
ПРЕДИСЛОВИЕ

Что будет определять развитие цивилизации в XXI веке и каким должно быть образование, чтобы обеспечить людей необходимыми знаниями? Совершенно очевидно, что сегодня к лидирующим, инновационным областям развития относится наноиндустрия, предсказанная в середине прошлого века и аккумулирующая в развитых странах всё большие интеллектуальные и материальные усилия. О нанотехнологиях пишут на всех языках мира — всерьёз и популярно, пишут даже об их очаровании (наверное, скорее — об их привлекательности для общества)!

Потому понятно желание многих рассказать об этой области знаний, объединяющей физику, химию, биологию и другие науки, как можно раньше. В Сингапуре с помощью конструктора Lego рассказывают о нанотехнологиях даже дошкольникам!

Существуют школьные программы за рубежом и в России, затрагивающие достижения нанонауки, но, как правило, это лекции, которые читают преподаватели старшеклассникам. Правильно написал о таких лекциях один из пользователей Интернета: «Это не кружки, это курсы лекций. На кружке что-то своими руками надо делать. Детям это интересно. А просто слушать — я думаю, им скоро станет скучно, и они разбегутся».

Именно по этой причине мы предлагаем не просто практикум по нанотехнологии для начинающих, а сборник творческих проектов, которыми сможет заняться, надеемся, с увлечением, каждый из вас.

В основе книги простая идея: при помощи экспериментов дать чёткое представление о том, как получают и как исследуют нанобъекты и какие удивительные свойства они проявляют. Другими словами, в начале изучения этой новой для вас науки выполните эксперименты, позволяющие разобраться «на пальцах» в базовых идеях нанотехнологии, и только потом беритесь за серьёзные научные исследования.

Примерно так же поступила замечательный американский педагог Дженис Ванклив в книге «Эксперименты по астрономии»*. Автор предложила 101 простой эксперимент, позволяющий *каждому* освоить основные понятия мира противоположных нашей

* Ванклив Дж. Эксперименты по астрономии — М.: АСТ, Астрель, 2009 г. — (Наука в удовольствие). — 240 с.

книге масштабов — гигантских расстояний, временных интервалов и масс, и тоже в домашней или школьной лаборатории.

Тематику проектных работ по нанотехнологиям для начинающих подсказал нам курс лекций, который читает академик РАН В. И. Минкин в Южном федеральном университете. Не обошлось и без личных пристрастий авторов, чья многолетняя работа связана с преподаванием естественнонаучных дисциплин и неослабевающим интересом к окружающему миру.

Часто в проектах мы предлагаем несколько вариантов исполнения, чтобы вы смогли выбрать наиболее интересный и доступный. И ещё: выполняя даже простые эксперименты, непременно соблюдайте правила техники безопасности! Указания по технике безопасности приведены в разделе «Правила техники безопасности при проведении химического эксперимента», а также в каждом проекте указаны те правила, на которые следует обратить внимание при проведении именно этой работы.

Конечно, увидеть в специальном микроскопе нанообъекты в школе (не в «Нанотраке» — сложнейшей передвижной обучающей нанолаборатории) остаётся для большинства мечтой, а вот посмотреть в статике или даже подвигать на экране компьютера — это вполне осуществимо. Именно поэтому мы подготовили электронное приложение, где представлены захватывающие изображение нанообъекты. Найти это приложение можно по адресу <http://nano.dcho.ru>.

Полезной эта книга будет и для студентов естественнонаучных факультетов университетов, впервые знакомящихся с нанотехнологией. Следуя самой логике развития нанотехнологии, мы при этом не стали разделять проекты по традиционному принципу (для химиков, физиков, биологов и т. д.). В пределах каждой научной специализации читатель сможет найти для себя полезное.

Гуманитарии, которые хотят прикоснуться к таинственной для себя области знаний (а таких сегодня становится всё больше и больше), смогут найти немало доступных экспериментов для «нанонауки на кухне». Те читатели, которые увлекаются или профессионально занимаются искусством, смогут почерпнуть идеи для популярного *Art&Science*, потому что большинство нанообъектов по-настоящему высокохудожественны (Общество исследования материалов (Materials Research Society), начиная с 2005 г., проводит конкурс «Наука как искусство»).

