

УДК 37.013

Методические особенности изложения современных разделов физики и нанотехнологий в вузовском курсе физики

Филиппов Владимир Владимирович

Доктор физико-математических наук, доцент,
Липецкий государственный педагогический университет им. П.П. Семенова-Тян-Шанского,
398020, Российская Федерация, Липецк, ул. Ленина, 42,
e-mail: wwfilippow@mail.ru

Федосова Екатерина Юрьевна

Студент,
Липецкий государственный педагогический университет им. П.П. Семенова-Тян-Шанского,
398020, Российская Федерация, Липецк, ул. Ленина, 42,
e-mail: fedosowa-katya2016@yandex.ru

Аннотация

Актуальные стандарты высшего и специального профессионального образования являются ориентированными на конкретные практические виды профессиональной деятельности. Возникла четкая необходимость в формировании современных знаний в области физических наук и наук о материалах. Статья посвящена методическим особенностям изложения современных разделов физики и нанотехнологий в вузовском курсе. В работе подробно рассмотрены особенности введения таких важных понятий как «нанотехнологии» и «наночастицы», типы наноматериалов и основные направления исследования по физике низкоразмерных структур. Кроме того, приведены одни из наиболее распространенных заблуждений (мифов), касающихся новых технологий: миф об основателе нанотехнологий, миф о безотходной технологии, миф о наномашинах, миф о нанороботах и другие. Приводится большое количество аргументов, убеждающих нас в том, что на сегодняшний день методическое изложение современных направлений физики находится не на достаточно высоком уровне и требует к себе повышенного внимания и изучения.

Для цитирования в научных исследованиях

Филиппов В.В., Федосова Е.Ю. Методические особенности изложения современных разделов физики и нанотехнологий в вузовском курсе физики // Педагогический журнал. 2018. Т. 8. № 5А. С. 161-167.

Ключевые слова

Физические основы нанотехнологий, нанотехнологии, наночастицы, наноматериалы, мифы о нанотехнологиях.

Введение

На данный момент программа вузовских учебных курсов и классических учебников, как правило, не отражает тенденции развития и открытия в современной физике. Большая часть открытий в физике элементарных частиц, физике конденсированного состояния, нанотехнологий, физической электроники, современная астрофизика и др. либо отражены недостаточно, либо вообще не входят в курсы «Общая и экспериментальная физика» и «Теоретическая физика» (примерное название). Решение данной проблемы весьма актуально, что поставило необходимость в разработке новой литературы для вузов по современным разделам физики [Типлер, Ллуэллинг, 2007].

Образовательные стандарты третьего поколения для высшей школы позволяют в значительной степени варьировать содержание курсов по выбору. При подготовке будущих инженеров, научных работников, учителей физики дополнительно реализуемые курсы по выбору необходимо построить таким образом, чтобы студенты (будущие преподаватели) понимали и ориентировались не только в устоявшихся разделах физики, но и в современных, в том числе прикладных вопросах.

Структура вводимых образовательным учреждением спецкурсов (курсов по выбору) должна отражать проблематику современной физики в областях макрофизики (нелинейная физика, физические основы электроники и нанотехнологий, сверхмощные источники излучений, сверхпроводимость), микрофизики (физика ядра и частиц, проблемы управляемого термоядерного синтеза, теории объединения) и астрофизики (черные дыры, гравитационные волны, темная материя и темная энергия) [Гинсбург, 2007, 346]. Изложение данных разделов возможно лишь при наличии фундаментальных знаний по классическим разделам общей физики. Для закрепления и углубления знаний лекционный курс (с наличием видео-презентаций и других наглядных материалов) сопровождается практическими занятиями с конкретными расчетными задачами, рефератами, проектами и другими видами работ. Весьма полезно для приобретения новых знаний участие в работе учебно-научных групп, функционирующих на кафедре, а также написание курсовых и выпускных квалификационных работ по современным проблемам физики.

