

Педагогическая модель преподавания квантовой механики в вузе с использованием оптических аналогий

В. Н. Хильманович,
преподаватель Гродненского государственного
медицинского университета,
С. В. Гапоненко,
член-корреспондент, заведующий лабораторией
нанооптики, профессор

Высокие требования, предъявляемые государством к специалисту с высшим образованием, ведут педагогическую науку к поиску новых форм и методов в процессе преподавания в высшей школе. Простота, доступность и наглядность при изучении одного из сложнейших разделов физики – квантовой механики – являются условием качественного усвоения студентами сложного учебного материала, формирования естественно-научного мировоззрения, развития креативного и теоретического мышления. Важность этой дисциплины естественно-научного блока с каждым днем возрастает, так как стремительно развивается одно из стратегических направлений в науке – нанотехнологии. Для достижения основных составляющих качественного восприятия раздела физики, не отличающегося элементами наглядности, мы обратились к одному из самых древних методов в методике преподавания – методу аналогий.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 16.03.2012 г.

Слово «аналогия» происходит от греческих терминов «пропорции», «соразмерность», которые использовались еще в классической логике Аристотеля. В теоретическом плане аналогия предполагает соответствие элементов, совпадение ряда свойств или какое-либо иное отношение между предметами, явлениями и процессами, дающее основание для переноса информации, полученной при исследовании одного предмета на другой (явление, процесс). Исходный предмет, на базе осмысления (изучения) которого формируется аналогия, является моделью, предмет (явление, процесс), на который переносится признанная достоверная информация, – прототипом. С теоретической точки зрения модель должна обладать большей доступностью для познания, наглядностью и простотой. Модель и прототип могут принципиально отличаться по своей природе или качествам. Например, классическая аналогия между строением атома и организацией солнечной системы, обладая несомненным эвристическим и педагогическим потенциалом, никогда не претендовала на отождествление этих физических объектов. История развития физической науки проиллюстрирована яркими примерами использования аналогий практических на всех стадиях своего развития.

Метод аналогий широко использовался в педагогической практике как в средней школе при изучении классических разделов физики, так и в высшей. Но в процессе преподавания квантовой механики, которая описывалась сложным с точки зрения студентов математическим аппаратом и не обладала элементами наглядности, метод аналогий никогда не применялся.

В работах [1–4] мы показали влияние оптических аналогий в ходе возникновения и развития квантовой механики, а в [2; 3] математически доказали возможность проведения оптических аналогий между некоторыми квантовыми явлениями в процессе преподавания квантовой механики в вузе. Это дало основание для разработки педагогической модели преподавания этой дисциплины в вузе с использованием оптических аналогий. Мы обратились к педагогической модели, так как она дает возможность показать не только элементы самого педагогического процесса, их содержательную сторону, но и взаимосвязь между ними.

Исследование различных форм и аспектов моделирования педагогических процессов, рассмотренных в работах В. П. Беспалько, С. И. Архангельского, В. В. Краевского, И. И. Цыркуна и др., позволило определить общую методологию создания модели. Согласно классификации моделей О. А. Козыревой, нами выбрана вещественно-математическая модель.

Основы конкретно-научной методологии составили теоретические положения, заложенные в работах С. Е. Каменецкого и Н. А. Солодухина, Д. И. Кульбицкого, В. Н. Наумчика и др. Так, С. Е. Каменецкий и Н. А. Солодужин в [5] одну из главных ролей в препода-

даванні фізікі отводзіць аналогіям. Д. І. Кульбіцкі ў [6] адносіць метад аналогій да тэарэтычных і адводзіць яму вядучае месца, а В. Н. Намчык у [7; 8] ставіць нагляднасць, суправаджаючую аналогіі, у галаву разумення сутнасці фізічных з'яўленняў.

Платформай прапанаванай педагагічнай мадэлі з'яўляецца рад канцэптуальных асноваў: тэорыя развіваючага навучання, тэорыя праблемнага навучання, тэорыя поэтапнага фарміравання ўмшчальных дзеянняў і асацыятыўна-рэфлекторная канцэпцыя. Існуючыя канцэптуальныя тэорыі тесна звязаны і арганічна дапаўняюць адна другую.

