

УДК 53 (075. 8)

Захаров Владимир Геннадьевич, канд. физ.-мат. наук, доц.,
МАИ, Россия, 125871, Москва, Волоколамское ш., 4, vladimir.zakharov@list.ru
Сазонова Зоя Сергеевна, д-р пед. наук, канд. физ.-мат. наук, проф.,
МАДИ, Россия, 125319, Ленинградский пр-т, 64, zoia.sazonova@gmail.com

БАЗОВЫЕ ПОНЯТИЯ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПРОГРАММ ДИСЦИПЛИНЫ «КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ»

Аннотация. Обсуждаются проблемы преподавания основ квантовой физики студентам современных инженерных вузов в условиях «жестких временных рамок», предусмотренных программой дисциплины «Концепции современного естествознания (КСЕ)». Установленные для изучения КСЕ жесткие временные ограничения не позволяют рассмотреть основные элементы классической и современной физики даже в относительно полном объеме, надежно обеспечивающем понимание принципиально значимых «ключевых» аспектов «КСЕ». Учет личностного опыта авторов, связанного с «включением» элементов квантовой механики в структуру учебной дисциплины «КСЕ», позволяет предложить вниманию заинтересованных субъектов возможный план курса «КСЕ» с учетом включения элементов квантовой механики.

Ключевые слова: инженерное образование; квантовая физика; учебные программы.

Zaharov Vladimir G., Ph. D., associate professor,
MAI, 4, Volokolamsk highway, Moscow, 125871, Russia, vladimir.zakharov@list.ru
Sazonova Zoya S., Dr. Sc., Ph. D., professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, zoia.sazonova@gmail.com

BASIC CONCEPTS OF QUANTUM PHYSICS FOR THE EXPERIMENTAL PROGRAMS OF THE DISCIPLINE "CONCEPTS OF MODERN SCIENCE"

Abstract. The problems of teaching the basics of quantum physics to students of modern engineering universities in the conditions of "rigid time frames" provided by the discipline program "Concepts of modern natural science (CSE)" are discussed. The strict time limits established for the study of the KSE do not allow us to consider the basic elements of classical and modern physics even in a relatively complete volume, which reliably provides an understanding of the fundamentally important "key" aspects of the "KSE". Taking into account the personal experience of the authors associated with the "inclusion" of elements of quantum mechanics in the structure of the discipline "KSE", allows us to offer the attention of stakeholders a possible course plan "KSE" with the inclusion of elements of quantum mechanics.

Key words: engineering education; quantum physics; educational programs.

Введение

Концепции современного естествознания – молодая дисциплина, уверенно занимающая своё место в программах инженерных и гуманитарных вузов России и зарубежных стран. Устоявшейся программы соответствующего образовательного курса в настоящее время пока не существует. Не менее трудно определить сущность этой дисциплины. Если когда-то вся наука существовала как единое целое и только затем наступила её дифференциация на физику, химию, биологию и другие науки, то теперь наблюдается обратный процесс: существующие учебники, например [1, 2, 3], демонстрируют тенденцию к интеграции.

Эта интеграция, однако, не сводится к простому синтезу, а обнаруживает стремление найти общий стержень, являющийся вектором дальнейшего развития. Этот стержень и является сущностью дисциплины.

Изначально, наука имела целостную сущность, и, интегрируя «входящие» в нее отдельные компоненты, развивалась как единое целое, не разделенное на отдельные составляющие. Затем наступил период её дифференциации. Одна за другой «объявляли» о своей индивидуальности физика, химия, биология и другие науки. Нельзя не обратить внимания на реализуемый в настоящее время «обратный» процесс. Значительное число хорошо известных учебников, например [1, 2, 3], демонстрирует тенденцию к интеграции. Нельзя не обратить внимания на следующую реальность. Наблюдаемый в настоящее время процесс активной интеграции научных дисциплин, не сводится к простому синтезу. Он обнаруживает стремление найти общий стержень, являющийся вектором дальнейшего развития. Этот стержень и является сущностью дисциплины.

