

УДК 378.147

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛЕКЦИОННЫХ КУРСОВ ПО РАЗДЕЛАМ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ

¹Воронов В.К., ²Герашенко Л.А., ¹Дударева О.В., ¹Фунтикова Е.А.

¹ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,
Иркутск, e-mail: vladim.voronov1945@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва,
e-mail: gerashenko@mail.ru

В данной публикации подробно описывается структура лекционного курса дисциплины «Современная физика». Отмечается, что в ее основе лежит последовательное изложение современных представлений о квантовой, атомной, ядерной, молекулярной физике и астрофизике. Внимание также уделено сравнительно новому междисциплинарному научному направлению – физике открытых систем. Отдельные главы разработанного курса лекций отведены нелинейной оптике, квантовой информации, строению и динамике молекул, характеристике физических свойств конденсированного состояния, новым приложениям лазерного излучения, приборам и методам исследований, новым достижениям астрофизики. Дается цельное представление об основных законах и понятиях современной физики, их взаимосвязи и происхождении. Отмечено, что данный лекционный курс необходим, прежде всего, студентам первого и (или) второго курсов обучения большинства вузов России. Его можно рассматривать как общий курс современной физики, подготовленный в соответствии с требованиями образовательных стандартов высшего профессионального образования. Необходимость включения новых разделов физики в учебные планы высших учебных заведений обусловлена, в частности, тем, что законы и положения этой дисциплины составляют теоретическую основу многих современных технологий. Материал предлагаемого курса современной физики может быть использован также для подготовки спецкурсов для студентов соответствующих специальностей.

Ключевые слова: современная физика, физика открытых систем, астрофизика, нелинейная оптика, квантовая информация

METHODOLOGICAL SUPPORT OF LECTURE COURSES ON THE SECTIONS OF MODERN PHYSICS

¹Voronov V.K., ²Geraschenko L.A., ¹Dudareva O.V., ¹Funtikova E.A.

¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: vladim.voronov1945@yandex.ru;

²Russian Technological University, Moscow, e-mail: gerashenko@mail.ru

This publication describes in detail the structure of the lecture course of the discipline “Modern Physics”. It is noted that it is based on a consistent presentation of modern ideas about quantum, atomic, nuclear, molecular physics and astrophysics. Attention is also paid to a relatively new interdisciplinary scientific direction – the physics of open systems. Individual chapters of the developed course of lectures are devoted to nonlinear optics, quantum information, the structure and dynamics of molecules, the characteristics of the physical properties of the condensed state, new applications of laser radiation, instruments and research methods, new achievements in astrophysics. A holistic view of the basic laws and concepts of modern physics, their interrelation and origin is given. It is noted that this lecture course is necessary, first of all, for first- and (or) second-year students of most Russian universities. It can be considered as a general course of modern physics, prepared in accordance with the requirements of educational standards of higher professional education. The need to include new sections of physics in the curricula of higher education institutions is due, in particular, to the fact that the laws and regulations of this discipline form the theoretical basis of many modern technologies. The material of the proposed course of modern physics can also be used to prepare special courses for students of relevant specialties.

Keywords: modern physics, the physics of open systems, astrophysics, nonlinear optics, quantum information

Начатая более двадцати лет назад авторским коллективом в составе профессоров В.К. Воронова и А.В. Подоплелова, а также академика РАН Р.З. Сагдеева работа по включению в учебные планы вузов новых естественнонаучных знаний позволила подготовить и издать пять книг – три учебника и два учебных пособия ([1] и приведенная в [1] литература). Первые три книги 2005, 2008 и 2011 гг. издания вышли с грифом научно-методического совета по физике Министерства образования и науки РФ и предназначены для студентов высших учебных заведений, обучающихся по техническим

и естественнонаучным специальностям. Следующие две книги 2018 и 2021 гг. выпуска изданы с грифом УМО РАЕ по классическому университетскому и техническому образованию и также предназначены для студентов вузов, обучающихся по техническим направлениям подготовки и естественнонаучным специальностям. Эта работа названными выше авторами ведется не случайно. Правда состоит в том, что наблюдаемый в настоящее время научно-технологический прогресс обязан главным образом научным исследованиям за последние примерно пятьдесят – шестьдесят лет в области

физики, химии и биологии, а также на стыке исследований этих дисциплин. Необходимость включения новых научных разделов естественнонаучной тематики в учебные планы высших учебных заведений обусловлена, в частности, тем, что законы и положения указанных дисциплин и, прежде всего, физики составляют теоретическую основу многих современных технологий.