Ісцюнікамі тэорыі праблемнага навучання сталі работы М. І. Махмутова, Р. І. Малофеева, А. М. Матюшкіна, І. Я. Лернера, М. Н. Скаткіна і др. Імянно тэорыя праблемнага навучання дазваляе існававаць метад аналогій для паставкі перад студэнцкай аудыторыяй праблемнай сітуацыі – поіск аптычных аналогій для некотрых квантавых з'яўленняў. Цянонасць гэтага навучання састойт у тым, што ўчэбная дзейнасць студэнтаў прыбратвае творчы характар, вядэ за сабой інтэлектуальнае развіццё.

Тэорыя развіваючага навучання, заложанная ў работах Л. С. Выготскага, В. В. Давыдова, І. С. Якіманскай, Л. В. Занкова, А. В. Мудрыка, разглядае знанне як працэс і рэзультат мыслення. Развіваючая функцыя ўчэбнай дзейнасці тесна звязана з сядержаннем ўчэбнага працэса і сама з'яўляецца тэарэтычным знаннем. Прымяненне метада аптычных аналогій ў працэсе прапавядання квантавай механікі непасрэдна стварае такія ўмовы для развіцця тэарэтычнага мыслення студэнтаў і адначасова з'яўляецца ісцюнікам новых знанняў. Так, напрыклад, мы паказываем, што фармулы для каэфіцыентаў праходжання і адражання ў квантавай механіцы (с введзеннем адносіельнага паказатэля праламлення) поўнасцю супадаюць з фармуламі для аналагічных задач у аптыцы. Гэта дае аснову для правядання аналогій і вамажнасць, не рашаючы непасрэдна ўраўненне Шрэдынгера, прадсказаць, як будзе вядзі сяба квантавая частыца ў канкрэтных ўмовах.

Прымяненне асноваў тэорыі поэтапнага фарміравання ўмшчальных дзеянняў, заложаных ў работах



Рис. 1. Схема педагогических основ, подходов и дидактических принципов для применения метода аналогий

П. Я. Гальперина, Н. Ф. Талызиной, А. Н. Леонтьева и др., в нашем случае позволяет последовательно вести студента через все этапы установления аналогий между изучаемыми явлениями, начиная с исторических взаимосвязей волновой оптики и квантовой механики и заканчивая обратным процессом: влияние квантовой механики на развитие оптики во второй половине XX в.

Ассоциативно-рефлекторная концепция, рассмотренная в работах Н. А. Менчинской, С. Л. Рубинштейна, Е. Н. Кабановой-Меллер и др., указывает на процесс постепенного образования в сознании обучаемых ассоциаций и аналогий по признаку сходств явлений в квантовой механике и оптике.

Педагогические теории, подходы и дидактические принципы, являющиеся основанием для применения метода оптических аналогий в преподавании квантовой механики, показаны в виде схемы на рис. 1.

При разработке концептуальных оснований реализации развивающих функций использования метода оптических аналогий для повышения уровня теоретического мышления, творческого потенциала студентов и уровня учебной успешности использовались принцип развития личности, научность, природосообразность, последовательность и систематичность, доступность, прочность, наглядность, активность, связь теории и практики, принцип развития «квантовой интуиции» и «квантовомеханического» мышления, творческих способностей. Применялись кибернетический, деятельностный и системный подходы.

Принцип развития личности реализуется в рассмотрении студента как активного субъекта, способного самостоятельно и ответственно выдвигать и отстаивать свою точку зрения в процессе поиска аналогий для каждой конкретной задачи.

Принцип научности реализуется при рассмотрении истории науки, в том числе и истории развития квантовой механики. Показывается роль аналогий в выдвижении новых теорий, демонстрируются и ложные аналогии, которые в процессе развития отвергались и им на смену приходили новые. Именно этот принцип позволяет сформировать научное мировоззрение, принять квантовую механику как науку, не оторванную от внешнего макромира. Реализация современного принципа природосообразности строится на понимании студентами взаимосвязи законов развития природы и человека. Это достигается на основе формирования научного мировоззрения и культурно-исторического опыта. Возможность и особенность восприятия основ квантовой механики с использованием оптических аналогий зависят от возрастных и индивидуальных особенностей студентов. Последовательность и систематичность заключаются в формировании системы научных взаимосвязанных понятий на основании организованного обучения. Система знаний определяется внутренней логикой учебного процесса. Применение оптических аналогий при изучении квантовой механики последовательно от одной задачи к другой пошагово позволяет систематизировать полученные знания и выстроить целостную картину микромира. Доступность определяется приобретением студентами знаний в процессе обучения от более легких для восприятия разделов физики к более сложным.