На обложке книги «Эксперименты по астрономии» помещены слова, точно передающие главную мысль Дженис Ванклив: «Захватывающие проекты и мероприятия для школы и просто в удовольствие». Именно в таком же ключе старались работать и мы. Ну а насколько захватывающей получилась работа, судить вам.

Предложения, замечания и ответы на поставленные в каждой работе вопросы вы можете направлять по электронным адресам vv_ozher2@sfedu.ru Валерию Анатольевичу Озерянскому, all13@yandex.ru Михаилу Ефимовичу Клецкому или на почту Естественнонаучного музея Южного федерального университета (info@museion.ru), давно и плодотворно сотрудничающего с издательством «БИНОМ. Лаборатория знаний».

Отметим также опубликованные на сайте <http://www.panometer.ru> (Библиотека: методические материалы для учителей: каталог проектных работ) нанотехнологические проекты, правда, рассчитанные не всегда на уровень школьных возможностей.

Также на сайте методической службы издательства «БИНОМ. Лаборатория знаний» (methodist.Lbz.ru) организован лекторий В. А. Озерянского (в меню Лекторий), в котором авторы размещают дополнительные материалы и отвечают на вопросы учителей, учащихся и родителей.

Успехов и новых открытий в наномире!

Авторы

ИСТОРИЯ ДОСТИЖЕНИЙ

Наномир населён мельчайшими объектами, размер которых хотя бы в одном из измерений не превышает примерно 100 нанометров. Один нанометр (нм) — это одна миллиардная часть метра, или $1 \cdot 10^{-9}$ м. Слово «нанометр» произошло от греческих слов «нанос» — карлик и «метро» — мера. В одном нанометре помещается всего от трёх до шести атомов.

Любые целенаправленные преобразования вещества на нанометровом уровне составляют фундамент нанотехнологий (термин впервые использовал в 1974 г. японский учёный Норио Танигучи). Материалы с заранее заданными составами, размерами и структурой, которые получают с использованием нанотехнологий и свойства которых существенно зависят от входящих в их состав нанобъектов, называются наноматериалами.

