Development of a school chemical experiment in a summer camp

The article describes a school chemical workshop aimed at determining the state of the environment. The workshop is designed for 14 hours for students in grades 10-11 specializing in the field of natural science. It was revealed by the author that, when taking part in the workshop in a summer camp, students discover the chemistry of the environment from the experimental side, so they develop experimental skills in chemistry.

Key words: *school chemical experiment, practical work, workshop.*

(Статья поступила в редакцию 10.04.2018)

Е.И. КУХАРЬ
(Волгоград)

О МЕТОДИКЕ ИЗЛОЖЕНИЯ ТЕМЫ «ВТОРИЧНОЕ КВАНТОВАНИЕ» В РАМКАХ КУРСА «ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ» ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПЕДВУЗОВ*

Излагается методика преподавания тем «Вторичное квантование» и «Квантовый гармонический осциллятор». Раскрывается значение методов вторичного квантования в научной и образовательной деятельности студентов, а также значение задачи о гармоническом осцилляторе. Анализируются методы решения данной задачи. Обсуждаются преимущества изложения темы «Квантовый гармонический осциллятор» как примера, иллюстрирующего применение метода вторичного квантования.

Ключевые слова: *вторичное квантование, квантовый гармонический осциллятор.*

1. Введение. Развитие фундаментальной физики (модели эволюции Вселенной [15; 17; 24; 34], теории элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий [23; 25; 33]), современный научно-технический прогресс и, прежде всего, развитие микро- и наноэлектроники [1; 2; 5; 14] показывают необходимость основательного изучения квантовой механики не только в технических и классических университетах, но и в педагогических вузах [18]. Следует отметить, что в последних ведется подготовка преподавателей, которые в свою очередь в будущем будут либо готовить школьников к поступлению в вузы различного профиля, либо преподавать в этих вузах. Вышесказанное объясняет необходимость привлечения студентов к научным работам по физике, что требует от студентов базовых знаний и сформированности необходимых компетенций в той области физики, в которой студенты желают вести (или продолжать) свою научную деятельность. С другой стороны, в последнее время наблюдается сокращение числа аудиторных часов, отводимых на изучение курса теоретической физики, в частности того раздела, который посвящен квантовой механике [6]. Стоит отметить, что уменьшение числа аудиторных часов физико-математических дисциплин наблюдается в учебных программах не только педагогических [8], но и технических [21] вузов. Последнее затрудняет решение основной задачи преподавателя: сформировать у студентов компетенции, необходимые для самостоятельной научной работы. Таким образом, поиск новых способов изложения основных проблем квантовой механики является в настоящее время весьма актуальным [6].

Изучение вопроса методики преподавания квантовой механики актуально также в связи с развитием наноэлектроники. Последнее отражает переход современной полупроводниковой электроники от элементов интегральных схем с характерным размером в микрометровой области к элементам с размером в нанометровой области и полупроводниковым структурам с пониженной размерностью (квантовые точки, нити, кольца, наноленты и т. д.). Принципиально новая особенность наноэлектроники заключается в том, что для элементов нанометровых размеров начинают преобладать квантовые эффекты [1; 2].

2. Роль методов вторичного квантования в физическом образовании. Как уже сказано выше, привлечение студентов к научной работе по физике является весьма необходимым. Научная работа наиболее эффективно повышает квалификационный потенциал бу-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках проектной части государственного задания, код проекта: 3.2797.2017/4.6.

дущего преподавателя и дает ему возможность для продолжения своей деятельности в качестве аспиранта и сотрудника вуза.

Известно, что для успешной защиты диссертаций аспирантам необходима публикация результатов научной деятельности в рецензируемых научных изданиях, которые а) принимают к рассмотрению работы, содержащие новые результаты по современным, актуальным проблемам физики, б) имеют высокий индекс цитирования. Таким требованиям удовлетворяют издания, индексируемые международными реферативными базами данных Scopus и Web of Science. Как показывает анализ современных работ по квантовой теории твердого тела и конденсированного состояния вещества, изложение результатов исследования ведется на языке вторично квантованных операторов (например: [27; 29–32]). Изучение вторичного квантования в университетских курсах по квантовой механике традиционно является одним из заключительных этапов [3; 7; 10; 12; 20]. Зачастую в педвузах проблема вторичного квантования не затрагивается в курсе квантовой механики [13]. Либо ей отводится внеаудиторное время (занятия в проблемных группах, факультативы, СРС, рефераты, курсовые работы и т. д.), либо эта проблема поверхностно затрагивается на курсах по выбору (например, таких как «Электронная теория» или «Электронные процессы в твердых телах»).