Следствием стремительного роста объема информации является все более увеличивающийся разрыв между достигнутым наукой уровнем знаний и тем, что преподается в вузе. Это отражается на внедрении научных достижений в практику, на подготовке соответствующих кадров с высшим образованием и в конечном счете на техническом прогрессе как таковом. Упомянутые выше пять томов учебных изданий предназначены прежде всего для студентов старших курсов, обучающихся по направлениям, готовящим инженерно-технических работников промышленных производств, а также научных сотрудников для научно-исследовательских организаций. Что касается студентов вузов других специальностей, в частности экономических и гуманитарных направлений подготовки, то для них учебная литература по современным разделам физики фактически отсутствует. Указанное обстоятельство побудило нас подготовить данный лекционный курс, материал которого был бы доступен для понимания студентами первого и (или) второго курсов обучения если не всех, то большинства вузов России, отвечающий требованиям образовательных стандартов высшего профессионального образования.

Материалы и методы исследования

Обсуждаемый здесь материал подготовлен в результате многолетнего анализа публикаций по широкому кругу разделов современной физики. В конечном счете это позволило предложить тематику занятий, оптимальную для студентов вузов России обозначенных в предыдущем разделе специальностей. Лекционный курс, структура и содержание которого излагаются ниже, логично рассматривать как общий курс современной физики, подготовленный в соответствии с планом научно-методической работы, выполняемой многие годы по проблеме третьей составляющей педагогической триады «как учить, чему учить, как учиться» [2].

Данный курс лекций «Современная физика» состоит из одиннадцати разделов. В первый раздел предлагается включить материал, относящийся к нелинейной оптике. Здесь излагается ряд оптических явлений,

являющихся следствием многофотонности процессов, при которых в одном элементарном акте вследствие большой интенсивности света поглощается несколько фотонов.

Нелинейная оптика. Многофотонные процессы. Фотоионизация. Красная граница фотоэффекта. Рассеяние лазерного излучения. Возбуждение высших гармоник. Возбуждение колебаний суммарной частоты. Получение когерентного излучения в ультрафиолетовой области спектра. Параметрическая генерация света. Нелинейная рефракция. Эффект самофокусировки лазерного излучения. Световое давление. Метод охлаждения и пленения атомов с помощью лазерного света. Нестационарные эффекты. Сверхизлучение. Инвертированные состояния атомной системы. Самоиндуцированная прозрачность. Когерентный нестационарный отклик резонансной среды. Солитоны. Метод обратной задачи рассеяния. Групповые солитоны. Генерация сверхкоротких оптических импульсов. Фемтосекундная лазерная спектроскопия. Химическая динамика переходного состояния [1].

Во втором разделе рассматриваются основные свойства самоорганизованных систем на примере реакции Белоусова – Жаботинского и ячеек Бенара, излагаются представления об открытых и закрытых системах. Дается представление о фрактальной геометрии и о бифуркации – математическом образе, соответствующем перестройке характера движения реальной (физической, биологической и т.д.) системы.

Физика самоорганизованных систем. Свойства самоорганизованных структур. Реакция Белоусова – Жаботинского. Эффект Бенара. Открытые системы. Представление о неравновесной динамике или физике открытых систем. Диссипативные структуры. Процессы самоорганизации структур, пороговый характер самоорганизации. Синергетика. Фракталы. Основное отличие структур, называемых фрактальными. Свойство самоподобия фракталов. Фрактальная размерность. Сценарий Фейгенбаума. Бифуркация, диаграмма бифуркации. Устойчивое положение системы [1].

В течение примерно последних шести десяти лет к уже хорошо известным объектам *атомной физики* добавился ряд новых. В третьем разделе предлагаемого лекционного курса приведено описание ряда таких объектов, знакомство с которыми позволяет создать представление об одном из новых направлений современной физики.

