ. *collide* — сталкиваться) **большой адронный** (Large Hadron Collider, LHC) – ускоритель заряженных частиц на встречных пучках, предназначенный для разгона протонов и тяжелых ионов (ионов свинца) с целью изучения продуктов их соударений. Построен под Женевой (на границе Швейцарии и Франции) в научно-исследовательском центре Европейского совета ядерных исследований (фр. Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, CERN) и на настоящий момент, является самой крупной экспериментальной установкой в мире.

Композит (*композиционный материал*) (лат. *compositio* — составление) – многокомпонентные материалы, состоящие из керамической, полимерной, металлической, углеродной или другой основы (матрицы), армированной наполнителями из волокон, нитевидных кристаллов, тонкодисперсных частиц и других материалов.

Конгломерат (лат. *conglomeratus* – скопившийся, собранный, скученный) – механическое соединение чего-либо разнородного.

Конденсат Бозе – Эйнштейна — среда из суперхолодных элементов, которые отталкиваются друг от друга, находясь в одном-единственном низкоэнергетическом квантовом состоянии (фактически пятое состояние вещества). Подобное явление наблюдается в экситоне.

Кондиционер (рекондиционер) металла (поверхности) (англ. *condition* – состояние) – вещество и механизм воздействия на металл (поверхность), позволяющий модифицировать, структурировать, восстанавливать структуру и состав металла (поверхности). Также придает трущимся поверхностям высокие антифрикционные и противоизносные свойства; воздействует, доставляя необходимые компоненты (среду и энергию) от внешних источников (препаратов).

Концепция «зеленой слизи» (англ. *green goo problem*) – гипотетическая опасность возможности создания разрушительных вирусов и бактерий, которые, быстро размножаясь, уничтожат всю жизнь на планете, разобрав белковые структуры на отдельные молекулы.

Концепция «серой слизи» (англ. *grey goo problem*) – гипотетическая опасность создания неуправляемых универсальных молекулярных самосборщиков, обученных делать из окружающей среды себе подобные копии, которые сразу же после создания начнут штамповать клоны из доступных молекул и в конце концов всю Вселенную превратят в однообразную серую массу, состоящую только из себе подобных нанороботов.

Кристалл фотонный (греч. *кристаллос* — лед, хрусталь) – структуры с периодическим изменением коэффициента преломления, влияющие на движение фотонов по аналогии с периодичностью кристаллической решетки обычных кристаллов. Период фотонных кристаллов составляет порядка половины длины волны света: от нескольких десятков до сотен нанометров.

Л

Лаборатория ассемблерная закрытая – рабочее пространство, содержащее ассемблеры, которое закрыто со всех сторон таким образом, что информация может течь внутрь и наружу.

Лептон (греч. *лептос* — легкий) – фундаментальная частица с полуцелым спином, не участвующая в сильном взаимодействии.

Лиганд (лат. *ligo* — связываю) – атом, ион или молекула, непосредственно связанные с одним или несколькими центральными (комплексобразующими) атомами в комплексном соединении с образованием «координационной» донорно-акцепторной связи, являющиеся донором электронной пары. При присоединении лиганда к центральному атому химические свойства комплексобразователя и самого лиганда часто претерпевают значительные изменения.

Липосома (мед. *liposome*, греч. *липос* — жир и *сома* — тело, строение) – микроскопический сферический мембранный пузырек (диаметром 2030 нм), искусственно полученный в лабораторных условиях путем добавления водного раствора к фосфо-липидному гелю.

Литография (греч. *литос* — камень и *графо* — пишу) – технология переноса рисунка с шаблона на поверхность пластины с помощью светового излучения (фотолитография), потока электронов (электронно-лучевая литография) или рентгеновского излучения (рентгенолитография).

Лонсдейлит (англ. *Lonsdaleite*) – гексагональная модификация углерода с кристаллической решеткой типа вюрцита ($a = 0,252$ нм, $c = 0,412$ нм) и плотностью $3,51$ г/см³. Найден в 1967 году в метеорите, а затем получен искусственно.

Лотос-эффект (нем. *Lotus-effect*®) – изначально природное явление несмачиваемости и самоочистки листьев и цветков ряда растений (лотоса, тюльпана и др.), крыльев насекомых. Впоследствии – комплекс технических и технологических решений, широко применяемых в автомобильном сервисе.

М

Масштабный эффект (англ. *indentation size effect*) – явление, заключающееся в росте твердости при низких и сверхнизких усилиях внедрения индентора (около мкН), которые приводят к образованию отпечатков нанометровой глубины. При нагрузках ниже некоторых критических (зависящих от природы материала, температуры, формы индентора и т. д.) практически все материалы начинают демонстрировать в контакте упругое поведение.

Мембрана (лат. *membrana* — кожица, перепонка) – тонкая упругая оболочка (перегородка), разделяющая вещества, но обеспечивающая пропускание определенных его компонентов. Например, в биологических системах – для осуществления обмена веществ между клетками; в технических системах – для фильтрации жидких и газообразных сред.

Метаматериал (греч. *мета* – сверх, за пределами) – композит, обладающий свойствами, которые не встречаются в природе, в частности отрицательной диэлектрической и магнитной проницаемостью. В нанотехнологии метаматериалы могут использоваться для разработки так называемых плащей-невидимок.

Метод ALD (Atomic Layer Deposition) — «атомно-слоевое осаждение» материала на заданную поверхность; метод основан на хемосорбции из газовой фазы и является циклично-дискретным процессом.

Метод CVD (Chemical Vapor Deposition) – «химическое газофазное осаждение» металлов, сплавов или химических соединений на заданную поверхность; метод наномодификации армирующих волокон.

Метод PVD (Physical Vapor Deposition) – метод нанесения нанопокрывтия, при котором металлы, сплавы или химические соединения осаждаются в глубоком вакууме путем подвода тепловой энергии или бомбардировки частицами. Иными словами, материал покрытия различными способами переводится из твердого состояния в паровую фазу и затем конденсируется на поверхности подложки (физическое распыление с осаждением).

Микроскоп атомный силовой – прибор, который позволяет рассматривать атомы не только металлов, но и других химических веществ.

Микроскоп туннельный растровый – прибор, основанный на возникновении туннельного тока между поверхностью проводника и металлическим острием, удаленным от нее на расстояние около 0,1 нм. При сканировании за счет изменения этого расстояния можно получить рельеф образца с точностью до размеров атомов и молекул. Туннельный растровый микроскоп – основная инструментальная база современных нанотехнологий.