Основной задачей данной работы является построение новой методики преподавания тем «Вторичное квантование» и «Квантовый гармонический осциллятор», позволяющей ввести в рамки курса квантовой механики метод представления чисел заполнения и сэкономить при этом аудиторное время. Для решения этой задачи предлагается тему «Вторичное квантование» излагать перед темой «Квантовый гармонический осциллятор». Причем последняя преподается как пример применения метода чисел заполнения.

3. Задача о движении гармонического осциллятора. Метод вторичного квантования легко и наглядно демонстрируется на примере квантового гармонического осциллятора [19], гамильтониан которого имеет вид:

$$\hat{H} = \frac{\hat{p}_x^2}{2m} + \frac{m\omega_0^2 \hat{x}^2}{2}. \qquad (1)$$

Здесь m – масса осциллятора, ω_0 – собственная частота, $\hat{x}$ и $\hat{p}_x$ – операторы координаты и импульса соответственно, причем $\hat{x}\hat{p}_x - \hat{p}_x\hat{x} = i\hbar$. Задача заключается в отыскании собственных значений ε и собственных волновых функций ψ оператора (1). Проблема гармонического осциллятора в квантовой теории является весьма важной с методологической точки зрения [9]. Существует большой круг задач, сводящихся к задаче на собственные значения гамильтониана (1). Приведем здесь некоторые примеры.

• *Электрон в скрещенных электрическом и магнитном полях.* Если электрон движется в однородных электрическом и магнитном полях, векторы напряженностей которых составляют прямой угол, то задача легко сводится к решению проблемы на собственные значения гамильтониана гармонического осциллятора (1), где роль собственной частоты будет играть циклотронная частота ω_c [10].

• *Релятивистский электрон в магнитном поле.* Известно, что состояние релятивистского электрона описывается четырехкомпонентным спинором ψ, удовлетворяющим уравнению Дирака [7; 11; 12; 20]. Пусть электрон движется в однородном магнитном поле, описываемом потенциалом $\mathbf{A}$=(0, Bx, 0). В стационарном случае имеем:

$$c\left(\mathbf{p} + \frac{e}{c}\mathbf{A}\right)\cdot\begin{pmatrix} 0 & \boldsymbol{\sigma} \\ \boldsymbol{\sigma} & 0 \end{pmatrix}\psi + mc^2\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}\psi = \varepsilon\psi, \qquad (2)$$

где $\boldsymbol{\sigma} = (\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$ – матрицы Паули. Задача на собственные значения (2) сводится к решению уравнения для двухкомпонентного спинора φ [11], которое в свою очередь приводит к уравнению на собственные значения оператора (1).

• *Графен в магнитном поле.* Аналогично решается задача на собственные значения гамильтониана, записанного для электрона в идеальном графене, помещенном в магнитное поле [26].

• *Малые колебания кристаллической решетки.* В общем случае потенциальная энергия взаимодействия атомов (частиц), входящих в состав кристалла, имеет достаточно сложный вид. Однако стабильные состояния образуются только в минимумах потенциальной энергии. В случае малых отклонений от положения равновесия состояние системы определяется видом потенциальной энергии в окрестности минимума. В такой ситуации достаточно ограничиться квадратичными по смещению атомов слагаемыми в потенциальной энергии. Это приведет к задаче о движении системы частиц массы m, связанных пружинами жесткостью k. Уравнения движения для такой системы сведется к уравнениям движения независимых осцилляторов. В свою очередь квантовомеханическая задача о колебаниях кристаллической решетки сведется к решению задачи на собственные значения гамильтониана вида (1), т. е. к решению уравнения Шредингера для гармонического осциллятора.

• *Квантование электромагнитного поля.* По аналогичной схеме проводится квантование электромагнитного (ЭМ) поля. Потенциалы, описывающие поле и задаваемые в каждой точке пространства, образуют, по сути, непрерывное множество переменных. Переход к описанию с помощью дискретного ряда переменных (как это делается, например, для задачи о колебаниях атомов в кристаллической решетке) осуществляется путем рассмотрения поля в большом, но конечном объеме [11]. Для того чтобы найти функцию Гамильтона, необходимо вычислить полную энергию ЭМ поля. После некоторых преобразований [Там же] функция Гамильтона распадается на сумму независимых слагаемых, имеющих вид функции Гамильтона для гармонического осциллятора. Для перехода к квантовомеханическому описанию ЭМ поля необходимо обобщенные переменные заменить операторами, удовлетворяющими коммутационным соотношениям для операторов координат и импульсов. В результате опять получим гамильтониан вида (1).