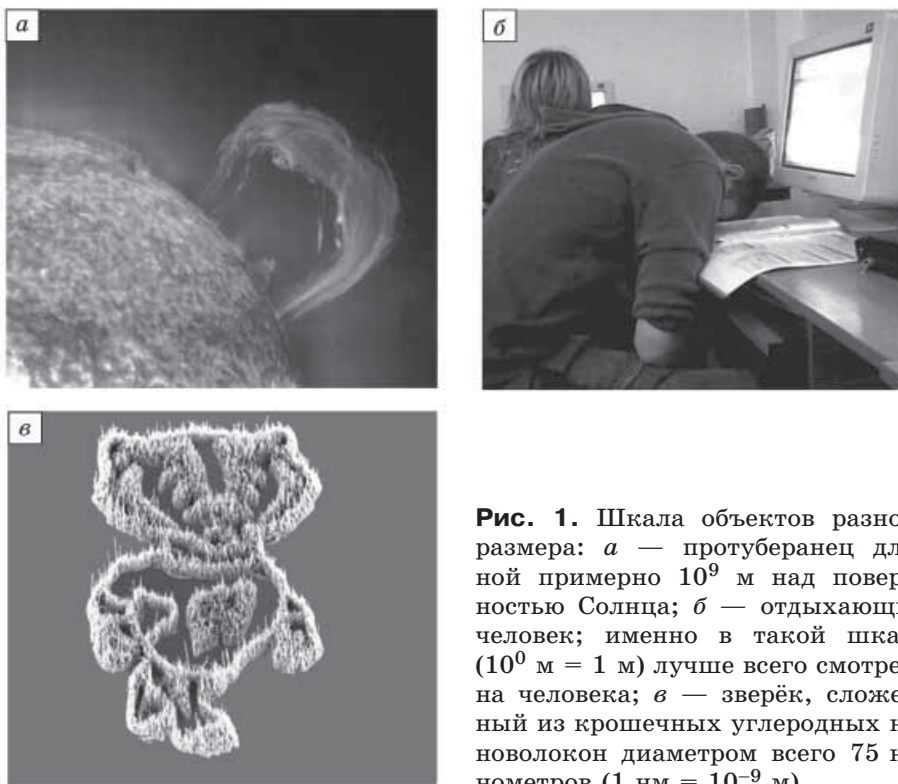


Рис. 1. Шкала объектов разного размера: *a* — протуберанец длиной примерно 10^9 м над поверхностью Солнца; *б* — отдыхающий человек; именно в такой шкале (10^0 м = 1 м) лучше всего смотреть на человека; *в* — зверёк, сложенный из крошечных углеродных нановолокон диаметром всего 75 нанометров (1 нм = 10^{-9} м)

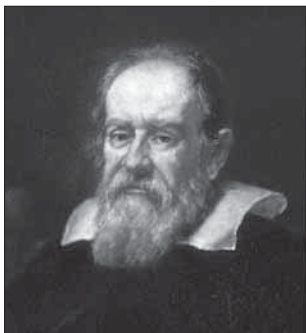
Изучает устройство наномира так называемая **нанонаука** — междисциплинарная область знаний, объединяющая физику, химию, биологию, медицину, материаловедение, электронную и компьютерную технику. Таким образом, нанонаука — это совокупность всех знаний о свойствах вещества на нанометровом уровне. Выделяют также наноинженерию, занимающуюся поиском эффективных методов использования наноматериалов. Именно нанонаука, наряду с информатикой и молекулярной биологией, является важнейшим направлением развития науки и технологии XXI в. Организаторы российской научной конференции в 2007 г. очень точно назвали её «От наноструктур, наноматериалов и нанотехнологий к наноиндустрии».

В этом же 2007 г. норвежским филантропом Фредом Кавли была учреждена премия в 1 миллион долларов за выдающиеся достижения в астрофизике, нанотехнологии и неврологии. Премия Кавли, дополняющая Нобелевскую, вручается один раз в два года, начиная с 2008 г. Учредитель объяснил свой выбор так: «Я решил поддержать три области науки: одна занимается самым большим, другая — самым маленьким, третья — самым сложным» (рис. 1).

Появление нанонауки невозможно было без понимания того, что физические характеристики объекта зависят от его размеров и формы. Часто эту зависимость называют **размерным эффектом**. Впервые на неё обратил внимание Галилео Галилей. В 1638 г. он опубликовал свою последнюю книгу «Беседы и математические доказательства двух новых наук», в которой, рассуждая о прочности костей и строительных балок, писал так: «Если вам требуются кости для более крупного животного, которое, скажем, в два раза выше, толще и длиннее нормального, то вес этого животного увеличится в восемь раз, и, следовательно, вам нужны кости, которые выдерживали бы восьмикратную нагрузку. Но прочность кости зависит от размеров её поперечного сечения, а поэтому если вы увеличите все кости по сравнению с прежним в два раза, то их поперечное сечение увеличится лишь в четыре раза, и, следовательно, они смогут выдерживать лишь четырёхкратную нагрузку...»*.

Спустя столетия оказалось, что размерные эффекты, подмеченные Галилеем, особенно важны именно для наночастиц и что, отправляясь в путешествие в наномир, надо быть готовым увидеть совершенно иные эффекты (их называют квантово-механическими), несвойственные миру больших тел.

* Цитата из книги *Ричард Фейнман. Характер физических законов*. — М.: ИЦ ЭНАС, 2008. — 256 с.



Галилео Галилей (1564–1642)

Итальянский физик, механик, астроном, философ, писатель и математик, оказавший значительное влияние на науку своего времени.

Основные достижения Галилея:

- 1) изобретение гидростатических весов, которые нашли применение при взвешивании драгоценных металлов и их сплавов;
- 2) экспериментальное и теоретическое установление основных законов механики;
- 3) создание своего варианта телескопа;
- 4) открытие гор на Луне, четырёх спутников

Юпитера, звёздного состава Млечного Пути, пятен на Солнце, фазы у Венеры;

5) формулировка идеи конечности скорости света и проведение экспериментов по её определению.