Миметика (др. – греч. *μιμησις* – подобие, воспроизведение, подражание, лат. *mimesis* – подражание) – самовоспроизводящаяся интеллектуальная структура (конструкция), которая может воспроизводиться и эволюционировать, например политические теории, религии, система и т. д.

Мицелла (новолат. *micella* от лат. *mica* – крошечка) – частица общим диаметром 10^{-7} - 10^{-9} м в коллоидных системах, которая состоит из нерастворимого в данной среде ядра, окруженного стабилизирующей оболочкой адсорбированных **ионов** и молекул растворителя.

Молекула (новолат. *molecula*, уменьшительное от лат. *moles* — масса) – наименьшая (простейшая) структурная единица (частица) вещества, которая состоит из атомов, связанных химическим путем.

Н

Нано... (греч. *нанос* – карлик) – приставка для образования наименования дольных единиц, равных одной миллиардной доле исходных единиц. Обозначения: русское – н, международное – п. Пример: 1 нм (нанометр) = 10^9 м = 10 А.

Наноиндустрия – вид деятельности по созданию продукции на основе нанотехнологий, наноматериалов и наносистемной техники.

Наноинженерия изделия (объекта) – изготовление (сборка) изделия или объекта по принципу «снизу вверх» методами силовой зондовой микроскопии (в перспективе – с помощью нанофабрик) с заданными функциональными свойствами для использования на нужды человека.

Наноинженерия поверхности (фр. *ingenieur*, от лат. *ingenium* — способность, изобретательность) – методы и технологии формирования поверхностей деталей на наноразмерном уровне с оптимальными прочностными и триботехническими свойствами.

Наноклетки искусственные – нанороботы, дублирующие функции естественных биологических клеток. Размер этих искусственных клеток может быть меньше размера оригиналов, а сами они, как правило, лучше функционируют.

Нанокomпьютер – компьютер, сделанный из компонентов (механических, электронных или др.) в масштабе нанометра.

Нанокристалл – единица наноструктуры, наименьшее количество вещества в кристаллической форме.

Нанолитография — создание «правильных» групп атомов и молекул на подложке из обычного вещества. Это шаг к разработке и конструированию первых деталей наномашин, в том числе ассемблера.

Наноматериал – материал, содержащий структурные элементы, геометрические размеры которых хотя бы в одном измерении не превышают 100 нм, и благодаря этому обладающий качественно новыми свойствами, в том числе заданными функциональными и эксплуатационными характеристиками.

Наномедицина – слежение, исправление, конструирование и контроль биологических систем человека на молекулярном уровне с использованием наноустройств и наноструктур.

Нанопланктон (лат. *nanus* — карликовый, греч. *планктон* — блуждающие) – разнообразные карликовые (размером 2-20 мкм) микроорганизмы, которые можно отделить от воды только с помощью центрифуги; не способны сопротивляться течениям и свободно дрейфуют в толще воды.

Нанопурга (наношумиха) (англ. *nano-hype*, от англ. *hype* — обман) – околонуточные спекуляции (ажитаж – франц. *agiotage* — сильное возбуждение, борьба интересов вокруг какого-либо дела, вопроса) в средствах массовой информации, в государственных и коммерческих структурах вокруг разработок в области нанотехнологий.

Наноробот (нанобот) – кибернетическое устройство нанометрических масштабов, изготовленное с атомарной точностью. Обладает функциями движения, обработки и передачи информации, а также выполнения программ.

Наносистема – материальный объект в виде упорядоченных или самоупорядоченных связанных между собой элементов с нанометрическими характеристическими размерами, кооперация которых обеспечивает возникновение у объекта новых свойств, обусловленных проявлением наномасштабных эффектов и явлений (например, квантово-размерных, синергетически-кооперативных, «гигантских» и др.).

Наноструктура – нанокристаллы, соединенные между собой силами Вандер-Ваальса (при участии электронного газа).

Наносхема — печатная плата, созданная с применением нанотехнологий благодаря возможности получать транзисторы сверхмалых размеров, точно позиционируя отдельные атомы.

Нанотехника – междисциплинарная область науки, которая изучает закономерности физико-химических процессов в пространственных областях нанометровых размеров с целью управления отдельными атомами, молекулами и молекулярными системами при создании новых молекул, наноструктур, наноустройств и материалов со специальными физическими, химическими и биологическими свойствами.

Нанотехнология (по Танигучи) – процесс разделения, сборки и изменения свойств материалов путем воздействия на них одним атомом или одной молекулой вещества.

Нанотехнология инкрементная (англ. *increment* – возрастание, увеличение) – технология значительного усовершенствования существующих продуктов за счет применения наноматериалов.

Нанотехнология молекулярная (по Дрекслеру) – совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие в себя компоненты размерами менее 100 нм хотя бы в одном измерении. В результате объекты получают принципиально новые качества, позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба. В более широком смысле – методы диагностики, характерологии и исследований таких объектов.

Нанотехнология прикладная – рассматривает задачи и конкретные способы практического применения (реализации) нанотехнологий на нужды человечества.

Нанотрибология – раздел трибологии, изучающий физико-химические процессы в пределах наноразмеров.

Нанотрубка (англ. *carbon nanotube, CNT*) – трубка нанометрических размеров, состоящая из отдельных атомов углерода и имеющая искусственную структуру. Предназначена для коммуникаций, передачи энергии и сигналов, а также построения новых материалов на базе углерода.

Наноэнергия – количество энергии (теплоты), необходимое для нагрева одного грамм-атома наноструктуры от температуры абсолютного нуля (-273 °С) до полного испарения (возгонки) при температуре кипения.

Номекс (англ. *nomex*[®]) – синтетическое мета-арамидное волокно (полное название мета-фенилендиамин-изофталамид), созданное фирмой *Du Pont de Nemours & Co.* Полимерная цепочка имеет меньшую прочность, по сравнению с пара-арамидом кевлар, однако является более гибкой, что придает ей хорошие текстильные свойства. Стойкость волокна номекс к изгибу в три раза выше, чем полиэфира. Вследствие высокой термостойкости применяется для фильтрации горячих газов, при изготовлении одежды для пожарных и т. д.

Нуклеация (лат. *nucleus* — ядро) – первая временная стадия (фаза) наступления фазового перехода от одного агрегатного состояния вещества к другому. Подразделяется на гомогенную (протекающую в однородных средах) и гетерогенную (протекающую в гетерогенных системах). При последней инородные частицы (ионы, пылинки, загрязнения и т. п.) выступают в качестве гетерогенных центров, на которых и зарождаются капли нового агрегатного состояния вещества.