4. Волновой и матричный методы. В литературе можно встретить следующие методы решения задачи на собственные значения гамильтониана (1) [3; 7; 10; 12; 13; 20]: волновой и матричный. Волновой метод основан на использовании уравнения Шредингера, имеющего для гармонического осциллятора вид (2). Решение дифференциального уравнения (2), удовлетворяющее свойствам волновой функции, ищется методом Фробениуса [28]. Данный метод заключается в представлении решения в виде степенного ряда и последующего получения рекуррентного соотношения для коэффициентов этого ряда. Требование ограниченности волновой функции приводит к тому, что, начиная с некоторого номера, все коэффициенты ряда обращаются в ноль, т. е. вместо ряда мы имеем дело с полиномом. Из последнего условия получается известный дискретный спектр для собственных значений энергии осциллятора:

$$\varepsilon_n = \hbar\omega_0\left(n + \frac{1}{2}\right), \qquad (3)$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$

Такой подход в рамках курса квантовой механики наиболее естественен, т. к. уравнение Шредингера – основное уравнение квантовой механики, с которого обычно начинается изложение курса. В этом заключается преимущество описанного метода. Недостатками являются а) большой временной интервал, необходимый для полного изложения и объяснения решения, б) необходимость наличия у студентов некоторой подготовки в области специальных функций и дифференциальных уравнений, решение которых выражается через специальные функции. Стоит обратить внимание, что последнее требование не реализуется в программах педвузов: изучение специальных функций на физических факультетах выходит за рамки изучаемых математических дисциплин. Результатом описанного подхода в изложении материала является низкий уровень наглядности, т. к. основное время уделяется математической стороне проблемы.

Другой метод отыскания собственных значений энергии осциллятора – матричный метод Гейзенберга [10]. Данный метод заключается в использовании уравнений движения, где координата и импульс заменены их матрицами x_{kn} и p_{kn}. Матрица оператора (1), равная

$$H_{kn} = \frac{1}{2m}\sum_j p_{kj}\, p_{jn} + \frac{m\omega_0^2}{2}\sum_j x_{kj}\, x_{jn}, \qquad (4)$$

приводится к диагональному виду $H_{kn}=\varepsilon_n\delta_{kn}$, где на главной диагонали расположены собственные значения энергии, равные (3).

Преимуществом использования такого метода решения для изложения темы «Квантовый гармонический осциллятор» является а) отсутствие необходимости решать сложные дифференциальные уравнения, б) наличие соответствующей математической подготовки у студентов. Последний пункт обеспечивается тем, что студенты перед изучением квантовой механики уже имели дело с матрицами и операциями над ними в рамках математических курсов. К тому же алгебраические методы решения, как правило, обладают большей наглядностью по сравнению с методами теории дифференциальных уравнений, решения которых выражаются через специальные функции. Тем не менее в указанном способе изложения есть следующий недостаток. В процессе вывода выражений для матричных элементов операторов координаты и импульса возникает неоднозначность в нумерации состояний осциллятора. Так, в [10] стационарные состояния нумеруются таким образом, чтобы выполнялось соотношение $\varepsilon_n - \varepsilon_{n\mp1} = \pm\hbar\omega$. По сути, такой выбор постулируется, и студенты не всегда могут понять, почему выбран именно этот способ нумерации состояний.

5. Методика изложения тем «Вторичное квантование» и «Квантовый гармонический осциллятор». В данной работе предлагается излагать решение задачи на собственные значения оператора (1) на языке операторов рождения и уничтожения частиц. При этом лекции, посвященные гармоническому осциллятору, должны следовать после темы «Вторичное квантование». В свою очередь, методы вторичного квантования наиболее логично поместить в раздел, посвященный математическому аппарату квантовой механики (после темы «Унитарные преобразования»). Такой подход позволил бы подготовить почву для изложения некоторых квантовомеханических задач (в частности, проблемы квантового осциллятора) на основе метода вторичного квантования. Ниже приводится последовательность изложения материала лекций.

Основными задачами лекций являются:

а) формирование умений пользоваться методами вторичного квантования;

б) формирование понятия о квантовом гармоническом осцилляторе и роли задачи на собственные значения гармонического осциллятора в теоретической физике и теории многих частиц.

Лекция, посвященная вторичному квантованию, начинается с рассмотрения принципа неразличимости частиц, симметричных и антисимметричных волновых функций и формирования представления о фермионах и бозонах. Операторы рождения $\hat{b}_k^+$ и уничтожения $\hat{b}_k$ частиц первоначально рассматриваются на примере бозонов. Здесь изложение следует классическим учебникам [3; 7; 10; 12; 20]. Однако в классических учебниках операторы $\hat{b}_k^+$ и $\hat{b}_k$ вводятся согласно формулам:

$$\hat{b}_k^+|N\rangle = \sqrt{N+1}|N+1\rangle,\ \hat{b}_k|N\rangle = \sqrt{N}|N-1\rangle, \quad (5)$$