Если не углубляться в детали обсуждаемой проблемы и перейти на «нулевой» уровень, то КСЕ для инженерных вузов определяется тремя базовыми дисциплинами: ФИЗИКА, ХИМИЯ, БИОЛОГИЯ (далее БД).

Всякие стремления усилить здесь роль гуманитарно-философских концепций неизбежно приводят к выхолащиванию естественнонаучного содержания дисциплины (сравни с изначальным определением КСЕ) и к уменьшению эффективного учебного времени.

При односеместровом курсе (и это *minimum – minimorum*) наиболее уместным представляется распределение времени поровну на каждую БД ($1/3$ физика + $1/3$ химия + $1/3$ биология). Однако при двухсеместровом курсе КСЕ долю физики, по-видимому, следует увеличить: ($1/2$ физика + $1/4$ химия + $1/4$ биология).

Физика в традиционных и технических университетах

Будем называть традиционными (или классическими) те университеты, которые и до «перестройки» назывались университетами. Именно в них преподавалась классическая фундаментальная наука. Техническое образование будущих инженеров обеспечивали институты (авиационными, автодорожными и др.).

Лучшие преподаватели классической физики внимательно следили за развитием каждой фундаментальной и технической дисциплины, отражая их прогресс в своих лекциях и учебниках (как, например, В.А. Алешкевич) [4]. Этот и другие его учебники по курсу общей физики являются наглядными примерами успешного соединения возможностей традиционной физики с новейшими достижениями современности. Именно этот факт является принципиально значимым для применения в дисциплине «КСЕ.» В работах [2, 5] подробно анализируются проблемы такого синтеза и их воздействие на развитие «КСЕ».

На основе анализа многолетнего опыта преподавания в современном техническом университете учебной дисциплины «КСЕ», авторы настоящей статьи считают возможным в качестве обоснованных рекомендаций

включить в практику лекционных занятий по КСЕ следующие структурные компоненты:

– *механика* – описание глобальных явлений с применением законов механики, имеющих важные практические применения (акустические волны – от фононов до сейсмических волн, волны на поверхности океана, течения, атмосферные явления);

– *молекулярная физика* – самоорганизация и хаос; кластеры, наноструктуры, биологические мембраны, полимерные жидкости и жидкие кристаллы; полимерные материалы, молекулярные проблемы экологии; энергия твёрдых тел и жидкостей в оболочках Земли; разрушение озонового слоя в атмосфере из-за человеческого фактора загрязнения атмосферы;

– *электромагнетизм* – новый подход к описанию свойств магнетиков и диэлектриков и новая терминология явлений; универсальное описание свойств металлов, полупроводников и диэлектриков на базе нового подхода к описанию свойств конденсированного вещества;

– *оптика* – новые физические принципы систем для описания обработки и передачи информации.

Физика, как неотъемлемая часть дисциплины «КСЕ», не может игнорировать изменения, привносимые в неё в процессе формирования науки как целого. Каждый студент и каждый преподаватель-исследователь должны интересоваться последними достижениями в тех разделах физики, к которым они имеют непосредственное отношение. С другой стороны, им необходимо систематически интересоваться прогрессом физики как целостной науки. Это принципиально важно и абсолютно необходимо в тех «критических точках», когда выполняются «революционные» эксперименты и пересматриваются ранее сложившиеся теории.

Место (позиция) квантовой физики в структуре междисциплинарной дисциплины «КСЕ»

Роль квантовой физики/механики трудно переоценить на фоне ничем не обоснованных, но, к сожалению, широко распространенных мнений, относительно того, что эта наука – всего лишь чисто теоретические изыскания, не имеющие ничего общего с реальной жизнью. Однако, как показала история, многие «теоретические изыскания» в дальнейшем откликнулись вполне конкретными и вполне ощутимыми последствиями. Полупроводники, высокотемпературная сверхпроводимость, нано-технология и голография – это самые яркие примеры творческого развития теорий (хотя, и в самом деле, от фундаментальных наук нельзя ожидать немедленных практических достижений и коммерческих выгод).