П

Пико... (исп. *pico* – малая величина) – приставка для образования наименования дольных единиц, по размеру равных 10^{-12} исходной единицы. Обозначения: русское – *n*, международное – p. Пример: 1 пФ (пикофарада) = 10^{12} Ф.

Плазма (греч. *πλάσμα* — вылепленное, оформленное) – в физике и химии – полностью или частично ионизированный газ, иногда называемый четвертым (после твердого, жидкого и газообразного) агрегатным состоянием вещества.

Поверхность (межфазная граница) – общая часть двух смежных областей пространства различного фазового состояния, обычно толщиной в несколько атомных слоев.

Поверхность ювенильная (лат. *juvenilis* — юный) – так в трибологии принято называть поверхности, свободные от оксидных пленок и различного рода загрязнений, образующиеся в результате контакта (трения) одной поверхности о другую и обладающих повышенным энергетическим потенциалом.

Препарат ремонтно-восстановительный (эксплуатационный) – специальный препарат автохимии, содержащий комплекс химически и поверхностно-активных веществ и предназначенный для восстановления триботехнических свойств поверхности трения и технических характеристик обработанной техники.

Препреги (сокр. от англ. *pre-impregnated* – предварительно пропитанный) – слоистые наполнители (стеклоткани, углеродные ткани), пропитанные термореактивным связующим, частично отвержденные. Нанокпозиционные препреги можно успешно применять для изготовления корпусов самолетов и вертолетов, лопастей ветроэнергетических установок и т. д.

Пленка сервожитная (лат. *servo vitte* — спасать жизнь) – особая структура на поверхностях трения толщиной в несколько сотен нанометров, характерная для эффекта безызносности. В ней реализуется особый механизм деформации, протекающий без накопления дефектов, свойственных усталостным процессам.

Р

Реметаллизант (металлолакирующая, присадка)

(франц. *plaquer* — покрывать) – порошковая или ионная микро-или нанодобавка на основе пластичных металлов к топливносмазочным материалам, технологическим и другим средам, реализующая эффект избирательного переноса при трении (эффект безызносности).

Репликатор (франц. *replique*, итал. *replica*, от лат. *replico* – повторяю, отвечаю) – наноробот, способный к созданию своей копии, то есть самовоспроизводству. Наиболее очевидные примеры репликаторов – ДНК-последовательности, так как они многократно копируются при делении клеток. Может быть пассивным или активным, конечным или бесконечным.

С

Сажа — аморфный (греч. *a* – не– и *морфи* – вид, форма; не имеет кристаллической структуры и, в отличие от кристаллов, не расщепляется с образованием кристаллических граней) углерод – продукт неполного сгорания или термического разложения углеводородов в неконтролируемых условиях, например при работе дизельных двигателей. Размер большинства частиц сажи, например, в дизельной эмиссии – от 50 до 180 нм.

Светодиод (LED-светодиод) (англ. *light-emitting diode, LED*) – прибор, основанный на наноразмерных гетероструктурах; преобразует электрический ток в световое излучение.

Сенсор (англ. *sensor* — датчик) – первичный преобразователь, элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства системы, преобразующий контролируемую величину в удобный для использования сигнал; широко применяется при построении систем автоматизированного управления.

Сервис безразборный (англ. *service* – производить осмотр и текущий ремонт) – комплекс мероприятий, направленных на осуществление операций технического обслуживания и ремонта агрегатов без проведения разборочно-сборочных операций. Может включать операции обкатки, диагностики, профилактики, автохимического тюнинга, очистки и восстановления как отдельных трущихся соединений, так машин и механизмов в целом.

Серпентин (лат. *serpens* – змея, змеевик (устар.)) – минерал группы магнево-железистых гидросиликатов с цветом от зеленовато-желтого до темно-зеленого и пятнами, делающими его похожим на змеиную кожу. Является одним из активных компонентов многих ремонтно-восстановительных нанопрепаратов, особенно геомодификаторов.

Сингулярность (лат. *singularis* — единственный) – единичность существа, события, явления. В общем виде – точка во временном, понятийном или любом другом пространстве, в которой нарушаются законы, обрывается непрерывный ход вещей.

Сингулярность технологическая (по Курцвейлу) – феноменально быстрый научно-технический прогресс (даже значительнее, чем научно-техническая революция), основанный на мощном искусственном интеллекте (существенно превосходящем человеческий) и киборгизации людей.

Синергетика (греч. *син* – совместное и *эргос* – действие) – научное направление, изучающее закономерности, которые управляют процессами самоорганизации в биологических, технических, химических и др. системах.

Т

Термодинамика (греч. *термо* — тепло и *динамис* – сила) – раздел физики, изучающий соотношения и превращения теплоты и других форм энергии. В отдельные дисциплины выделилась химическая термодинамика, которая изучает физико-химические превращения, связанные с выделением или поглощением тепла, и теплотехника.

Техника наносистемная – созданные полностью или частично на основе наноматериалов и нанотехнологий функционально законченные системы и устройства, характеристики которых кардинальным образом отличаются от показателей систем и устройств аналогичного назначения, созданных по традиционным технологиям.

Технологии когнитивные — информационные технологии, специально ориентированные на развитие интеллектуальных способностей, воображения и ассоциативного мышления человека (см. Когнитивность).

Технологии конвергентные – четыре взаимосвязанных научно-технических направления: нанотехнологии, биотехнологии, нейротехнологии и информационные технологии.

Технологии критические – дезавуирующие, ликвидационные технологии, которые фактом своего появления закрывают целые направления исследований или делают бессмысленным дальнейшее их развитие. Например, развитие ракетной техники и межконтинентальных ракет закрыло направление стратегических бомбардировщиков, то есть сделало их обычным, а не стратегическим оружием, фактически свернув программу их развертывания.

Технология фуллеренов – научно-практическое направление, занимающееся как методами производства фуллеренов, так и различными прикладными задачами их использования.

ТОН (технология общего назначения) – обычно начинается как весьма грубая технология ограниченного применения, затем быстро распространяется в области новых приложений. Типичные примеры – паровая машина, электричество, железные дороги и компьютеры, послужившие базисом для главных научно-технических революций. В наши дни классический пример ТОН – нанотехнология.