где вектор состояния $|N\rangle$ соответствует тому, что N частиц находятся в состоянии, описываемом волновой функцией ψ_k из полного набора волновых функций, записанных для одной отдельной частицы, k – набор всех квантовых чисел, характеризующих состояние отдельной частицы. Числа частиц в других состояниях $\psi_{i\neq k}$ опущены и могут быть произвольными. В отличие от [3; 7; 10; 12; 19; 20] в данной работе предлагается использовать в качестве определения операторов рождения и уничтожения частиц следующие равенства:

$$\hat{b}_k\hat{b}_k^+ - \hat{b}_k^+\hat{b}_k = 1, \quad (6)$$

$$\hat{b}_k^+\hat{b}_k|N\rangle = N|N\rangle. \quad (7)$$

С использованием (18), (19) и метода математической индукции доказывается следующее выражение для вектора состояния $|N\rangle$:

$$|N\rangle = \frac{1}{\sqrt{N!}}\left(\hat{b}_k^+\right)^N|0\rangle, \quad (8)$$

где $|0\rangle$ – вектор, описывающий состояние вакуума. Важно показать, что задание операторов рождения и уничтожения с помощью равенств (6), (7) эквивалентно заданию их с помощью формул (5). Для фермионов операторы рождения и уничтожения переопределяются так, чтобы выполнялся принцип Паули [3; 7; 10; 12; 20].

Следующим этапом является задание произвольного оператора $\hat{L}$ с помощью операторов рождения и уничтожения частиц. Используя простое соотношение $\hat{b}_i\hat{b}_k^+|0\rangle = \delta_{ik}|0\rangle$, справедливое независимо от вида частиц, легко показать, что для оператора, действующего на одну частицу, справедливо:

$$\hat{L} = \sum_{k,n} L_{kn}\hat{b}_k^+\hat{b}_n,$$

где L_{kn} – матричный элемент оператора $\hat{L}$, вычисленный между функциями ψ_k и ψ_n.

Метод вторичного квантования демонстрируется на примере гармонического осциллятора. Для этого вводится оператор

$$\hat{b}^+ = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(-\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\xi} + \xi\right), \quad (9)$$

где $\xi = x/\lambda$, $\lambda = \sqrt{\hbar/m\omega_0}$, и вычисляется сопряженный ему оператор $\hat{b}$. Далее гамильтониан (1) переписывается в виде:

$$\hat{H} = \hbar\omega_0\left(\hat{b}^+\hat{b} + \frac{1}{2}\right). \quad (10)$$

Легко убедиться, что для операторов $\hat{b}$ и $\hat{b}^+$ выполняются соотношения (6) и (7), где число частиц N играет роль номера состояния гармонического осциллятора n. Действуя оператором (10) на вектор состояния $|n\rangle$ и используя (7), получим для собственного значения энергии формулу (3). Собственные функции оператора (10) получатся с помощью замены $N \to n$ в выражении (8), где $|0\rangle$ – основное состояние осциллятора. Найти явное выражение для $|0\rangle$ в координатном представлении легко, если использовать формулу $\hat{b}|0\rangle = 0$, следующую из (7). При этом студент имеет дело с обыкновенным дифференциальным уравнением первого порядка:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\xi}|0\rangle = -\xi|0\rangle . \qquad (11)$$

Нетрудно найти, что нормированная волновая функция, являющаяся решением (11) равна:

$$|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{\lambda\sqrt{\pi}}}\exp\left(-\frac{\xi^2}{2}\right).$$

С помощью формулы (8) и волновой функции основного состояния можно получить выражение для функции с произвольным номером состояния, а также известные выражения для матричных элементов операторов координаты и импульса.

Таким образом, если операторы рождения и уничтожения определить равенствами (6) и (7), то все основные соотношения для гармонического осциллятора получаются достаточно легко и быстро. Причем эти соотношения, за исключением волновой функции основного состояния, выводятся чисто алгебраически. В свою очередь, функция основного состояния является решением весьма несложного дифференциального уравнения (11). Описанное изложение материала, касающегося гармонического осциллятора, дает выигрыш во времени. Последнее, в свою очередь, и обеспечивает возможность преподавания темы «Вторичное квантование» в рамках программы педвуза.

6. Применение систем компьютерной алгебры. Общепризнанным является то, что понимание физического образования как освоения определенной суммы знаний является недостаточным для подготовки квалифицированных преподавателей. Это вызывает потребность в выпускниках, умеющих для решения профессиональных задач использовать не только фундаментальные теории, но и современные компьютерные технологии. Наличие у выпускника педвуза как практических, так и теоретических знаний в этой области повысит уровень квалификации будущего педагога. В настоящее время имеется достаточное количество прикладных программных средств, которые можно использовать при обучении физике в целом и при решении задач по квантовой механике в частности. Особое место среди них занимают так называемые системы символьных вычислений, или системы компьютерной алгебры (СКА). Указанные выше противоречия объясняют актуальность поиска и реализации методики обучения решению задач по квантовой механике с использованием СКА в педагогических вузах. В [16], например, с помощью системы Mathematica наглядно демонстрировались электронные состояния в квантовой яме и туннельный эффект.

