

ГЕНЕЗИС КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ И МЕТОДИКА ЕЁ ПРЕПОДАВАНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ИНДУКТИВНО-ИСТОРИЧЕСКОГО ПОДХОДА

В. Н. Хильманович¹, С. В. Гапоненко²

¹⁾ Гродненский государственный медицинский университет, ул. Горького, 80, 230009,
Гродно, Беларусь, e-mail: valentina-gr@yandex.ru

²⁾ Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, пр. Независимости, 68, 220050,
Минск, Беларусь, e-mail: nanoscience@lut.by

На основании подобия процессов познания и обучения предлагается методика преподавания основ квантовой механики в высшей школе с применением индуктивно-исторического подхода. Основная идея подхода состоит в связи генезиса квантовой механики и способов получения знаний в ходе её становления как науки. Основу методики составляет система оптических аналогий квантовых явлений, которые были использованы учёными-основателями квантовой механики в разное время в ходе её зарождения и развития. Показан также обратный процесс: влияние квантовой механики на развитие оптики. Приведены примеры оптических явлений, открытых на основе аналогий в квантовой теории.

Ключевые слова: квантовая механика; методика преподавания; индуктивно-исторический подход; система аналогий.

GENESIS OF QUANTUM MECHANICS AND METHOD OF ITS TEACHING THROUGH AN INDUCTIVE-HISTORICAL APPROACH

V. N. Khilmanovich¹, S. V. Gaponenko²

¹⁾ Grodno State Medical University, Gorkogo str. 80, 230009, Grodno, Belarus

²⁾ B.I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus,
Nezavisimosti Ave. 68-2, 220050, Minsk, Belarus

Corresponding author: V. N. Khilmanovich (valentina-gr@yandex.ru)

Based on the similarity of the processes of cognition and learning, a methodology for teaching the fundamentals of quantum mechanics in higher education using an inductive-historical approach is proposed. The main idea of the approach is the connection between the genesis of quantum mechanics and the methods of obtaining knowledge during its formation as a science. The basis of the methodology is a system of optical analogies of quantum phenomena, which were used by the founding scientists of quantum mechanics at different times during its inception and development. The reverse process is also shown: the influence of quantum mechanics on the development of optics. Examples of optical phenomena discovered on the basis of analogies in quantum theory are given.

Key words: quantum mechanics; teaching methods; inductive-historical approach; system of analogies.

ВВЕДЕНИЕ

Практическое применение многочисленных достижений физики в технике, информатике, медицине, сельском хозяйстве невозможно без знания основ

квантовой механики. Приложения квантовой механики составляют основу микроэлектроники, полупроводниковых оптических приборов, лазерной техники, материаловедения. Квантовые технологии дали толчок новым направлениям в науке, таким как квантовые вычисления, квантовая криптография, квантовая оптика, нанофотоника и др.

Квантовая механика выступает ядром в понимании строения вещества и является научной основой таких учебных дисциплин высшей школы, как «Физика атома», «Основы строения вещества», «Физика твердого тела», «Основы полупроводниковой электроники». Как учебная дисциплина высшей школы она является самой сложной для понимания с точки зрения обучающихся. Во-первых, у студентов преобладает наглядно-образное мышление, а квантовые явления традиционно считаются ненаглядными. Отсутствие элементов наглядности затрудняет процесс восприятия. Во-вторых, несмотря на важность этой дисциплины в современной физике и технике, количество часов на ее изучение недостаточно. Если студенты классических и педагогических университетов изучают отдельный курс квантовой механики, то студенты технических вузов ограничиваются ее основами, включенными в классические разделы физики. Это не позволяет сформировать у обучающихся комплекс глубоких теоретических представлений по наиболее перспективной отрасли современной физической науки. В-третьих, преобладание классических представлений, основы которых заложены еще в школьном курсе физики, делают квантовые явления оторванными от общей физической картины макромира.

Таким образом, необходимо применить такой подход в преподавании квантовой механики, чтобы сделать её наглядной и понятной широкой аудитории студентов, а также сформировать у обучающихся естественнонаучное мировоззрение.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Теоретической основой методики преподавания квантовой механики в высшей школе выступает концепция единства и подобия процессов познания и обучения, заложенная в работах С.А. Шапоринского [1], В.Н. Мошанского [2], Г.М. Голина [3] и др. Идея концепции состоит в сближении методов обучения и методов науки, что позволяет обеспечить развитие теоретического мышления у обучающихся. В качестве основного методического подхода нами выбран индуктивно-исторический подход, основным методом выступает метод аналогий.