Точка квантовая (англ. *quantum dot*) – фрагмент проводника (полупроводника), ограниченный по всем трем пространственным измерениям и содержащий электроны проводимости, достаточно малый, чтобы в нем были существенны квантовые эффекты. Квантовые точки могут быть использованы при разработке QD-LED дисплеев и другой электронной техники.

Трибология (греч. *трибос* – трение и *логос* – наука) – наука о контактном взаимодействии твердых тел при их относительном движении, охватывающая весь комплекс вопросов трения, изнашивания, смазки и самоорганизации в машинах.

Триботехнология — комплекс технических и технологических мероприятий, направленных на практическое использование процесса трения для восстановления и придания поверхностям трения высоких антифрикционных и противоизносных свойств.

Туман конструкторский (англ. *utility fog*) – наносистема, состоящая из унифицированных строительных нанороботов (фоглетов) и позволяющая собирать различные предметы из отдельных универсальных строительных блоков микроскопических размеров.

Туннелирование – уникальное свойство квантовых частиц, в том числе и электронов, заключающееся в их способности проникать через преграду, даже когда их энергия ниже потенциального барьера в данной преграде. Электрон, который обладает энергией, встретив на своем пути преграду, требующую для прохождения большей энергии, не отражается от этой преграды, но преодолевает ее с потерей энергии.

Тюнинг автохимический – специальная обработка двигателя препаратами автохимии в целях снижения механических потерь на трение и повышения мощности двигателя.

У

Углеволокно (карбон) (лат. *carbo* — уголь) – композиционный материал на основе армирующего материала из кевлара и матрицы из специальных эпоксидных смол, обладающий высокими прочностными свойствами при малом весе. Широко применяется в самолетостроении и автомобильной технике, а также в спортивных товарах и товарах для туризма и отдыха.

Ф

ФАБО (финишная антифрикционная безабразивная обработка) – метод фрикционного (с помощью трения) нанесения покрытий из пластичных металлов толщиной от 50 до 500 нм на трущиеся поверхности деталей.

Фемто. (датск. *femten* – пятнадцать) – приставка к наименованию единицы физической величины; служит для образования наименований дольных единиц, по размеру равных 10^{-15} доле исходных единиц. Обозначение: русское – ф, международное – *f*. Пример: 1 фКл (фемтокулон) = 10^{15} Кл.

Физика фуллеренов – научное направление в физике по исследованию структурных, механических, электрических, магнитных, оптических свойств фуллеренов и их соединений в различных фазовых состояниях, а также изучению характера взаимодействия атомов углерода в этих соединениях, спектроскопии молекул фуллеренов, свойств и структуры систем, состоящих из молекул фуллеренов.

Фоглет (англ. *fog* — туман) – частица конструкторского тумана (нанобот), наноробот-блок диаметром около 100 мкм.

Фотовольтаика (греч. *фотос* — свет) – оборудование для прямого преобразования солнечного излучения в электрическую энергию с помощью специальных полупроводниковых элементов – солнечных батарей.

Фотоника — наука и раздел техники, изучающие генерацию, управление и детектирование фотонов достаточно широкого волнового спектра излучения.

Фрактал (лат. *fractus* — дробный, ломаный, разбитый) – структура, бесконечная самоподобная геометрическая фигура, каждый фрагмент которой повторяется при уменьшении масштаба. Например, разветвления трубочек трахей, нейроны, сосудистая система человека, извилины берегов морей и озер, контуры деревьев и т. д. Фракталы имеют место как в клеточной мембране, так и в звездных галактиках.

Форсайт (англ. *foresight* — предвидение) – систематически организованный процесс, направленный на выявление долгосрочных перспектив науки и технологий, экономики и общества. Применяется для определения стратегических направлений развития инноваций, способных принести наибольшие социальноэкономические блага. Одним из методов реализации таких прогнозов являются «дорожные карты».

Фуллерены (англ. *fullerene*) – класс химических соединений, молекулы которых состоят только из четного количества атомов углерода. Химически стабильные замкнутые поверхностные структуры углерода, в которых атомы углерода расположены в вершинах правильных шестиугольников или пятиугольников, регулярным образом покрывающих поверхность сферы или сфероида.

Фуллериты – твердые фуллерены C_{60} , кристаллы с гране-центрированной кубической решеткой и достаточно слабыми межмолекулярными связями. В кристалле имеются октаэдрические и тетраэдрические полости, в которых могут находиться посторонние атомы, влияющие на свойства всего материала.

Х

Химия фуллеренов – научно-практическое направление химии, занимающееся созданием и изучением класса фуллеренов. По концепциям и методам исследования во многом принципиально отличается от традиционной химии.

Химмотология – наука о рациональном использовании топлива, масел и автохимии в технике.

Хиральность (англ. *chirality*, греч. *хира* – рука) – понятие в химии, характеризующее свойство объекта быть несовместимым со своим отражением в идеальном плоском зеркале.

Хомопарк (англ. *homopark*) – резервация в труднодоступной местности Земли (других планетах) или специально выделенная территория (по аналогии с зоопарком) для обыкновенных людей в эпоху технологической сингулярности.

Ц

Цеолит (греч. *цео* — киплю и *литос* — камень, то есть «кипящий камень») – большая группа близких по составу и свойствам минералов (водные алюмосиликаты кальция и натрия из подкласса каркасных силикатов) со стеклянным или перламутровым блеском. Перспективен в качестве нанотехнологических мембранных материалов (адсорбент, ионообменники, молекулярные сита) для газо– и водоочистительных систем и катализаторов (нефтехимия и нефтепереработка).

III

Шунгит – минерал, получивший название от поселка Шуньга в Карелии, где были обнаружены природные фуллерены.

Э

Экситон (лат. *excitatio* — возбуждаю) – элементарная квазичастица (связанное состояние «электрон-дырка»), выступающая как целое образование и возникающая в веществе при наличии небольшого количества атомов примеси, обеспечивающих дополнительные уровни энергии в запрещенной зоне, за которые электрон может зацепиться и остаться в запрещенной зоне, взаимодействуя с дыркой посредством электростатических сил. В экситоне может наблюдаться пятое состояние вещества – конденсат Бозе-Эйнштейна.

Элемент Пельтье (англ. *Thermoelectric Cooler, TEC*) – термоэлектрический преобразователь, принцип действия которого базируется на эффекте Пельтье – возникновении разности температур при протекании электрического тока. Обратный механизм называется эффектом Зеебека.

Энзимы (ферменты) (греч. *zyme* – дрожжи, лат. *fermentum*) – белковые молекулы или их комплексы (молекулярные машины), ускоряющие химические реакции в живых системах.