В преподавании теоретической физики вопрос о применении СКА имеет особую важность [4; 22]. С одной стороны, при решении большинства физических задач, особенно в курсе квантовой механики, приходится иметь дело с громоздкими математическими преобразованиями. С другой стороны, обучение студентов методам математических преобразований не является задачей преподавания теоретической физики (особенно в условиях весьма ограниченного объема аудиторных часов). В этих условиях использование СКА в курсе теоретической физики вполне оправданно и даже актуально. Особое внимание стоит уделить обширным графическим возможностям СКА (явное и параметрическое задание функций, трехмерные изображения, векторные поля, распределение плотности, динамическое изменение параметров, анимация графиков, криволинейные системы координат и т. д.). Использование таких систем в обучении позволяет:

– сократить трудоемкие математические преобразования;

– сэкономить аудиторное время;

– повысить наглядность изучаемого материала;

– разнообразить учебную деятельность студентов;

– активизировать у студентов мыслительную деятельность и интерес к самостоятельной исследовательской работе;

– повысить эффективность использования часов, отведенных на СРС;

– актуализировать использование компьютерных технологий в инновационной деятельности будущего преподавателя.

Вышесказанное свидетельствует о качественно новом уровне решения методических задач, которое обеспечивает применение СКА в учебном процессе.

Приведем некоторые примеры использования СКА на занятиях по квантовой механике. Выше получено выражение для волновой функции $|0\rangle$ основного состояния гармонического осциллятора. Для того чтобы получить волновые функции состояний с номером $n \geq 1$, необходимо n раз подействовать на функцию $|0\rangle$. Для закрепления математических навыков можно предложить студентам проделать данную операцию самостоятельно для значений $n = 1, 2$. Однако для больших значений n эту работу лучше поручить компьютеру. На рис. 1 приведен пример цикла, записанного в Mathematica, позволяющего записать выражение для волновой функции гармонического осциллятора в любом состоянии (в данном случае для $n = 5$). Цикл задается командой

For [⟨*счетчик; начальное значение*⟩, ⟨*инкремент*⟩,⟨*тело цикла*⟩]

В теле цикла задана, согласно формулам (8) и (9), команда

$$\frac{1}{\sqrt{2k}} *(-\partial_x(\langle \textit{предыдущее значение} \rangle) + x*(\langle \textit{предыдущее значение} \rangle),$$

вычисляющая значение переменной на шаге с номером k, используя значение этой переменной на предыдущем шаге, пока не выполнится условие $k < n + 1$, где n – номер состояния. Оператор $k{+}{+}$ увеличивает значение счетчика k на 1 до использования k в теле цикла.

Следует отметить, что в курсах по квантовой механике для записи волновой функ-

```
In[1] :=
n = 5;
F0[x_] := 1/π^(1/4) * Exp[-x^2/2];
For[k = 1; FN = F0[x], k < n + 1, k++, FN = 1/Sqrt[2 * k] * (-∂x(FN) + x * FN)];
FullSimplify[FN]
Out[4] :=
```

$$\frac{e^{-\frac{x^2}{2}}\, x\left(15 + 4x^2\left(-5 + x^2\right)\right)}{2\sqrt{15}\,\pi^{1/4}}$$

Рис. 1. Задание цикла в программе Mathematica, позволяющего вычислять волновую функцию гармонического осциллятора для любого состояния, задаваемого номером *n* (в данном случае *n* = 5)

```
In[1] :=
n = 5;
F[x_, k_] := Exp[-x^2/2] * HermiteH[k, x] / Sqrt[Sqrt[π] * 2^k * Gamma[k + 1]];
FullSimplify[F[x, n]]
Out[3] :=
```

$$\frac{e^{-\frac{x^2}{2}}\, x\left(15 + 4x^2\left(-5 + x^2\right)\right)}{2\sqrt{15}\,\pi^{1/4}}$$

Рис. 2. Задание волновой функции гармонического осциллятора через полиномы Эрмита *n*-й степени (здесь приведен случай *n* = 5) ции используют полиномы Эрмита n-й степени [16–20]. Для сравнения на рис. 2 показан результат с применением такого полинома. В ядре системы Mathematica представлен широкий класс специальных функций. Функция, возвращающая значение полинома Эрмита, записывается следующим образом:

HermiteH [⟨ *степень полинома* ⟩,⟨ *аргумент* ⟩].