Особенности изучения физики наноструктур

Остановимся далее более подробно на изучении особенностей физических основ нанотехнологий. Теоретическим базисом для изучения физики наноструктур являются квантовая механика и физика твердого тела. Основы физики нанообъектов в зависимости от уровня изучения описаны в учебных пособиях [Пул, Оуэнс, 2010; Светухин, 2008].

При формировании знаний в области квантовой физики нанообъектов одной из основных сложностей является формирование современных знаний и исключение исторически закрепившихся «мифов».

Первоначально определимся, что необходимо понимать под нанотехнологией.

Термин «нанотехнология» (nanotechnology) был введен в 1974 году профессором-материаловедом из Токийского университета Норио Танигучи (Norio Taniguchi), который определил его как «технология производства, позволяющая достигать сверхвысокую точность и ультрамалые размеры порядка 1 нм».

Нанотехнология – это совокупность технологических методов, применяемых для изучения, проектирования и производства материалов, устройств и систем, включая целенаправленный контроль и управление строением, химическим составом и взаимодействием составляющих их отдельных элементов нанодиапазона (ГОСТ Р 55416-2013).

Согласно «Концепции развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий» нанотехнология определяется, как совокупность методов и приёмов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм, хотя бы в одном измерении, и в результате этого получившие принципиально новые качества, позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба.

Современная тенденция к миниатюризации показала, что вещество может иметь совершенно новые свойства, если взять очень маленькую частицу этого вещества. Частицы размерами от 1 до 100 нанометров обычно называют «наночастицами». Так, например, оказалось, что наночастицы некоторых материалов, ввиду относительно большой доли поверхностных атомов, имеют очень хорошие каталитические и адсорбционные свойства. Другие материалы показывают удивительные оптические свойства, например, сверхтонкие пленки органических материалов применяют для производства солнечных батарей. Такие батареи, хоть и обладают сравнительно низкой квантовой эффективностью, зато более дешевы и могут быть механически гибкими.

Согласно рекомендации 7-ой Международной конференции по нанотехнологиям (Висбаден, 2004 г.) выделяют следующие типы наноматериалов: нанопористые структуры; наночастицы; нанотрубки и нановолокна; нанодисперсии (коллоиды); наноструктурированные поверхности и пленки; нанокристаллы и нанокластеры.

Если говорить вообще о нанотехнологиях, то под нанотехнологиями обычно понимают три направления исследований:

1. Сборка новых веществ, материалов и конструкций из индивидуализированных элементов нанометровых размеров.
2. Синтез новых материалов, основу которых составляют частицы с указанными размерами (примерно 1-100 нм).
3. Модификация известных веществ и конструкций с применением наноструктурных элементов.

Управление размерами не только позволяет «увидеть во всей красе» квантовые явления (дискретный энергетический спектр, туннельные эффекты), но и изменять основные свойства материалов и создавать таким образом новые структуры, применяемые в различных областях. Все современные электронные приборы в какой-то мере уже используют нанотехнологии.

Мифы нанотехнологий и их критический анализ

Каждая новая технология постепенно способствует формированию достаточного количества надежд и мифов. Перечислим основные, наиболее известные в литературе мифы нанотехнологий.

1. Нанотехнологии – технологии сборки предметов из отдельных атомов. Необходимо отметить, что данное заблуждение существует даже среди людей принадлежащих к научному сообществу. Ошибочно то, что нанотехнологии – это в первую очередь управление атомами и конструирование объектов на основе сборки из атомов. Реальные нанотехнологические

процессы совершенно противоречат данному мифу. Сборка объекта из отдельных атомов – это уникальные, редкие случаи.

2. Миф об «отце-основателе» нанотехнологий. Самый безобидный в цепочке мифов – приписывание Ричарду Фейнману, специалисту в области квантовой теории поля и физики элементарных частиц, роли отца-основателя нанотехнологии. Миф основан на его нобелевской лекции «Там, внизу, еще полно места», однако в данной лекции Р. Фейнман говорил далеко не о нанотехнологиях [Фейнман, www].