Энтропия (греч. *энтропия* — поворот, превращение) – мера неупорядоченности больших систем. Например, в теории тепловых машин – та часть энергии, которая рассеивается в пространстве, не совершая полезной работы.

Эпитаксия (греч. *эпи* — на и *таксис* — упорядоченность) – технология выращивания (нарастания) на поверхности моно-кристаллических тонких пленок в соответствии с кристаллической структурой подложки (каждый последующий слой имеет ту же ориентировку, что и предыдущий).

Эффект безызносности (избирательный перенос при трении) – возникает в результате протекания химических и физических процессов на поверхности контактирующих тел, приводящих к образованию на них самоорганизующихся систем толщиной около 100 нм, которые обеспечивают автокомпенсацию износа и снижение коэффициента трения.

Эффект Холла – явление, заключающееся в том, что в проводнике с током, помещенном в магнитное поле, вектор напряженности которого перпендикулярен направлению тока, возникает электрическое поле в направлении, перпендикулярном направлениям тока и магнитного поля.

В начале пути

Там... внизу... еще очень много места...
Ричард Фейнман, нобелевский лауреат по физике (1959 год)

Во времена Аристотеля считалось, что мир состоит из четырех элементов (стихий) – воды, земли, огня и воздуха. Этого положения было достаточно, чтобы с той или иной степенью точности объяснить окружающий мир и обеспечить существование человечества всем необходимым на тот период времени.

Ориентировочно в 400 году до н. э. греческий философ Демокрит предположил, что все вещества состоят из особых конечных частиц, которые он назвал атомами. Это было гениальным предположением, опередившим науку на два тысячелетия. Даже после опубликования в 1661 году английским химиком Робертом Бойлем (Robert Boyle) книги, открыто отвергающей учение Аристотеля (философскую основу основ тогдашней науки – алхимии, химии и физики), потребовалось еще несколько веков, чтобы подтвердить догадку древнегреческого философа. Бойль в своей книге утверждал, что все состоит из «корпускул» (лат. *corpusculum* – частица) – мельчайших частиц материи или эфира, образующих в разных комбинациях окружающие нас вещества, но, естественно, доказать данный факт на тот период было невозможно.

Джозеф Джон Томсон (Joseph John Thomson) в 1897 году, экспериментируя с электродами, помещенными в трубку с откачанным воздухом, открыл отрицательно заряженные частицы – электроны, имеющие массу $9,1 \times 10^{-31}$ кг и заряд $1,6 \times 10^{-19}$ Кл.

В 1906 году Томсон получил Нобелевскую премию по физике «В знак признания заслуг в области теоретических и экспериментальных исследований проводимости электричества в газах».

Через год, в 1907 году, английский ученый Эрнест Резерфорд (Ernest Rutherford), получивший Нобелевскую премию по химии за 1908 год, открыл атомные ядра, состоящие из положительно заряженных протонов и не имеющих заряда нейтронов. Вместе они называются адронами (термин предложен советским физиком, академиком Львом Борисовичем Окунем).

Но, как оказалось, нейтроны и протоны тоже не являются конечными частицами. В стандартной модели элементарных частиц протоны и нейтроны состоят из элементарных частиц, называемых кварками. Гипотеза об их существовании была впервые выдвинута в 1964 году американским физиком Мюрреем Гелл-Манном (Murray Gell-Mann). Гелл-Манн получил Нобелевскую премию по физике за 1969 год «За открытия, связанные с классификацией элементарных частиц и их взаимодействий». Независимо от него гипотезу о четырех различных «тузах» (от тузов четырех мастей в карточных играх), которыми Гелл-Манн называл кварки, поскольку считал, что их всего четыре, также высказал американский физик Джордж Цвейг (George Zweig). Наряду с лептонами, кварки являются одной из основных составляющих материи.

Однако это уже пико-, фемто- или даже аттоуровень размеров (табл. 1), относящихся к атомной и даже ядерной физике, а данная книга посвящена нанонауке – отрасли знаний, основанной на изучении объектов и технологий, включающих в себя компоненты размерами менее 100 нм хотя бы в одном измерении и в результате получивших принципиально новые качества, которая также относительно молода.

Первым ученым, использовавшим измерения в нанометрах, принято считать Альберта Эйнштейна (Albert Einstein), который в 1905 году теоретически доказал, что размер молекулы сахара равен одному нанометру (10^{-9} м).

Идею же создания специальных приборов, способных проникнуть в глубину материи до границ наномира, выдвинул выдающийся американский инженер-электрик и изобретатель,

физик, философ сербского происхождения Никола Тесла (Nikola Tesla). Именно он предсказал создание электронного микроскопа.

Таблица 1. Приставки и множители десятичных кратных и дольных единиц международной системы СИ

Наименование	Обозначение русское	Обозначение международное	Десятичная запись	Обыкновенная запись
йокто	и	y	10^{-24}	0,00000000000000000001
zepto	з	z	10^{-21}	0,000000000000000000001
атто	А	a	10^{-18}	0,000000000000000001
фемто	Ф	f	10^{-15}	0,000000000000001
пико	П	p	10^{-12}	0,0000000001
нано	Н	n	10^{-9}	0,00000001
Микро	Мк	m	10^{-6}	0,000001
Милли	М	m	10^{-3}	0,001
Сантиметр	С	s	10^{-2}	0,01
Деци	Д	d	10^{-1}	0,1
Дека	Да	da	10^1	10
Гекто	Г	h	10^2	100
Кило	К	k	10^3	1000
Мега	М	M	10^6	1000000
Гига	Г	G	10^9	1000000000
Тера	Т	T	10^{12}	1000000000000
Пета	П	P	10^{15}	1000000000000000
Экса	Э	E	10^{18}	1000000000000000000
Зета	З	Z	10^{21}	1000000000000000000000
Йота	И	Y	10^{24}	1000000000000000000000000

Первые теоретические исследования, положившие начало разработке инструментального обеспечения будущих нанотехнологий, – это труды физика-теоретика российского происхождения Георгия Антоновича Гамова.

Еще в 20-е годы XX века Гамов впервые произвел решения уравнений Эрвина Шредингера (Ervin Schrodinger), описывающие возможность частицы преодолеть потенциальный барьер, когда ее энергия меньше его высоты. Уникальное свойство, характерное для квантовых частиц, в том числе и электронов, заключается в способности проникать через преграду, даже когда их энергия ниже потенциального барьера, соответствующего данной преграде. Электрон, встретив на своем пути преграду, для прохождения которой требуется больше энергии, чем есть у него, не отразится от этой преграды, а с потерей энергии (как волна) преодолеет ее.