Однако с методической точки зрения заучивание студентами громоздких выражений, содержащих специальные функции и сложные полиномы, менее оправдано по сравнению с применением формулы (10). В последнем случае, кроме всего прочего, студенты закрепляют навыки программирования.

7. Заключение. Описанный выше подход преподавания темы «Вторичное квантование» позволяет подготовить почву для изложения некоторых квантовомеханических задач (в частности, проблемы квантового осциллятора) на основе метода вторичного квантования. Преимуществом такого изложения являются:

– использование алгебраических методов (алгебры операторов), что отличает выбранный подход от методики изложения, использующей волновой метод;

– отсутствие дополнительных допущений о нумерации состояний, как это делается в матричном методе;

– возможность изучения методов вторичного квантования;

– отсутствие необходимости в дополнительных аудиторных часах, что позволяет уложиться в рабочий план, несмотря на введение темы, которая обычно в рамках программы педвузов не рассматривается [13].

Введение в программу раздела «Квантовая механика» темы «Вторичное квантование» является важным как с точки зрения формирования у студентов компетенций, необходимых для самостоятельной научной работы, так и с точки зрения межпредметных связей. Владение соответствующими методами, во-первых, позволит в будущем вести научную работу в области теории многих частиц и публиковать свои результаты в рецензируемых изданиях, во-вторых, даст возможность подготовить студента к более сложным курсам (например, к курсу «Электронные процессы в твердых телах», изучаемому в магистратуре по программе «Физическое образование»).

Список литературы

1. Алферов Ж.И. Двойные гетероструктуры: концепция и применения в физике, электронике и технологии // Успехи физических наук. 2002. Т. 172. № 9. С. 1068–1086.

2. Алферов Ж.И. История и будущее полупроводниковых гетероструктур // Физика и техника полупроводников. 1998. Т. 32. Вып. 1. С. 3–18.

3. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. СПб.: Лань, 2004.

4. Вознесенская Н.В. Обучение физике студентов технических вузов с использованием современных компьютерных технологий: дис. … канд. пед. наук. Саранск, 2006.

5. Гейм А.К. Случайные блуждания: непредсказуемый путь к графену // Успехи физических наук. 2011. Т. 181. № 12. С. 1284–1298.

6. Гончар И.И., Крохин С.Н., Чушнякова М.В. О методике изложения вопроса «Квантование энергии частицы» на лекциях по физике во втузе // Вестн. Омск. ун-та. 2017. Т. 84. № 2. С. 41–44.

7. Давыдов А.С. Квантовая механика. СПб.: БХВ-Петербург, 2011.

8. Далингер В.А. Анализ российского государственного стандарта по направлению «Педагогическое образование» и подготовки учителей математики // Междунар. журн. эксперимент. образования. 2017. № 3. С. 67–72.

9. Кукк П.Л., Гаврилов А.А., Рейтер Э.К. Об изложении проблемы гармонического осциллятора в курсе общей физики // В помощь преподавателю. Вопросы методики преподавания квантовой физики / Тарт. гос. ун-т. Тарту, 1988. Т. XII. С. 24–27.

10. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. 3: Квантовая механика. М.: Физматилит, 2002.

11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. 4: Квантовая электродинамика. М.: Физматилит, 2002.

12. Мессиа А. Квантовая механика. М.: Наука, 1978. Т. 1, 2.

13. Мултановский В.В., Василевский А.С. Курс теоретической физики для педвузов. Кн. 3: Квантовая механика. М.: Дрофа, 2007.

14. Новосёлов К.С. Графен: материалы Флатландии // Успехи физических наук. 2011. Т. 181. № 12. С. 1299–1311.

15. Перлмуттер С. Измерение ускорения космического расширения по сверхновым // Успехи физических наук. 2013. Т. 183. № 10. С. 1060–1077.

16. Петрова О.А. Демонстрация решения простейших задач квантовой механики с помощью компьютерных моделей системы Wolfram Mathematica // Молодой ученый. 2015. Т. 92.1. № 12.1. С. 63–65.

17. Рисс А.Дж. Мой путь к ускоряющейся Вселенной // Успехи физических наук. 2013. Т. 183. № 10. С. 1090–1098.

18. Розман Г.А. Теоретическая физика в педагогическом институте // Физическое образование в вузах. 2002. Т. 8. № 1. С. 109–111.

19. Савельев И.В. Основы теоретической физики. Т. 2: Квантовая механика. М.: Наука, 1977.

20. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч. Квантовая механика. М.: Наука, 1979.

21. Тютяев А.В., Тян В.К. Формирование системы физических знаний в техническом университете // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. С. 1014.

22. Тяжельникова О.Ю. Методика обучения решению задач по квантовой механике студентов педагогических вузов с использованием систем символьных вычислений: дис. … канд. пед. наук. Нижний Тагил, 2006.