Атомная физика. Ридберговский атом. Возбужденные атомы. Водородоподобный ион. Состояния с большим значени-

ем главного квантового числа. Источники данных о ридберговских атомах. Генерация ридберговских атомов. Детекторы на основе ридберговских атомов. Доказательства существования ридберговских атомов в космосе. Эксимерные молекулы. Химические признаки эксимерных молекул. Эксимерные лазеры – уникальные источники мощного ультрафиолетового излучения. Области потенциального применения эксимерных лазеров. Экзотические атомы. Атомы, содержащие в своем составе вместо одного электрона антипротон. Антипротонный гелий – типичный пример экзотического атома [1].

Четвертый раздел курса отводится материалу, относящемуся к ядерной физике – науке о строении и свойствах атомных ядер, их взаимодействиях и превращениях. В этом разделе в краткой форме изложены представления о строении атомных ядер и их энергетических свойствах. Дается также общая характеристика радиоактивных процессов, включающая обсуждение некоторых принципиальных аспектов проблемы ядерной энергетики.

Ядерная физика. Кварки в ядрах. Виртуальные частицы. Цветность кварков. Представление о глюонном поле. Энергетические свойства ядер. Природа сил, действующих между нуклонами. Корреляция между средней энергией связи и значением массового числа ядер. Радиоактивность. Общая характеристика радиоактивных процессов. Некоторые типы радиоактивных распадов. Бета-распад. Кластерная радиоактивность [1]. Кластеры в нуклонах. Гамма-распад. Из истории открытия и исследования радиоактивности. Принципиальные аспекты проблемы ядерной энергетики. Цепная реакция деления ядер. Ядерный синтез. Ядерный взрыв. Схема уран-графитового реактора. Практические пути использования термоядерной энергии. Представление о безнейтронных термоядерных установках [3].

В пятом разделе разработанного авторами данной статьи курса лекций излагаются наиболее общие представления о кластерах.

Кластерное состояние вещества. Методы получения кластеров. Агрегация газов. Получение кластерных пучков. Лазерный метод получения металлических кластеров. Практическое применение кластерных пучков. Осаждение пленок. Получение новых материалов. Обработка поверхности. Фуллерены – уникальные углеродные структуры. Синтез многоатомных молекул углерода. Формула Эйлера. Основные химические характеристики молекулы C_{60} – бакминстерфуллерена. Эндоздральные соединения. Синтез эндоздральных фуллеренов, особенности

их строения. Эндоздральные фуллерены – новый класс наноструктур, перспективный для использования в исследовательских и прикладных целях. Углеродные нанотрубки. Структурные параметры однослойных нанотрубок. Многослойные нанотрубки. Методы синтеза нанотрубок. Перспективы применения углеродных нанотрубок. 2D-наноструктуры. Графен – первый представитель нового класса материалов – двумерных кристаллов. Электронное строение графена – одной из аллотропной модификации углерода. Перспективы использования графена в прикладных целях [4].

Шестой раздел курса отведен изложению физических свойств конденсированного состояния.

Физические свойства конденсированного состояния. Жидкокристаллическое состояние вещества. Типы жидкокристаллических фаз. Физические свойства жидкокристаллического состояния. Оптимизация физических характеристик нематиков. Типы полимер-диспергированных жидких кристаллов [4]. Полупроводники. Лазер на квантовой яме. Введение в акустоэлектронику. Основные свойства акустических (звуковых) волн высокой частоты. Поверхностные и объемные акустические волны. Усиление акустических волн в полупроводниках и в слоистых структурах «пьезоэлектрик – полупроводник». Перспективные устройства с использованием поверхностных акустических волн. Искусственные материалы с ярко выраженными резонансными свойствами. Фотонные кристаллы. Метаматериалы. Двумерные метаматериалы (метаповерхности) [5]. Новые приложения лазерного излучения. Новые типы лазеров. Лазеры на свободных электронах. Лазерное излучение для проведения высокоточных измерений. Источники экстремального ультрафиолетового лазерного излучения для литографии. Высокоточные измерения частоты и времени. Сверхбыстрая структурная динамика вещества в режиме реального времени. Лазерное охлаждение молекул [6].