На основе собственного многолетнего научно-педагогического опыта авторы настоящей публикации обоснованно убеждены в том, что первоначальное знакомство с дискретной природой микромира следует начинать на самой первой лекции по квантовой физике с объяснения сущности революции, «свершившейся» в физике на рубеже XIX – XX веков. Сущность понятия «дискретность» следует пояснить при использовании макроскопических житейских примеров (звукоряд на музыкальных инструментах, выключатель с несколькими фиксированными положениями, двоичная система счисления в компьютерных технологиях и т.п.).

Уже на первой «встрече» со студенческим коллективом необходимо сформировать у студентов первоначальное представление о сущности понятий «квант» и «кванты», а также и о постоянной Планка как о минимально возможном значении *«действия»*.

Другим, не менее важным разделом является корпускулярно-волновой дуализм с «переходом» к волновой функции и её вероятностной

интерпретации. «Сюда же» необходимо «подключить» принцип суперпозиции, раскрыв его физический смысл.

Многолетний научный и преподавательский опыт авторов настоящей статьи убедил их в том, что физика атома, ядра и элементарных частиц – это наиболее сложные для студентов разделы, как правило, вызывающие у большинства из них существенные затруднения. Студентам необходимо объяснить, почему виртуальные частицы нельзя обнаружить с помощью счётчика Гейгера. Наряду с этим, особое внимание следует уделить «Дираковскому вакууму» и, конечно, – состоянию поля с наименьшей энергией.

При изложении сущности научной революции необходимо «донести до студентов» два следующих принципиально важных момента, а именно то, что:

- микромир живёт по законам, отличным от законов макромира, открытых Ньютоном;

- законы классической механики Ньютона не выполняются при скоростях, сравнимых со скоростью света в вакууме.

Следует, однако, помнить и о тех выводах, к которым авторы настоящей статьи независимо друг от друга пришли в результате совместного анализа процессов и результатов их собственной многолетней научно-педагогической деятельности в техническом университете.

В число этих выводов входит следующий: ни один из принципов квантовой физики не может быть успешно понят студентами без предварительной подготовки, базирующейся на классической физике. Принципиальными являются следующие дидактические проблемы:

- как вписать в рамки КСЕ информацию, содержащуюся в традиционных учебных планах по курсу общей физики;
- как структурировать полный курс КСЕ?

Существует два различных подхода к преподаванию КСЕ:

- 1) «давать» физику, химию и биологию единым блоком;
- 2) «давать» эти дисциплины отдельными блоками (модулями).

По мнению авторов, второй подход предпочтительнее, особенно для студентов инженерных вузов. В случае первого подхода возникают большие сложности в структурировании курса, зачастую страдает логика построения курса и получается «мешанина» элементов из большого информационного объёма.

Количество часов, выделяемых на весь блок физики в рамках КСЕ, зависит от конкретного университета, и если количество физических часов принять за единицу, то представляется разумным следующее распределение времени:

1/3 – классическая механика, молекулярная физика
и термодинамика;

1/3 – электромагнетизм, колебания и волны, волновая оптика;

1/3 – квантовая физика.

Ниже приводится возможная структура раздела «Квантовая механика». Курсивом выделены факультативные разделы.

– **Введение. Дискретность микромира.** Революция в физике на рубеже XIX – XX веков. Фотоэффект. Законы теплового излучения. *Температура Земли.* Фотоны. Энергия и импульс фотона. *Эффект Комптона.* Давление света. Корпускулярно-волновой дуализм. Волны де-Бройля.

– **Ранние атомистические теории.** Планетарная и томсоновская модели атома. Опыты Резерфорда. Атом Бора. Спектр водорода «по Бору». Достоинства и недостатки «Боровской теории».