Чтобы не разрушить представления о физике как о системе взаимосвязанных теорий, необходимо раскрыть исторический переход от классической к квантовой физике и показать границы применимости законов, описывающих основные процессы. Индуктивно-исторический подход заключается в анализе фактов и понятий в ходе естественного развития науки. Но история науки не может служить основой построения современного курса физики. Она помогает сформировать эмпирическое, теоретическое и творческое мышление, показать явление или процесс в логическом ракурсе, дедуктивно получить выводы.

Генезис квантовой механики показывает, что на ранней стадии её становления оптические и оптико-механические аналогии имели определяющее значение для интуитивного формирования новых понятий и представлений. Так, установленная в 1824 г. Гамильтоном аналогия между механикой и оптикой сыграла определяющую роль в появлении основного уравнения квантовой механики – уравнения Шрёдингера. На использование оптических аналогий указывают работы основателей кванто-

вой механики: М. Планка, Л. де Бройля, М. Борна, В. Гейзенберга и др. Глубокое проникновение оптических представлений в генезисе квантовой механики не могло не вызвать проведения аналогий между вновь открытыми эффектами новой теории и давно изученными явлениями оптики. Объединив квантовые явления и соответствующие им оптические аналогии, мы получили систему оптических аналогов квантовых эффектов, которые обладают наглядностью и просты в восприятии.

Приведем несколько примеров ранних указаний на наличие оптических аналогий у квантовых эффектов, которые могут использоваться в учебном процессе. Аналогом плавного затухания волновой функции частицы под барьером конечной высоты является проникновение света за границу раздела двух сред при полном внутреннем отражении. На эту аналогию впервые указал в 1929 г. М. Планк [4]. Принципиальным физическим результатом, прямо вытекающим из волновых свойств квантовой частицы, является квантовый туннельный эффект. Его оптическими аналогами являются прохождение света через тонкую металлическую пленку и нарушенное полное внутреннее отражение. Первая работа, указавшая на возможность проникновения волновой функции за потенциальный барьер, была опубликована в 1928 г. Л.И. Мандельштамом и А.М. Леонтовичем [5]. Впоследствии Г. Гамов использовал этот эффект при построении теории альфа-распада ядер. Интересным является и тот факт, что явление нарушенного полного внутреннего отражения как экспериментально, так и теоретически было также исследовано Л.И. Мандельштамом и описано в статьях 1914 г. и 1916 г. На аналогию квантового туннельного эффекта с прохождением света сквозь тонкую металлическую пленку впервые указал в 1932 г. В. Гейзенберг [6]. Следующий оптический аналог можно обнаружить, рассмотрев одномерную задачу для двойного потенциального барьера. В одномерном случае двойного потенциального барьера узкая центральная потенциальная яма обладает квазистационарными связанными состояниями, имеющими определенные значения энергии. Если энергия падающих электронов совпадает с этими энергиями, то электроны туннелируют через оба барьера без всякого отражения, и можно получить для определенной энергии выполнение резонансного условия полного прохождения электронов при любой толщине двух барьеров. Аналогичная ситуация реализуется в оптике в интерферометре Фабри-Перо. Большая величина коэффициента прохождения возникает из-за того, что для определенных длин волн отраженные внутри волны интерферируют с падающей волной и гасятся так, что остается прошедшая волна. На существование этой аналогии указывал Л. Эсаки, получивший Нобелевскую премию по физике в 1973 г. за экспериментальные работы, сделанные им в 1956–1957 гг. по открытию туннельных явлений в полупроводниках [7]. Все представленные аналогии имеют математическое обоснование. Оно построено на изоморфизме уравнений Шрёдингера и Гельмгольца.

Интересным является влияние квантовой механики на развитие оптики. Квантовая механика очень быстро ушла вперед по сравнению с оптикой, так как ей пришлось решать задачи, аналогичные задачам волновой оптики, но не ставившиеся ранее в оптике. Достижения квантовой механики привели к предсказанию целого ряда новых оптических явлений при распространении электромагнитного излучения в сложных средах, что продемонстрировано в таблице ниже.

Перенос представлений из квантовой теории в оптику

Явления	Квантовая теория	Оптика
Энергетические зоны в кристаллах	Электронная теория твердых тел, 30-е годы XX века	80-е годы XX века
Локализация в случайном потенциале	Андерсоновская локализация электронов, 1958 г.	Андерсоновская локализация электромагнитных волн, 1984 г.
Квантовая интерференция в сложном потенциале	Слабая локализация электронов, 1982 г.	Когерентное обратное рассеяние, 1985 г.
Фрактальный энергетический спектр в квазипериодическом потенциале	Фрактальный энергетический спектр квазикристаллов, 1983 г.	Фрактальный спектр пропускания фильтров Фибоначчи, 1994 г.