Данное явление, названное «туннельным эффектом» (туннелированием), позволило объяснить многие экспериментально наблюдавшиеся процессы. Найденное решение было применено для описания процессов при вылете частицы из ядра, составляющих в настоящее время основу атомной науки и техники.

Следует остановиться на биографии Г. А. Гамова подробнее. Этот ученый много сделал для мировой науки, но так и не был оценен ею в полной мере, чему есть объективные и субъективные причины. В марте 1932 года в возрасте 28 лет Гамов был избран самым молодым членом-корреспондентом отечественной Академии наук за всю историю ее существования. Гамов всячески стремился уехать на Запад. В 1933 году по рекомендации академика Абрама Федоровича Иоффе Гамова на 20 дней направили в заграничную командировку в Бельгию для участия в работе Сольвеевского конгресса и ознакомления с зарубежными физическими лабораториями. Несмотря на клятвенные обещания, из зарубежной командировки в СССР Гамов не вернулся, запросил работу на Западе и был исключен из Академии наук.

Гамов называют трижды нелауреатом Нобелевской премии, так как он участвовал в исследованиях по трем направлениям, авторы которых впоследствии были удостоены этого звания. Гамов является создателем квантовой теории α и β -распада радиоактивных ядер, автором гипотез «горячей Вселенной» (теории Большого взрыва) и генетического кода.

На основе установленной им связи между ядерными процессами и космологией Гамов первым предложил модели звезд с термоядерным источником энергии. В 1942 году совместно с Теллером он разработал теорию строения красных гигантов. В 1946–1948 годах ученый предложил теорию получения химических элементов методом последовательного нейтронного захвата и модель «горячей Вселенной» (теорию Большого взрыва), в рамках которой предсказал реликтовое излучение и рассчитал его температуру. Американские астрофизики Арно Аллан Пензиас (Arno Allan Penzias) и Роберт Вудроу Вильсон (Robert Woodrow Wilson), подтвердившие теорию Гамова, в 1978 году стали нобелевскими лауреатами «за открытие микроволнового реликтового излучения».



Георгий Антонович Гамов. Фото с сайта <http://www.peoples.ru>

В 1954 году Гамов опубликовал статью, где впервые поднял проблему генетического кода, отмечая, что «...при сочетании четырех нуклеотидов тройками получаются 64 различные комбинации», чего вполне достаточно для «записи наследственной информации». Он указывал, что «. кто-нибудь из более молодых ученых доживет до его расшифровки».

Американские ученые-биохимики Роберт Холли (Robert W. Holley), Хар Гобинд Корана (Har Gobind Khorana) и Маршалл Уоррен Ниренберг (Marshall Warren Nirenberg) получили Нобелевскую премию по физиологии и медицине 1968 года за расшифровку генетического кода, но Гамов, как видим, в число соискателей снова включен не был.

Несмотря на свое сомнительное для американской администрации происхождение, Георгий Гамов привлекался к работе над созданием водородной бомбы и в 1949 году даже побывал на атомном полигоне США, на атолле Бикини.

В 1956 году Г. А. Гамов получил премию Калинга за популяризацию науки, а в 1990 году был посмертно восстановлен в звании члена-корреспондента АН СССР.

В 1931 году немецкие физики Эрнст Август Руска (Ernst August Ruska) и Макс Кнолл (Max Knoll) создали электронный микроскоп, ставший прообразом нового поколения устройств, которые позволили заглянуть в мир нанобъектов. За это открытие в 1986 году Руска получил Нобелевскую премию. В 1939 году компания *Siemens*, в которой работал Руска, выпустила первый коммерческий электронный микроскоп с разрешающей способностью 10 нм.

Основываясь на этих и других теоретических исследованиях, в 1932 году нидерландский профессор Фриц Цернике (Frits Zernike) открыл метод фазового контраста и создал первый фазово-контрастный микроскоп (Нобелевская премия 1953 года). Это был вариант оптического микроскопа, улучшавший качество показа мельчайших деталей изображения. Цернике с его помощью исследовал живые клетки (ранее для этого приходилось применять красители, убивавшие живые ткани). Интересно, что Цернике предлагал свое изобретение немецкой фирме *Carl Zeiss*, мировому лидеру в производстве оптических устройств, но ее менеджеры в то время не осознали его перспективности.

На какое-то время, в основном в связи со Второй мировой войной, когда передовые немецкие ученые были задействованы в разработке новейших видов вооружения, работы в данном направлении были не столь интенсивными.

Следующий шаг вперед был сделан только в 1956 году. Сотрудник картографической службы военного ведомства США Джон Алоизиус О'Кифи (John Aloysius O'Keefe) предложил конструкцию микроскопа, в котором свет должен был выходить из крошечного отверстия в непрозрачном экране и освещать очень близко расположенный объект. Свет, прошедший через образец или отраженный от него в отверстие, регистрировался в процессе возвратно-поступательного движения (сканирования) образца. Дж. О'Кифи назвал свой метод растровой микроскопией ближнего поля и указал, что разрешение такого микроскопа ограничивается не длиной волны света, а только размером отверстия. Теоретически подобное устройство могло бы давать изображение деталей размером меньше половины длины волны.

Бурное развитие электроники в середине 50-х годов XX века привело к открытию туннельного диода японским физиком Лео Эсаки (Leo Esaki, Нобелевская премия 1973 года с Айваром Джайевером – Ivar Giaever).

Однако мысль о том, что в будущем человечество сможет создавать объекты, собирая их на нанометрическом уровне, «молекула за молекулой», а то и «атом за атомом», восходит к знаменитой лекции 29 декабря 1959 года «Там внизу много места» (*There is plenty of space on the bottom*) одного из крупнейших физиков XX века, лауреата Нобелевской премии, профессора Калифорнийского технологического института Ричарда Фейнмана (Richard Phillips Feynman). Опубликованные в феврале 1960 года материалы лекции были восприняты большинством современников как фантастика или шутка. Сам же Фейнман говорил, что в будущем, научившись манипулировать отдельными атомами, человечество сможет синтезировать все что угодно: «Ни один физический или химический закон не мешает нам менять взаимное положение атомов.», то есть использовать атомы как обыкновенный строительный материал, что-то вроде кирпичей или, в лучшем случае, узлов и деталей машин.