Принцип прочности знаний реализуется путем повторения пройденного материала из раздела «Оптика», необходимого для установления аналогий, а также за счет привлечения непроизвольного внимания студентов в процессе изложения исторического материала. Наглядность как наиболее важный из реализуемых нами принципов проявляется в возможности визуализации квантовых явлений на основании их оптических аналогов при решении конкретных задач математически и графически. Связь теории с практикой определяется приобретением будущими специалистами необходимых знаний из квантовой механики, диктуемых быстрым развитием нанотехнологий и их приложений.

Применение метода оптических аналогий способствует повышению эффективности овладения нужными знаниями. Активность достигается выдвижением гипотез по установлению аналогий на каждом новом этапе рассмотрения поставленной задачи. Развитие «квантовой» интуиции и «квантовомеханического» мышления, а также творческих способностей реализуется с помощью метода аналогий таким образом, что при рассмотрении ряда задач можно предсказать поведение квантовой частицы на основании аналогичных задач в оптике.

Кибернетический подход состоит в том, что всякое целенаправленное действие – это управление (обобщение приемов и методов) и регулирование процесса обучения с помощью прямой и обратной связи. Подход предполагает использование определенных алгоритмов управления. В нашем случае он позволяет реализовать алгоритм управления учебным процессом с применением метода аналогий.

Системный подход проявляется в том, что самостоятельные компоненты рассматриваются не изолированно, а в тесной взаимосвязи и развитии. Так, квантовые явления и связанные с ними задачи рассматриваются во взаимосвязи с оптикой и историей развития самой квантовой механики и прикладного применения ее результатов.

Деятельностный подход основан на том, что все знания, приобретаемые человеком, связаны и обусловлены его деятельностью. Он проявляется в том, что различные виды деятельности, совершаемые студентами, приводят к приобретению знаний и изменению самой личности студента (формированию интуиции, умственных способностей, особенностей характера). В процессе обучения квантовой механике преподаватель ставит задачу сформировать у студентов умение осуществлять деятельность, причем осуществляемая деятельность должна создавать определенную систему новых знаний.

Построенная нами вещественно-математическая педагогическая модель содержит три компонента: содержательный, процессуальный и оценочно-результативный.

Содержательный компонент модели составляет содержание программного курса основ квантовой механики, изучаемого в вузе. В нем в обязательном порядке рассматриваются задачи движения квантовой частицы над полубесконечным потенциальным барьером, ямой, процессы туннелирования, резонансного туннелирования и другие задачи и их оптические аналоги. Математическое решение этих стандартных задач в связке с оптическими аналогами образует «ядро» содержания модели. В содержательный компонент мы включили исторический аспект выявленных аналогий. Он опирается на работы ученых-создателей квантовой механики, а также рассматривает обратный процесс переноса представлений из квантовой механики в оптику. Таким образом, содержательный компонент включает не только физико-математиче-

ское и историко-научное содержание программного курса, но и показывает тесную связь между ними на основании установленных оптических аналогий некоторых квантовых явлений.

Процессуальный компонент представляет этапы осуществления деятельности по проведению аналогий. Компонент включает несколько этапов: структурирование учебного материала с целью выявления тем занятий по основам квантовой механики, где возможно применение метода аналогий; выделение элементов из программного материала, требующих повторения оптики; формирование проблемной ситуации. Последний этап вытекает из математического решения рассматриваемой задачи и его графического представления. Используется также обратная связь.

Оценочно-результативный компонент включает набор тестовых заданий, проводимых в три этапа для проверки уровня успешности студентов, вопросы и задания для самостоятельного решения (контролируемая самостоятельная работа студентов) и рефлексивную оценку результатов учебной деятельности.

Таким образом, предложенная модель (рис. 2) помогает увидеть изложение основ квантовой механики совершенно в иной плоскости: наглядной, упрощенной, понятной, доступной широкой аудитории студентов, изучающих ее основы.

Реализацию педагогической модели мы представляем с помощью алгоритма, который может быть использован как при изложении лекционного материала, так и на практических занятиях.

Приведем алгоритм применения метода оптических аналогий при изложении квантовой механики.