3. Миф о безотходной технологии. Создавая какой-либо объект атом за атомом, мы применяем безотходную технологию. Однако, вопрос, откуда берутся атомы для сборки, мало кого интересует, а связь этих продуктов с химической промышленностью пока не просматривается. На данный момент химическая промышленность масштабно и без экономии расходует природные ресурсы, для новой технологии.

3. Миф о наномашинках. Сущность идеи о том, что для конструирования на наноуровне необходимо иметь управляющий механизм соответствующего размера, очевидна, по аналогии с существованием микроэлектромеханических устройств. Однако, нанобъекты обладают совершенно иными свойствами: проводники зачастую становятся диэлектриками, сила трения невероятно растет и т. д. У нанобъектов значительная парусность, даже частица размером в 1 мкм ощущает на себе силу ударов небольших молекул, что же говорить об структурах в 10 нм, которые и весят меньше в миллионы раз и соотношение веса к площади меньше в 100 раз? Однако в популярных журналах и СМИ постоянно встречаются описания наноконструкций гаек, шестеренок и прочих механических деталей, из которых и предполагается создавать работающие машины. К таким проектам серьезно относиться нельзя.

4. Миф о нанороботах. Развитие идеи наномашин – это нанороботы, которые по чертежу будут составлять наноустройства согласно заданной человеком программе. Кроме того, необходимо каким-либо образом наблюдать за всем процессом, например, с помощью электронного микроскопа, имеющего макроразмеры. Причем вопрос визуализации атомов и молекул как-то растворился, оказалось вполне естественным, что наноробот, оперирующий объектами сопоставимых с ним размеров, «видит» их. Манипулятор, «захвативший» атом, надежно соединится с ним вследствие химического взаимодействия. Нанороботу не хватит памяти для совершения последовательности элементарных действий.

5. Миф о физическом методе синтеза веществ. В своей знаменитой лекции Ричард Фейнман нечаянно выдал тайную вечную мечту физиков: «Химики будут заказывать синтез, а физики – просто «укладывать» атомы в нужном порядке». Это в корне ошибочно. Молекула – это группа атомов, не просто сложенных в необходимом порядке, но еще и соединенных химическими связями. По такой схеме, например, для получения одного грамма воды придется провести ее «физический» синтез примерно 10^{23} раз.

6. Возможность появления «серой слизи». В своих произведениях Эрик Дрекслер [Дрекслер, 2014] ввел в техническую концепцию два типа устройств. Первые – разборщики, их прямые функции обратны сборщикам. Такие устройства должны были изучать структуру нового предмета, храня в памяти наноконструктора его поатомное строение. Если допустить, что продолжительность репликации будет измеряться минутами, то, согласно геометрической прогрессии, за сутки будет создано более триллионов новых создателей, которые изготовят новых сборщиков. Данный миф утверждает, что вероятно появление такой ситуации, когда система перейдет лишь в режим неудержимого клонирования, а вся деятельность репликаторов будет обращена лишь на умножение собственной популяции. Миф о конце света совсем не нов,

неудивительно, что он возник с появлением данной новой технологии (припомним сколько мифов о конце света было до запуска Большого адронного коллайдера). Однако, указанный ход событий совершенно невозможен. Даже если допустить возможность сборки чего-то существенного из атомов, необходимо учесть следующее. Прежде всего, у репликаторов Дрекслера не будет хватать сложности для создания подобных себе. Даже 100 миллионов атомов будет обладать малой памятью 12,5 мегабайт (1 бит на атом), что очевидно недостаточно для данной деятельности. Кроме того, репликаторы не смогут получать нужное для себя сырье. Ведь их элементный состав должен заметно различаться с тем, что входит в состав окружающей среды, в том числе и биомассы. Чтобы отыскать, доставить и извлечь необходимые элементы атомов потребуется немало времени и энергии, а это и обуславливает быстроту воспроизводства.