Основоположник нанотехнологии, лауреат Нобелевской премии Ричард Фейнман

Наиболее актуальной оставалась задача разработки и создания инструментального (метрологического) оборудования для изучения атомного строения конструкционных материалов на наноуровне.

В 1964 году, спустя шесть лет после изобретения интегральной схемы, Гордон Эрл Мур (Gordon Earle Moore), почетный президент и один из основателей американской корпорации *Intel*, выдвинул предположение о том, что число *транзисторов* на кристалле будет удваиваться каждые два года. Это наблюдение получило название первого закона Мура. Показав зависимость роста производительности запоминающих *микросхем* от сроков их изготовления, ученый обнаружил *закономерность*: новые модели микросхем каждый раз появлялись через приблизительно равные промежутки времени (18–24 месяца). При этом их емкость каждый раз возрастала примерно вдвое. Развитие микроэлектроники стремительно подталкивало к дальнейшей миниатюризации компонентной базы и к исследованиям в области ее инструментального обеспечения.

Американский физик Рассел Янг (Russell Young), работавший в Национальном бюро стандартов, в 1966 году предложил пьезоэлектрическое управляющее устройство (пьезодвигатель), применяемый сегодня в сканирующих туннельных микроскопах и для позиционирования наноинструментов (поиска нужных объектов на изучаемой поверхности).

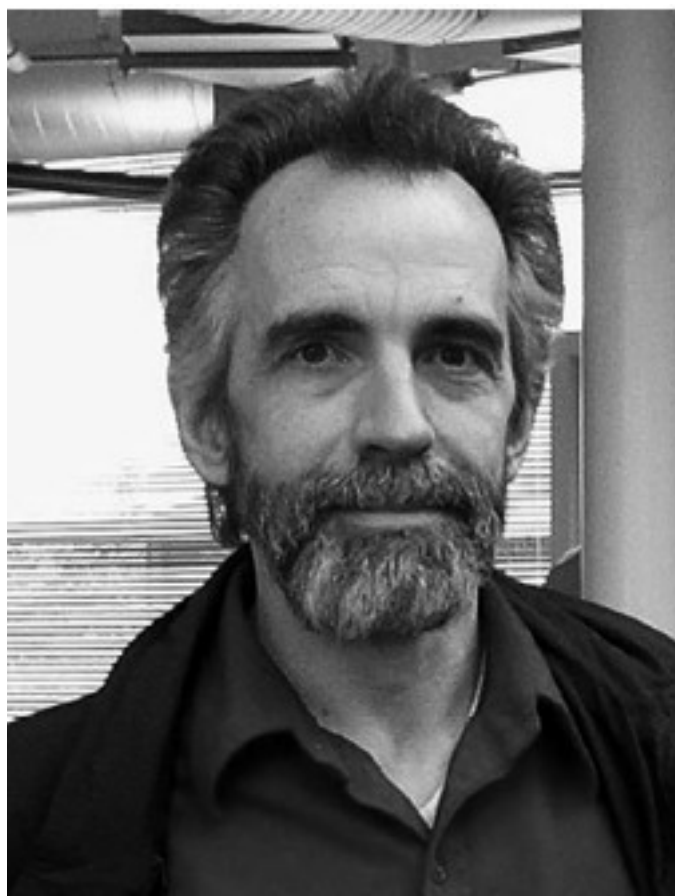
В то же время Дэвид Джонс (David Jones) конструировал замкнутые сфероидальные клетки из своеобразно свернутых нано-графитовых слоев. Было показано, что объектом, введенным в гексагональную решетку обычного графита и приводящим к образованию сложной искривленной поверхности, может быть пятиугольник. Физхимик-органик Эйджи Осава (Eiji Osawa) предположил существование полой высокосимметричной молекулы C_{60} со структурой в виде усеченного икосаэдра, похожей на футбольный мяч.

В 1968 году исполнительный вице-президент компании *Bell* Альфред Чо (Alfred Cho) и сотрудник отделения исследования полупроводников Джон Артур (John Arthur) обосновали теоретическую возможность использования нанотехнологий в решении задач по обработке поверхностей и достижению атомной точности при создании электронных приборов.

В 1971 году Р. Янг предложил идею прибора *Topografiner*, послужившего прообразом зондового микроскопа. Однако вскоре работы над прибором были прекращены по экономическим причинам. Через год, в 1972 году, Янг сумел осуществить перемещение и позиционирование объектов в трех направлениях с точностью до 0,01 А (1 нм = 10 А), применив перемещающие устройства на базе пьезоэлектриков. Со времени создания пьезодвигателя прошло более пяти лет. Длительные сроки разработки подобных устройств объясняются тем, что наблюдение за атомарными структурами приводит к изменению их состояния, поэтому требовались качественно новые подходы, не разрушающие исследуемое вещество.

Мировая наука вплотную подошла к началу решения прикладных задач в этой области, когда теоретические и чисто научные исследования стали находить практическое применение в различных отраслях экономики.

Современный вид идеи нанотехнологии начали приобретать в 80-е годы XX века в результате исследований Эрика Дрекслера (Kim Eric Drexler), работавшего в лаборатории искусственного интеллекта Массачусетского технологического института (США).



Эрик Дрекслер, основоположник молекулярной нанотехнологии

Дрекслер выдвинул концепцию универсальных молекулярных роботов, работающих по заданной программе и собирающих любые объекты (в том числе и себе подобные) из подручных молекул. Все это также сначала воспринималось как научная фантастика. Ученый уже тогда довольно точно предсказал немало грядущих достижений нанотехнологии, которые сбываются с 1989 года, причем часто со значительным опережением даже его прогнозов.

Однако, как часто бывает, задолго до работ Дрекслера идею о возможности существования искусственных автоматов-самосборщиков выдвинул математик Джон фон Нейман (John

Von Neumann), разработавший теоретическую модель устройства компьютера (компьютер фон Неймана) – первое устройство с клавишным вводом данных.

Роберт Фрейтас (Robert A. Freitas) отмечал: «Ранняя история самовоспроизводящихся систем – это история мышления фон Неймана по данному вопросу». Самовоспроизводящиеся машины (автоматические репликаторы) – ключевое свойство нанороботов, так как эти системы должны как воспроизводить себя из окружающих молекул, так и производить принципиально другие, более совершенные создания.

В дальнейшем прогноз развития нанотехнологий рассматривался через представления, сформировавшиеся в более поздних работах Э. Дрекслера и его последователей: Р. Фрейтаса, Ральфа Меркле (Ralph C. Merkle) и др.