Галилей развил главные положения гелиоцентрической теории Коперника. 12 апреля 1633 г. он был арестован и предстал перед инквизицией. Суд вынес осуждающий приговор, и Галилей отрёкся от своего учения. Известное предание о вырвавшейся у Галилея после отречения фразе «а всё-таки она вертится» недостоверно. В реальности Галилей был измучен борьбой и желал только спокойствия.

Вопросы для размышлений

1. В истории Кинг-Конга допущена принципиальная ошибка. Какая?
2. Почему чемпионами в фигурном катании на коньках и гимнастике обычно становятся невысокие люди?

Впервые получение наноразмерных объектов, тогда неосознанное, случайное, люди предприняли много лет назад, когда в Древнем Египте стали окрашивать волосы в чёрный цвет, научились выплавлять дамасскую сталь и получать цветные стёкла, успокаивать штормящее море вылитым на него жиром, получать под воздействием света изображение на фотоплёнке и фотобумаге.

Наиболее выдающиеся примеры использования наноразмерных частиц в древности — кубок Ликурга (см. цветную вклейку рис. Ц-1), хранящийся в Британском музее, и средневековые храмовые витражи. В стекле кубка (так называемой диатреты) — мельчайшие частицы золота и серебра размером не более 100 нм, использованные античными мастерами в соотношении 3 : 7. Если

эту зеленоватую чашу (см. цветную вклейку рис. Ц-1, а) осветить изнутри, она становится красной (см. цветную вклейку рис. Ц-1, б).

Аналогично получали и великолепное витражное стекло (см. цветную вклейку рис. Ц-2). Так же, как и в кубке Ликурга, его делали цветным наночастицы металлов. Недавно учёные доказали: витражное стекло выполняло в древности (и даже сейчас!) также функции очистителя среды от грязи благодаря тому, что на солнце мельчайшие частицы золота и других металлов превращаются в катализатор для очистки!

Осмысление наномира началось в 1857 г., когда гениальный Майкл Фарадей сформулировал вопрос: что происходит со свойствами обычного металла (например, золота) при его сильном измельчении и можно ли добиться такого измельчения, при котором металл вообще потерял бы свои известные свойства?

Фарадею удалось получить такие частицы золота, которые ни по внешнему виду, ни по своим свойствам уже ничем не напоминали металл (они, как выяснилось позже, имели размер от нескольких десятков до тысяч ангстрем (10^{-10} м) и содержали от нескольких тысяч до миллиона атомов металла).

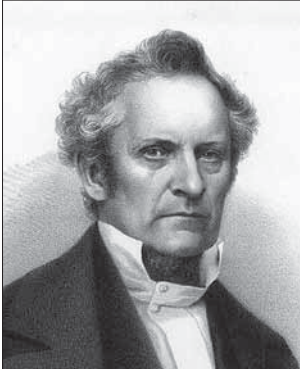
Годом позже Юлиус Плюккер сумел получить тонкие металлические плёнки из наночастиц при испарении металлического катода в разреженных газах, а в 1880 г. Томас Эдисон получил их же, но уже в вакууме. Много лет спустя, в середине XX в., были случайно открыты такие необычные нанообъекты, как нитевидные кристаллы, и изучены их свойства.

Майкл Фарадей (1791–1867)

Английский физик и химик, основоположник учения об электромагнитном поле. Обнаружил химическое действие электрического тока, взаимосвязь между электричеством, магнетизмом и светом. Открыл электромагнитную индукцию, установил законы электролиза, открыл пара- и диамагнетизм, вращение плоскости поляризации света в магнитном поле, высказал идею существования электромагнитных волн.

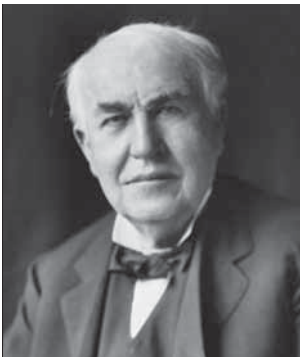


Историк Илья Бузукашвили написал: «Его называли властителем молний и королем физиков. А он всю жизнь оставался скромным, читал лекции для детей и верил в великие тайны Природы и Бога. Майкл Фарадей, искатель невидимых превращений».