Седьмой раздел предлагаемого курса содержит краткое изложение теоретических и экспериментальных основ обозначенного здесь нового научного направления, связанного с изучением пространственного и электронного строения и внутримолекулярной динамики молекул, а также процессов и явлений с их участием.

Строение и динамика молекул. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса высокого разрешения. Природа явления ядерного магнитного резонанса. Источники информа-

ции о молекулярном строении. Химический сдвиг. Спин-спиновое взаимодействие. Интроскопия ядерного магнитного резонанса (МР-томография). Квантово-химические модели теории строения и динамики молекул. Молекулярные орбитали. Уравнения Рутана. Метод Хартри – Фока. Полуэмпирические и неэмпирические квантово-химические методы расчета пространственного и электронного строения молекул [1].

Восьмой раздел отведен квантовой информации – новому разделу современной физики. В настоящее время в квантовую информацию принято включать исследования, связанные с возможностью создания квантового компьютера, а также относящиеся к вопросам квантовой телепортации и квантовой криптографии. В этом разделе курса дается краткое изложение основных представлений о квантовом компьютере, квантовой криптографии и квантовой телепортации. Отдельный параграф посвящен квантовой биомикроскопии.

Квантовая информация. Суперпозиция, перепутанные состояния. Смесь состояний. Квантовые компьютеры. Запись начального состояния. Физические объекты, реализующие q-биты – квантовые биты информации. Вычисление. Вывод результатов. Квантовая криптография [1]. Квантовая телепортация. Новые разделы квантовой информации. Квантовая биомикроскопия. Роль сознания в физических экспериментах над квантовой системой [7].

В девятом разделе дается описание основных характеристик ряда новых приборов и аналитических методов, предназначенных, прежде всего, для их использования в процессе изучения конденсированного состояния.

Приборы и методы исследования. Тепловизоры. Области применения тепловидения [4]. Метод мюонной радиографии. Физические основы метода мюонной радиографии. Исследование крупных природных объектов с помощью космических мюонов. Аппаратура для метода мюонной радиографии. Птихография – новый раздел безлинзовой оптики. Восстановление фазы волнового поля, создаваемого когерентным лазерным лучом. Блок-схема безлинзового микроскопа. Особенности получения изображений объектов на основе безлинзовой оптики. Аддитивные или 3D-технологии послойного нанесения материалов. Краткая история возникновения методов аддитивных технологий. Основные физические процессы, лежащие в основе фотополимеризации. Роль лазерного излучения в процессах нанесения материала. Прямой лазер-

ный перенос. Разрешающая способность методов 3D-печати. Области применения 3D-аддитивных технологий [8].

Десятый раздел разработанного авторами статьи курса современной физики отведен материалу, в котором отражены новые достижения астрофизики последних нескольких десятилетий.

Новое в астрофизике. Исследования экзопланет. Доплеровская астрономическая спектроскопия – основа изучения планет, не принадлежащих Солнечной системе. Доля экзопланет во Вселенной. Точность калибровки спектральных данных. Калибровка на основе лазеров. Спектрографы астрономической спектроскопии. Проблема обитаемости экзопланет. Зона обитаемости Солнечной системы. Эволюция галактик. Использование радиодиапазона в астрономических исследованиях. Ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма-излучения в изучении космических объектов. Диапазон прозрачности земной атмосферы. Представление о космической пыли, ее характеристики. Происхождение космической пыли. Звздообразование – одна из центральных задач физики галактик. Этап, непосредственно предшествующий началу звездообразования. Образование звезд – сложный каскад нелинейных процессов, протекающих в пространстве и времени [1].

Одиннадцатый раздел отведен изложению истории развития представлений о строении и эволюции Вселенной.

Из истории развития представлений о строении и эволюции Вселенной. Начало астрономической деятельности человека. Модель Вселенной Анаксимандра. Геоцентрическая картина Мира. Учения Пифагора, Аристотеля, Птолемея. Формирование представлений о гелиоцентрической системе мира в трудах Николая Коперника, Галилео Галилея, Джордано Бруно. Вклад Исаака Ньютона, Эдвина Хаббла, Альберта Эйнштейна, Георгия Гамова в развитие представлений о строении и эволюции Вселенной. Основные положения современной астрономии [9].