Перенос представлений из квантовой теории твердого тела в оптику стал одним из факторов, обеспечивших формирование, становление и развитие новой области науки и техники – нанофотоники. Она возникла на стыке оптики, лазерной физики и химии твердого тела.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, анализ истории тесного взаимодействия двух разделов физической науки – оптики и квантовой механики позволяет утверждать о формировании на рубеже XX–XXI вв. системы квантово-оптических аналогий, которая может использоваться для преподавания квантовой механики и её основ в высшей школе. Приводятся примеры «барьерных» задач квантовой механики, существенных для преподавания физики полупроводниковых структур и электроники, которые имеют ясные оптические аналогии, и показано, как оптические аналогии помогают сформировать своеобразную «квантовую интуицию» у будущих специалистов в области полупроводниковой электроники [8]. Обучающиеся могут самостоятельно выделять пары аналогичных оптических и квантовых явлений, которые являются следствиями волновой природы света и квантовых частиц, понимая, что каждая пара аналогичных эффектов связана с проявлением одного или нескольких основных явлений: отражением волны на скачках показателя преломления или потенциала, интерференции волн, существованием экспоненциального затухания волн в т. н. «классически запрещенных» областях.

Применяя данную методику, можно также привести к одинаковому виду формулы, описывающие основные характеристики квантовых и оптических эффектов, путем введения в формулы квантовой механики показателя, аналогичного относительному показателю преломления для электромагнитной волны [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая методика может быть использована для преподавания основ квантовой механики в классических и педагогических университетах; в курсе «Физика» в технических вузах, а также в спецкурсах, читаемых для студентов, специализирующихся в области физики полупроводников, микро- и наноэлектроники, электронного

приборостроения при изложении электронной теории полупроводников, принципа работы туннельных диодов и других приборов на квантовых эффектах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Шапоринский, С.А. Обучение и научное познание / С.А. Шапоринский. – М.: Педагогика, 1981. – 208 с.
2. Мощанский, В.Н. Формирование диалектико-материалистического мировоззрения на уроках физики / В.Н. Мощанский. – М.: Высшая школа, 1983. – 88 с.
3. Голин, Г.М. Образовательные и воспитательные функции методологии научного познания в школьном курсе физики / Г.М. Голин. – М.: МОПИ, 1986. – 95 с.
4. Планк, М. Картина мира современной физики / М. Планк // УФН. – 1929. – Т.9, вып. 4. – С. 407–436.
5. Mandelstam, L. Zur Theorie der Schrödingerschen Gleichung / L. Mandelstam, M. Leontowitsch // Zs. f. Phys. – 1928. – Bd. 47. – S. 131–138.
6. Гейзенберг, В. Иллюстрация соотношений неопределенностей на различных измерительных приборах / В. Гейзенберг // Физические принципы квантовой теории / В. Гейзенберг – Л.; М., 1932. – С. 34–40.
7. Эсаки, Л. Путешествие в страну туннелирования. Нобелевские лекции по физике 1973г. / Л. Эсаки // УФН. – 1975. – Т. 116, вып. 4. – С. 569–582.
8. Гапоненко, С.В. Оптические аналогии квантовых явлений: учеб.-метод. пособие. / С.В. Гапоненко, С.В. Жуковский, В.Н. Хильманович. – Минск: РИВШ, 2009. – 88 с.

ГЛОБАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМИ ОТХОДАМИ И ОСОБЕННОСТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ В БЕЛАРУСИ

И. И. Хлудеев¹, Л. К. Герасимова², О. Д. Бичан³

¹⁾ *Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск, Беларусь, e-mail: ivan2khl@mail.ru*

²⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь, e-mail: geral@bsu.by*

³⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь, e-mail: bichan@bsu.by*

Проведен анализ изменений в области управления электронными отходами в развитых и развивающихся странах мира, а также в государствах СНГ за последнее десятилетие. Изучена динамика роста производства электрических и электронных товаров в странах с различным благосостоянием в зависимости от наличия законов, регламентирующих обращение с электронными отходами, и развитости сетей по их сбору и утилизации. Отмечено существенное повышение роли научно-технического сообщества в поиске решений данной проблемы, подтверждаемое результатами анализа баз данных патентных организаций, который выявил бурный рост числа подаваемых заявок на патенты. Установлены различия в правовом администрировании управления электронными отходами в странах ЕС и СНГ. Отмечается специфика законодательства Республики Беларусь и роль вузовской науки в успешном решении проблемы электронных отходов. Полученные результаты используются в лекционных материалах ряда учебных дисциплин, связанных с техносферной безопасностью, «зелёной» энергетикой и экологией.

Ключевые слова: электронные отходы (ЭО); утилизация; управление электронными отходами; патентная заявка.