Юлиус Плюккер (1801–1868)

Немецкий физик и математик. Крупнейшие достижения в области аналитической геометрии, спектральных свойств атомов и молекул азота, водорода и других веществ.



Томас Алва Эдисон (1847–1931)

Американский физик. Не получил систематического образования, однако стал главным изобретателем своего поколения.

Изобрёл угольный передатчик для телефона и фонограф. Используя угольную нить, создал первый коммерчески рентабельный вариант электрической лампочки. Построил первую в мире постоянно действующую электростанцию для освещения. Создал первую экспериментальную модель киноаппарата. Построил первые электровозы, положил начало электронике.



Петер Адольф Тиссен (1899–1990)

Ученик лауреата Нобелевской премии по химии Рихарда Зигмонди. Автор монографии «Критические исследования коллоидного золота» (1923 г.). До 1945 г. профессор Берлинского университета и директор Института физической химии кайзера Вильгельма. В 1940–1950-е гг. работал в СССР в атомной программе по созданию первой советской атомной бомбы.

С 1966 г. иностранный член АН СССР. Член АН ГДР. Лауреат многих наград СССР и ГДР. В руководимом им институте начинала свою научную карьеру нынешний канцлер ФРГ физико-химик Ангела Меркель.

В начале XX в. работы в области изучения наноразмерных и коллоидных частиц металлов* не прерывались. Важнейшая работа этого времени была выполнена выдающимся немецким физико-химиком П. А. Тиссенном.

Вопросы для размышлений

1. Во сколько раз возрастёт площадь поверхности шара диаметром 1 м, если его разрезать на 10^{15} кусочков?

В 1930-х гг. в естественных науках произошла подлинная революция — окончательно утвердилась квантовая механика, явившаяся также теоретическим фундаментом нанонауки. Тем не менее вплоть до 1980-х гг. о наноиндустрии можно было только мечтать, и тому было в основном две причины:

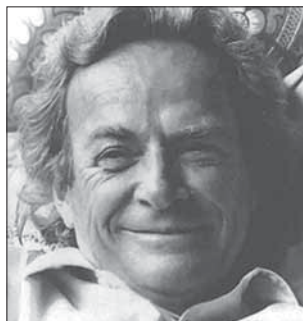
- 1) отсутствие аппаратуры для получения нанообъектов, многие из которых рождаются только в экстремальных условиях высоких температур или давлений,
- 2) отсутствие средств их наблюдения — особых микроскопов и связанных с ними мощных компьютеров.

Появление нанонауки было предсказано в 1959 г. Ричардом Фейнманом, а в 1981 г. сотрудниками фирмы IBM Гердом Биннигом и Генрихом Рорером был сконструирован работающий на принципах квантовой механики сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) — не только «всевидящее око» в наномир, но и манипулятор для создания нанообъектов (нанофабрикация). В СТМ изготовленный из сплавов благородных металлов зонд

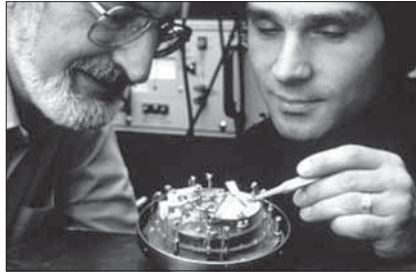
Ричард Филлипс Фейнман (1918–1988)

Выдающийся американский физик-теоретик, создатель квантовой электродинамики, теории слабых взаимодействий, теории квантовых вихрей в сверхтекучем гелии, математического аппарата теории взаимопревращений элементарных частиц (диаграммы Фейнмана).

Лауреат Нобелевской премии по физике 1965 г. (совместно с С. Томонагой и Дж. Швингером) за фундаментальные работы по квантовой электродинамике, имевшие глубокие последствия для физики элементарных частиц.



* О коллоидном золоте вы узнаете подробно в разделе нашей книги, посвящённом проектам.