Это далеко не полный перечень мифов нанотехнологий. Интересующегося читателя можно отослать к сайту «нанометра» [Эрлих, 2010] и сайту мифов техники [Нанотехнологии, www]. Для полноценного осознания ошибочности вышеуказанных утверждений необходимо формирование знаний в области смежных дисциплин (математика, информатика, химия), а также понимание истории развития естественных наук и в частности истории физики, её взаимосвязь с научно-техническим прогрессом. Это дополнительное раз доказывает о необходимости формирования у обучающихся технических и естественно-научных профилей знаний в области истории развития науки и техники.

Вместе с тем мифы нанотехнологий привлекают к себе внимание экономистов и политиков и играют определенную положительную роль.

Заключение

Наиболее яркие применения нанотехнологий, реализуемых в современной промышленности, технологиях, медицине и прочих сферах можно найти в журналах «Наноиндустрия», «Российские нанотехнологии», «Нано- и микросистемная техника», «Нанотехника» и других тематических периодических изданиях.

Нанотехнология – это новая перспективная отрасль науки и техники и основные открытия нас только ожидают, причем, скорее всего они будут самыми неожиданными. Наука и техника неоднократно убеждались в этом на различных этапах исторического развития.

Преподавание физических основ нанотехнологий можно в рамках смежных дисциплин: 1-2 лекции (1-2 лабораторные работы) в рамках изучения физики твердого тела или физики полупроводников [Пул, Оуэнс, 2010], решение задач по квантовой механике наноструктур [Драгунов, Неизвестный, Гридчин, 2018] и т.п. Таким образом, формирование знаний основ нанотехнологий возможно за счет выделения 1-2 занятий смежных дисциплин, для освещения вопросов современных разделов.

Сегодня в мире происходит настоящая революция, обусловленная развитием и выходом на рынок нанотехнологий – «самых высоких» технологий, основанных на наночастицах, размеры которых не превышают 100 нм. Это ведет нас в наномир – мир «умных» материалов, приборов и лекарственных веществ, инновации в которых могут дать новые знания, достижения во многих отраслях науки и промышленности. Знаменитый американский физик Э. Теллер говорил: «Тот, кто раньше других овладеет нанотехнологией, займет ведущее место в техносфере XXI века».

Библиография

1. Гинсбург В.Л. «Физический минимум» – какие проблемы физики и астрофизики представляются особенно важными и интересными в начале XXI века // Успехи физических наук. 2007. №4. С. 346.
2. ГОСТ Р 55416-2013.
3. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Нанoeлектроника. М.: Юрайт, 2018. Ч. 1. 286 с.
4. Дрекслер Э. Всеобщее благоденствие. Как нанотехнологическая революция изменит цивилизацию. М., 2014. 504 с.
5. Нанотехнологии. URL: <http://www.molomo.ru/myth/nanotechnologies.html>
6. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2010. 340 с.
7. Светухин В.В. Введение в нанотехнологии. Модуль «Физика». Элективный курс. Ульяновск, 2008. 160 с.
8. Типлер П.А., Ллуэллин Р.А. Современная физика. М.: Мир, 2007. Том 1. 496 с.
9. Фейман Р. URL: <http://do.chem.msu.su/rus/jvho/2002-5/4>
10. Эрлих Г.В. Мифы нанотехнологий. URL: http://www.nanometer.ru/2010/06/04/12756380321857_214259.html

Methodical features of the presentation of the modern sections of physics and nanotechnology in the university course of physics

Vladimir V. Filippov

Doctor of Physics and Mathematics, Associate Professor,
Lipetsk State Pedagogical University named after P.P. Semenov-Tyan-Shansky,
398020, 42, Lenina st., Lipetsk, Russian federation;
e-mail: wwfilippov@mail.ru