23. Хиггс П.У. Как удалось обойти теорему Голдстоуна // Успехи физических наук. 2015. Т. 185. № 10. С. 1059–1060.

24. Шмидт Б.П. Ускоренное расширение Вселенной по наблюдениям далеких сверхновых // Успехи физических наук. 2013. Т. 183. № 10. С. 1078–1089.

25. Энглер Ф. Механизм БЭХ и его скалярный бозон // Успехи физических наук. 2015. Т. 185. № 10. С. 1050–1058.

26. Abergel D.S.L., Apalkov V., Berashevich J., Ziegler K., Chakraborty T. Properties of graphene: a theoretical perspective // Advances in Physics. 2010. V. 59. P. 261–482.

27. Abergel D.S.L., Fal'ko V.I. Spin-orbit-assisted electron-phonon interaction and the magnetophonon resonance in semiconductor quantum wells // Physical Review B. 2008. V. 77. P. 035317.

28. Arfken G., Weber H., Harris F.E. Mathematical Methods for Physicists. Elsevier, Academic Press, 2012.

29. Durst A.C., Sachdev S., Read N., Girvin S.M. Radiation-Induced Magnetoresistance Oscillations in a 2D Electron Gas // Physical Review Letters. 2003. V. 91. P. 086803.

30. Dutta P., Maiti S.K., Karmakar S.N. Electric field induced localization phenomena in a ladder network with superlattice configuration: Effect of backbone environment // AIP Advances. 2014. V. 4. P. 097126.

31. Giustino F. Electron-phonon interactions from first principles // Reviews of Modern Physics. 2017. V. 89. P. 015003.

32. Kotov V.N., Uchoa B., Pereira V.M., Guinea F., Castro Neto A.H. Electron-Electron Interactions in Graphene: Current Status and Perspectives // Reviews of Modern Physics. 2012. V. 84. P. 1067.

33. The Nobel Prize in Physics 2015 [Electronic resource]. URL: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2015/ (дата обращения: 12.07.2018).

34. The Nobel Prize in Physics 2017 [Electronic resource]. URL: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2017/ (дата обращения: 12.07.2018).

* * *

1. Alferov Zh.I. Dvojnye geterostruktury: koncepcija i primenenija v fizike, jelektronike i tehnologii // Uspehi fizicheskih nauk. 2002. T. 172. № 9. S. 1068–1086.

2. Alferov Zh.I. Istorija i budushhee poluprovodnikovyh geterostruktur // Fizika i tehnika poluprovodnikov. 1998. T. 32. Vyp. 1. S. 3–18.

3. Blohincev D.I. Osnovy kvantovoj mehaniki. SPb.: Lan', 2004.

4. Voznesenskaja N.V. Obuchenie fizike studentov tehnicheskih vuzov s ispol'zovaniem sovremennyh komp'juternyh tehnologij: dis. … kand. ped. nauk. Saransk, 2006.

5. Gejm A.K. Sluchajnye bluzhdanija: nepredskazuemyj put' k grafenu // Uspehi fizicheskih nauk. 2011. T. 181. № 12. S. 1284–1298.

6. Gonchar I.I., Krohin S.N., Chushnjakova M.V. O metodike izlozhenija voprosa «Kvantovanie jenergii chasticy» na lekcijah po fizike vo vtuze // Vestn. Omsk. un-ta. 2017. T. 84. № 2. S. 41–44.

7. Davydov A.S. Kvantovaja mehanika. SPb.: BHV-Peterburg, 2011.

8. Dalinger V.A. Analiz Rossijskogo gosudarstvennogo standarta po napravleniju «Pedagogicheskoe obrazovanie» i podgotovki uchitelej matematiki // Mezhdunar. zhurn. jeksperiment. obrazovanija. 2017. № 3. S. 67–72.

9. Kukk P.L., Gavrilov A.A., Rejter Je.K. Ob izlozhenii problemy garmonicheskogo oscilljatora v kurse obshhej fiziki // V pomoshh' prepodavatelju. Voprosy metodiki prepodavanija kvantovoj fiziki / Tart. gos. un-t. Tartu, 1988. T. XII. S. 24–27.

10. Landau L.D., Lifshic E.M. Teoreticheskaja fizika. T. 3: Kvantovaja mehanika. M.: Fizmatilit, 2002.

11. Landau L.D., Lifshic E.M. Teoreticheskaja fizika. T. 4: Kvantovaja jelektrodinamika. M.: Fizmatilit, 2002.

12. Messia A. Kvantovaja mehanika. M.: Nauka, 1978. T. 1, 2.

13. Multanovskij V.V., Vasilevskij A.S. Kurs teoreticheskoj fiziki dlja pedvuzov. Kn. 3: Kvantovaja mehanika. M.: Drofa, 2007.