Генрих Рорер (род. 1933) (слева) и Герд Карл Бинниг (род. 1947) (справа)

Генрих Рорер — швейцарский физик и Герд Карл Бинниг — немецкий физик, разработавшие совместно в исследовательской лаборатории ИВМ в Цюрихе (Швейцария) сканирующий туннельный микроскоп, за что в 1986 г. разделили половину Нобелевской премии по физике (вторую половину премии получил Эрнст Руска «за работу над электронным микроскопом»).

Позже Бинниг разработал также трансмиссионный микроскоп.

с кончиком толщиной всего в несколько атомов перемещается над проводящей ток поверхностью. Если острие зарядить положительно, то электроны поверхности притянутся к нему и создадут ток. Измеряя этот ток, СТМ может построить точный атомный рельеф изучаемой поверхности.

Игла СТМ может осуществить литографию (нанесение рисунка на поверхность), что позволило в 1989 г. Дону Эйглеру составить на никелевой пластинке слово ИВМ из 35 атомов ксенона (рис. 2, а).

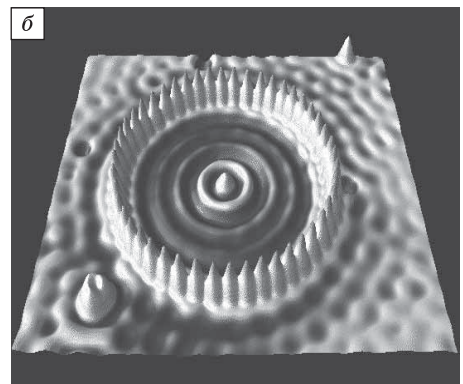
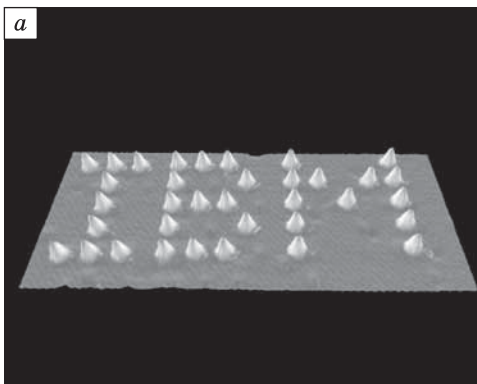


Рис. 2. Логотип ИВМ из атомов ксенона (а) и «квантовый загон» Эйглера, Кромми и Лутца (б)

В 2007 г. один из лучших научных журналов по материаловедению «Journal of Minerals, Metals and Materials Society» (США) внёс эту работу и её автора в список 100 наиболее важных событий и людей, оказавших значительное влияние на развитие науки — от древнейшей обожжённой керамики (более 28 тыс. лет до н. э.) до наших дней.

Вопросы для размышлений

1. Почему при изучении нанобъектов используют электронные, а не оптические микроскопы?

В 1993 г. Дональд Эйглер и его коллеги по ИВМ Майкл Кромми и Крис Луц сумели при помощи микроскопического острия создать на поверхности металлической пластины «рябь электронов», размещённых внутри кольца из атомов железа («квантовый загон» или потенциальная яма). Тем самым удалось впервые наглядно продемонстрировать волновую природу электронов и способность электронных волн к интерференции, как, например, у воды (рис. 2, б).

Помимо СТМ, в нанотехнологиях используют другие мощные микроскопы — атомный силовой, сканирующий электронный и просвечивающий электронный.

Сейчас нанобъекты создают двумя разными способами — «сверху–вниз», или «от большего к меньшему» (как в экспериментах М. Фарадея, Ю. Плюккера, Т. Эдисона или в литографии) и «снизу–вверх». В первом случае массивный материал дробят химически или механически до наноразмеров. Во втором — наноси-

Дональд М. Эйглер (род. 1954)

Дональд Эйглер получил степень бакалавра и степень доктора философии Калифорнийского университета Сан-Диего. Ему потребовались 18 месяцев, чтобы создать очень низкую температуру, высочайший вакуум и с помощью СТМ стать первым человеком в истории, который может перемещать и управлять отдельными атомами. Часто публично высказывается о взаимоотношениях между нанотехнологией и обществом. Раньше занимался серфингом и восстановлением автомобилей, теперь — дрессировкой собак для помощи инвалидам. Живет в горах Санта-Круз. Лауреат премии Кавли 2010 г.



[. . .]