– **Основы квантовой физики.** Принцип неопределённости Гейзенберга и принцип дополнительности. Волновая функция и её статистическая интерпретация. Принцип суперпозиции для волновой

функции и его физический смысл. Стационарное уравнение Шредингера и простые задачи (качественно): одномерная потенциальная яма, прямоугольный барьер и туннельный эффект, гармонический осциллятор и нулевая энергия. Собственные функции и собственные значения.

– **Атом водорода по Шредингеру.** Водородоподобные атомы. *Векторная модель атома.* Многоэлектронные атомы. Принцип Паули и построение периодической системы Менделеева.

– **Основы физики твёрдого тела.** Зонная теория. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Чистые и примесные полупроводники. Проводимость и сверхпроводимость (качественное рассмотрение). Эффект Мейснера как критерий сверхпроводящего состояния. Квантовая статистика: распределения Ферми–Дирака и Бозе–Эйнштейна.

– **Основы ядерной физики.** Элементарные частицы и античастицы. Методы регистрации частиц. Законы сохранения. Фундаментальные взаимодействия и концепция единого поля. Классификация частиц. Масса ядра и энергия связи. Свойства ядерных сил. Закон радиоактивного распада. Ядерные реакции – в частности, деления и синтеза. Современные концепции о структуре материи. Квантовая модель.

Итого: блок состоит из шести единиц, каждая из которых может быть изложена в течение одной лекции.

Выводы

Современное положение дисциплины КСЕ является довольно неустойчивым. От неё отказались ряд вузов. Другие сохранили её в относительно полном объёме, как, например, в МАДИ, в «специалитете» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 38.05.02 (Таможенное дело). И в настоящее время, в той или иной мере многие вузы преподают КСЕ и в рамках программы этой дисциплины физику, ориентируясь на конкретные требования специальностей вуза.

Так, в прошедшем 2018 году, по просьбе аспирантов, выполняющих исследования под руководством учёных на различных кафедрах МАДИ, было уделено серьёзное внимание формированию у будущих инженеров научно-педагогической и научно-исследовательской деятельности и высокого уровня культуры (как общей, так и в конкретных областях естественных наук).

Список литературы

1. Лихин, А.Ф. Концепции современного естествознания: учебник / А.Ф. Лихин. – М.: Проспект, 2013. – 262 с.
2. Карпенков, С.Х. Концепции современного естествознания: учебник / С.Х. Карпенков. – М.: Мир, 2005. – 639 с.
3. Концепции современного естествознания: учебник / В.Н. Лавриненко [и др.]; под ред. В.Н. Лавриненко. – М.: Юрайт, 2013. – 462 с.
4. Алешкевич, В.А. Курс общей физики. Механика: учебник / В.А. Алешкевич, Л.Г. Деденко, В.А. Караваев. – М.: Физматлит, 2011. – 471 с.
5. Горбачев, В.В. Концепции современного естествознания: учеб. пособие / В.В. Горбачев. – М.: ОНИКС 21 век, Мир и образование. 2005. – 672 с.

References

1. Lihin A.F. *Koncepcii sovremennogo estestvoznaniya* (Concepts of modern natural science), Moscow, Prospekt, 2013, 262 p.
2. Karpenkov S.H. *Koncepcii sovremennogo estestvoznaniya* (Concepts of modern natural science), Moscow, Mir, 2005, 639 p.
3. Lavrinenko V.N., Golichev V.D., Golub' V.F., Lavrinenko V.N., Ostrovskij Eh.V., Ratnikov V.P., Chernyshova L.I. *Koncepcii sovremennogo estestvoznaniya* (Concepts of modern natural science), Moscow, Yurajt, 2013, 462 p.
4. Aleshkevich V.A., Dedenko L.G., Karavaev V.A. *Kurs obshchej fiziki. Mekhanika* (General physics course. Mechanics), Moscow, Fizmatlit, 2011, 471 p.
5. Gorbachev V.V. *Koncepcii sovremennogo estestvoznaniya* (Concepts of modern natural science), Moscow, ONIKS 21 vek, Mir i obrazovanie, 2005, 672 p.