Ekaterina Yu. Fedosova

Graduate Student,
Lipetsk State Pedagogical University named after P.P. Semenov-Tyan-Shansky,
398020, 42, Lenina st., Lipetsk, Russian federation;
e-mail: fedosowa-katya2016@yandex.ru

Abstract

Actual standards of higher and special vocational education are focused on specific practical types of professional activity. The article is devoted to the methodological features of the presentation of the modern sections of physics and nanotechnology in the university course. A modern bachelor's degree program should contain a relatively large proportion of elective courses, the content of which should reflect current knowledge in various branches of physics and related sciences. In this paper, the features of the introduction of such important concepts as "nanotechnologies" and "nanoparticles", types of nanomaterials and the main directions of research in the physics of low-dimensional structures are considered in detail. In addition, one of the most common misconceptions (myths) concerning new technologies is presented: the myth about the founder of nanotechnology, the myth of waste-free technology, the myth of nanomachines, the myth of nanorobots and others. The existence of these myths became possible due to a lack of understanding of the fundamental principles of nanotechnology. Physics, mathematics, computer science, chemistry, biology, medicine, and technology combine in nanotechnology to simultaneously understand each other more deeply, to identify the most significant interdisciplinary

connections. There is a large number of arguments that convince us that today the methodological presentation of modern physics is not at a sufficiently high level and requires increased attention and study. It is proposed to introduce the physical foundations of nanotechnology within the blocks of various branches of physics.

For citation

Filippov V.V., Fedosova E.Yu. (2018) Metodicheskie osobennosti izlozheniya sovremennykh razdelov fiziki i nanotekhnologii v vuzovskom kurse fiziki [Methodical features of the presentation of the modern sections of physics and nanotechnology in the university course of physics]. *Pedagogicheskii zhurnal* [Pedagogical Journal], 8 (5A), pp. 161-167.

Keywords

The physical foundations of nanotechnology, nanotechnology, nanoparticles, nanomaterials, myths about nanotechnology.

References

1. Dragunov V.P., Neizvestnyi I.G., Gridchin V.A. (2018) *Nanoelektronika* [Nanoelectronics]. Moscow: Yurait Publ. Part 1.
2. Drexler E. (2014) *Vseobshchee blagodenstvie. Kak nanotekhnologicheskaya revolyutsiya izmenit tsivilizatsiyu* [Universal Prosperity. How the nanotech revolution will change civilization]. Moscow.
3. Ehrlich G.V. *Mify nanotekhnologii* [Myths on nanotechnologies]. Available at: http://www.nanometer.ru/2010/06/04/12756380321857_214259.html [Accessed 10/10/2018]
4. *Feynman R.* Available at: <http://docheMoscowmsu.su/rus/jvho/2002-5/4> [Accessed 10/10/2018]
5. Ginsburg V.L. (2007) «Fizicheskii minimum» – kakie problemy fiziki i astrofiziki predstavlyayutsya osobenno vazhnymi i interesnymi v nachale XXI veka [“Physical minimum”: which problems of physics and astrophysics seem to be especially important and interesting at the beginning of the XXI century]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Advances in physical science], 4, p. 346.
6. *GOST R 55416-2013.*
7. *Nanotekhnologii* [Nanotechnology]. Available at: <http://www.molomo.ru/myth/nanotechnologies.html> [Accessed 10/10/2018]
8. Poul Ch., Owens F. (2010) *Nanotekhnologii* [Nanotechnology]. Moscow: Tekhnosfera Publ.
9. Svetukhin V.V. (2008) *Vvedenie v nanotekhnologii. Modul' «Fizika». Elektivnyi kurs* [Introduction to nanotechnology. Module “Physics”. Elective course.]. Ulyanovsk.
10. Tipler PA, Lluellin R.A. (2007) *Sovremennaya fizika* [Modern physics]. Moscow: Mir Publ. Vol. 1.