Многие ученые в мире в той или иной степени работали с объектами наноуровня, но термин «нанотехнология» впервые (в 1974 году) предложил японский физик Норио Танигучи (Norio Taniguchi) из Токийского университета. Нанотехнология, по Н. Танигучи, – это «технология объектов, размеры которых составляют порядка 10^{-9} м (атомы, молекулы), включающая процесс разделения, сборки и изменения материалов путем воздействия на них одним атомом или одной молекулой».

Накопленные знания в области нанотехнологий позволили по-новому взглянуть на ряд уникальных природных явлений. Так в 1975 году немецкие ученые-ботаники из Боннского университета (ФРГ) Вильгельм Бартлотт (Wilhelm Barthlott) и Кристоф Нейнуйс (Christoph Neinhuis) обнаружили и запатентовали явление самоочистки поверхностей некоторых растений (*Lotus-effect*®), а также тот факт, что этот феномен протекает в наноструктурированных поверхностных областях.

Исследования по совершенствованию инструментального обеспечения нанотехнологий вышли на новый уровень. Весной 1981 года немецкий физик Герд Карл Бинниг (Gerd Karl Binnig) и швейцарский ученый Генрих Ропер (Heinrich Rohrer) из Цюрихской лаборатории компании IBM испытали растровый туннельный микроскоп (за это открытие им была присуждена Нобелевская премия 1986 года вместе с Э. Руской). Сканирующий туннельный микроскоп позволил построить трехмерную картину расположения атомов на поверхностях проводящих материалов. При движении острия иглы микроскопа над поверхностью кристалла из кальция, иридия и олова они смогли измерить неровности высотой в один атом. С помощью туннельного микроскопа стало возможным «захватить» атом с токопроводящей поверхности и поместить его в нужное место, то есть манипулировать атомами, собирая из них любое вещество.

Главной проблемой в исследованиях на сканирующем туннельном микроскопе стали фоновые помехи: острие микроскопа, позиционировавшееся с точностью до долей атома, сбивалось от малейших шумов и вибраций даже вне лаборатории. Кроме того, прибор позволял исследовать нанообъекты только на электропроводной подложке.

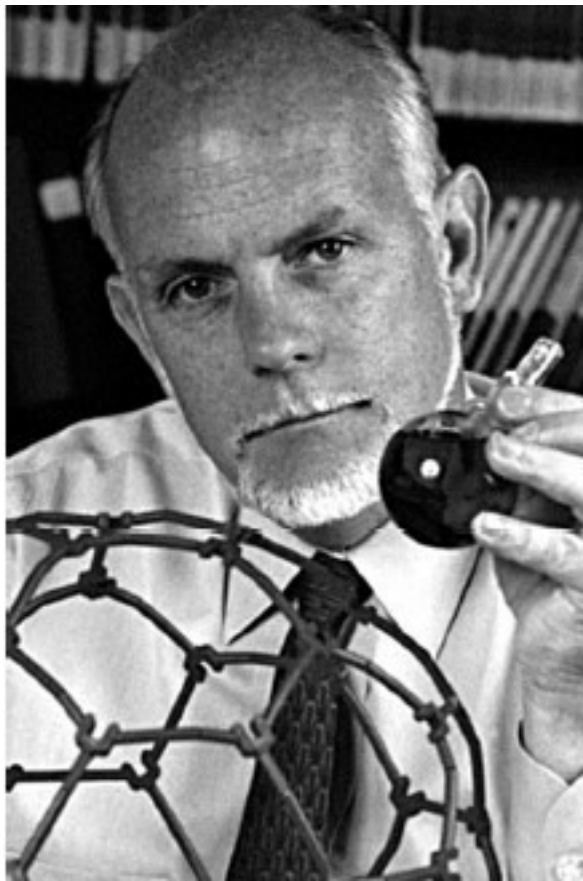
Современные сканирующие микроскопы позволяют различать размер около 0,01 нм (1/10 диаметра самого наименьшего атома – атома водорода) по вертикали и около 0,2 нм по горизонтали. По сути, это уже не микроскопы, а наноскопы.

В 1980–1981 годах с разработкой метода получения кластеров при испарении с помощью лазера в сверхзвуковых соплах стало возможным экспериментальное получение кластеров с количеством атомов от 40 до 100. Этот метод был специально разработан для детального изучения многоатомных молекул (в первую очередь металлов переходных структур).

При помощи данного способа в 1984 году немецкие ученые впервые получили углеродные кластеры, а профессор Герберт Гляйтер (Herbert Gleiter), изучавший структуры различных конструкционных материалов с 1982 по 1985 год, предложил концепцию наноструктуры твердого тела.

В 1985 году коллектив ученых в составе английского химика Гарольда Крото (Harold Walter Kroto) из Сассекского университета, американских химиков Роберта Флойда Керла

(Robert Floyd Curl), Джеймса Хита (James Heath) и Шона О'Брайена (Sean O'Brien) под руководством Ричарда Смолли (Richard Errett Smalley) в университете Райса (США) получил новый класс соединений – фуллерены – и исследовал их свойства (Нобелевская премия за 1996 год). Инициатором поиска был Г. Крото, изучавший лазерное испарение и масс-спектроскопию малых углеродных кластеров.



Открыватель фуллеренов, лауреат Нобелевской премии Ричард Смолли

В результате взрыва графитовой мишени лазерным пучком и исследования спектров паров графита была обнаружена молекула фуллерена C_{60} . Грани 60-атомного фуллерена – это 20 почти идеальных правильных шестиугольников и 12 пятиугольников. Позднее удалось получить фуллерены из 76, 78, 84, 90 и даже нескольких сотен атомов углерода. Ученые также впервые сумели измерить объект размером 1 нм.

То, что более десяти лет назад теоретически предсказывали японец Э. Осава и советские ученые Д. А. Бочвар и Е. Г. Гальперн, нашло практическое подтверждение.

В том же 1985 году немецкий физик Клаус фон Клитцинг (Klaus von Klitzing) получил Нобелевскую премию за открытие квантового эффекта Холла в 1980 году. Он установил, что в сильных магнитных полях плоского проводника (то есть квазидвухмерного электронного газа) начинают сказываться квантовые эффекты. Это приводит к квантовому эффекту, названному в честь американского физика Эдвина Холла (Edwin Herbert Hall). В 1879 году Э. Холл при подготовке докторской диссертации по электричеству и магнетизму открыл в тонких пластинках золота эффект возникновения поперечного электрического поля в проводнике или полупроводнике с током при помещении его в магнитное поле.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.