14. Novosjolov K.S. Grafen: materialy Flatlandii // Uspehi fizicheskih nauk. 2011. T. 181. № 12. S. 1299–1311.

15. Perlmutter S. Izmerenie uskorenija kosmicheskogo rasshirenija po sverhnovym // Uspehi fizicheskih nauk. 2013. T. 183. № 10. S. 1060–1077.

16. Petrova O.A. Demonstracija reshenija prostejshih zadach kvantovoj mehaniki s pomoshh'ju komp'juternyh modelej sistemy Wolfram Mathematica // Molodoj uchenyj. 2015. T. 92.1. № 12.1. S. 63–65.

17. Riss A.Dzh. Moj put’ k uskorjajushhejsja Vselennoj // Uspehi fizicheskih nauk. 2013. T. 183. № 10. S. 1090–1098.

18. Rozman G.A. Teoreticheskaja fizika v pedagogicheskom institute // Fizicheskoe obrazovanie v vuzah. 2002. T. 8. № 1. S. 109–111.

19. Savel’ev I.V. Osnovy teoreticheskoj fiziki. T. 2: Kvantovaja mehanika. M.: Nauka, 1977.

20. Sokolov A.A., Ternov I.M., Zhukovskij V.Ch. Kvantovaja mehanika. M.: Nauka, 1979.

21. Tjutjaev A.V., Tjan V.K. Formirovanie sistemy fizicheskih znanij v tehnicheskom universitete // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2015. № 1. S. 1014.

22. Tjazhel’nikova O.Ju. Metodika obuchenija resheniju zadach po kvantovoj mehanike studentov pedagogicheskih vuzov s ispol’zovaniem sistem simvol’nyh vychislenij: dis. … kand. ped. nauk. Nizhnij Tagil, 2006.

23. Higgs P.U. Kak udalos’ obojti teoremu Goldstouna // Uspehi fizicheskih nauk. 2015. T. 185. № 10. S. 1059–1060.

24. Shmidt B.P. Uskorennoe rasshirenie Vselennoj po nabljudenijam dalekih sverhnovyh // Uspehi fizicheskih nauk. 2013. T. 183. № 10. S. 1078–1089.

25. Jengler F. Mehanizm BJeH i ego skaljarnyj bozon // Uspehi fizicheskih nauk. 2015. T. 185. № 10. S. 1050–1058.

Methodology for presenting the topics “Secondary quantization” and “Quantum harmonic oscillator” in the framework of the course “Fundamentals of theoretical physics” for students of teacher training universities

The article is devoted to teaching methodology of the topics “Secondary quantization” and “Quantum Harmonic Oscillator”. The importance of secondary quantization methods in the scientific and educational activities of students is revealed. The author also speculates on the importance of the problem of a harmonic oscillator. The methods for solving this problem are analyzed. The advantages of the presentation of the theme “Quantum Harmonic Oscillator” are discussed as an example illustrating the application of the method of secondary quantization.

Key words: *secondary quantization, quantum harmonic oscillator.*

(Статья поступила в редакцию 15.08.2018)

М.И. АРЖАКОВА, К.Е. ЕГОРОВА
(Якутск)

ФОРМИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА МЕТОДИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ БАКАЛАВРОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ» В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ (на примере профиля «Биология и химия»)

Рассматриваются пути и условия формирования методической компетентности будущих бакалавров – учителей биологии и химии в условиях Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова.

Ключевые слова: *федеральный государственный образовательный стандарт, профессиональный стандарт, компетентность, компетентностный подход, профессиональная компетентность, методическая компетентность.*

Изменения, происходящие в системе высшего образования, принятие новых нормативных документов (ФГОС ВО, профессиональный стандарт и др.) требуют особого внимания на сегодняшний день [11]. Прежде всего, они обусловлены общеевропейской и мировой тенденцией интеграции, глобализацией мировой экономики и в этой связи введением компетентностного подхода в российскую систему образования. Известно, что данный подход ставит задачу изменения парадигмы образования, принципов адаптивности выпускника на принцип компетентности [6]. Наряду с этим происходит переориентация оценки результата образования с понятий «образованность», «общая культура», «воспитанность» на понятия «компетенция», «компетентность» обучающихся. Исходя из этого, мы видим, что переход вузов на новые образовательные стандарты, концептуальной основой которого считается компетентностный подход, заключается в замене парадигмы преподавания на парадигму продуктивного обучения, определяющую образовательный процесс как побуждающий не только выполнять действия, но и оценивать их и анализировать [2; 7]. При этом многими авторами (Н.Ф. Ефремова, Г.И. Ибрагимов и др.) отмечено, что наиболее проблемными остаются все же вопросы оценки достижения заяв-