Результаты исследования и их обсуждение

Готовя данный курс лекций, авторы стремились к тому, чтобы он был адаптирован к реальной педагогической практике. Это, в частности, означает, что высокий теоретический уровень изложения результатов научных исследований последних десятилетий в области физики должен быть совмещен с его доступностью для понимания прежде всего студентами первого

и второго курсов вузов. Изложение материала курса предполагает использование наглядного материала, отобранного из научных публикаций авторами данной работы. Каждый раздел заканчивается контрольными вопросами. Разработанный лекционный курс включает библиографический список. Здесь необходимо отметить, что нельзя новый материал, относящийся к разделам современной физики, включать в учебные планы вместо классических разделов, читаемых обычно кафедрами физики. Эти разделы являются фундаментом, который необходим для усвоения новых знаний, особенно относящихся к микро- и наномиру. Если же принять во внимание явно невысокий уровень знаний абитуриентов по предметам естественнонаучного цикла и по математике, то тем более нельзя заменять курс, читаемый кафедрой физики, новыми разделами знаний.

Заключение

Здесь уместно следующее пояснение. В 1992 г. на совещании в Комитете по высшей школе Миннауки РФ профессор А.Д. Суханов предложил включить естественнонаучный цикл в учебные планы гуманитарных направлений подготовки. Это предложение было поддержано Экспертным советом по циклу общих математических и естественнонаучных дисциплин (председатель – профессор А.Д. Гладун), который принял решение включить в естественнонаучный цикл гуманитарного образования две базовые дисциплины: «Математика и информатика» и «Концепции современного естествознания». В результате в учебных планах вузов и факультетов экономического, гуманитарного и художественного профиля появилась упомянутая дисциплина «Концепции современного естествознания». Решающую роль в этом сыграл профессор А.Д. Суханов. Он стал одним из первых авторов программы дисциплины. В соавторстве с профессором О.Н. Голубевой он написал учебник,

выдержавший три издания. По инициативе А.Д. Суханова в 2003 г. Приказом Минобробразования Российской Федерации был создан научно-методический совет по дисциплине «Концепции современного естествознания» (председатель – академик В.С. Степин). Впоследствии в его составе было организовано Сибирское региональное отделение (председатель – профессор В.К. Воронов). Следует, однако, отметить, что последние примерно пять-семь лет «Концепции современного естествознания» стала относиться в разряд дисциплин по выбору, а потому перестает быть обязательной для ее преподавания. Хочется надеяться, что включение в эту дисциплину материала из данного курса с изложением современных разделов физики будет способствовать повышению ее востребованности.

Список литературы

1. Воронов В.К., Подоплелов А.В., Сагдеев Р.З. Новые разделы физики нано- и мегамира: Учебник в 2 ч. Старый Оскол: ТНТ, 2021. Ч. 1. 356 с. Ч. 2. 388 с.
2. Voronov V.K., Geraschenko L.A. Cognitive barriers in training the students of higher education institutions, Methodology for Their Elucidation and Overcoming // International Journal of Modern Education and Computer Science. 2013. Vol. 5. No. 2. P. 1–11.
3. Шматов М.Л. Инициирование микровзрыва микровзрывом и некоторые другие сценарии управляемого термоядерного синтеза с безнейтронными реакциями // Успехи физических наук. 2019. Т. 189. № 1. С. 72–84.
4. Воронов В.К., Подоплелов А.В. Современная физика: Конденсированное состояние. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 336 с.
5. Балыкин В.И. Атомная оптика и нанотехнология // Успехи физических наук. 2009. Т. 179. № 3. С. 297–305.
6. Ратников П.В., Силин А.П. Двумерная графеновая электроника: современное состояние и перспективы // Успехи физических наук. 2018. Т. 188. № 12. С. 1249–1287.
7. Иваницкий Г.Р. Робот и Человек. Где находится предел их сходства? // Успехи физических наук. 2018. Т. 188. № 9. С. 965–991.
8. Лепешов С.И., Краснок А.Е., Белов П.А., Мирошниченко А.Е. Гибридная нанофотоника // Успехи физических наук. 2018. Т. 188. № 11. С. 1137–1154.
9. Черепашук А.М. История истории Вселенной // Успехи физических наук. 2013. Т. 183. № 5. С. 535–556.