Шаг 1 – структурирование материала. Выделение из всей программы курса тем, в которых возможно применение метода аналогий. Например, к таким темам в рассмотрении курса «Атомная и ядерная физика с элементами квантовой теории» можно отнести темы, где рассматриваются уравнение Шредингера, эффект Рамзауэра – Таунсенда, движение квантовой частицы над полубесконечной ступенькой потенциального барьера, движение квантовой частицы над потенциальной ямой, туннельный эффект, резонансное туннелирование и др.

Шаг 2 – выделение элементов повторения. Для подготовки аудитории студентов к проведению оптических

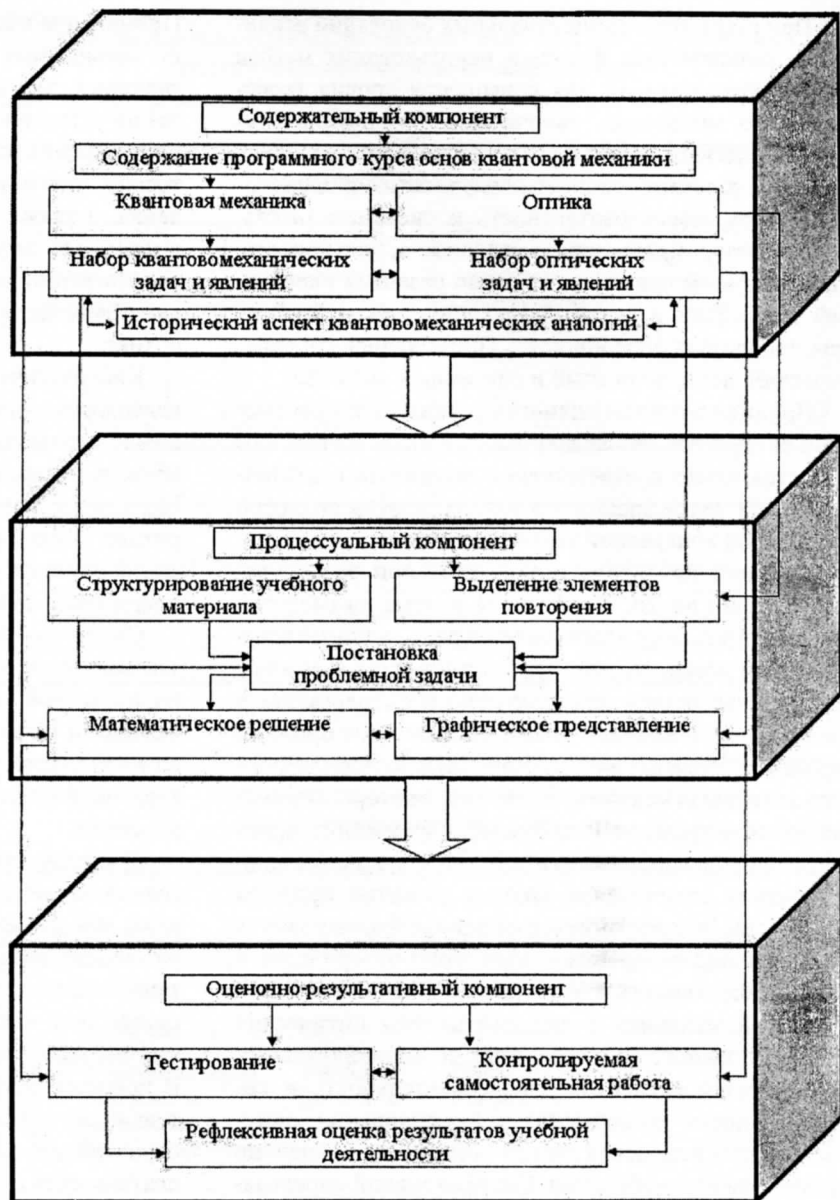


Рис. 2. Педагогическая модель преподавания квантовой механики с использованием оптических аналогий

аналогий выделяем темы из оптики для повторения: уравнение, описывающее поведение электромагнитной волны – уравнение Гельмгольца, интерференция волн, показатель преломления, явления полного внутреннего отражения и нарушенного полного внутреннего отражения.

Шаг 3 – формулирование проблемной задачи (через исторический аспект). Этот этап реализуется на основании изложения истории становления и развития квантовой механики и обратного влияния квантовой механики на развитие оптики или демонстрации одной аналогии (например, движение квантовой частицы над ступенькой потенциала и распространение электромагнитной волны над ступенькой показателя преломления).

Шаг 4 – математическое решение предлагаемой задачи. Изложение аналогий начинаем с рассмотрения

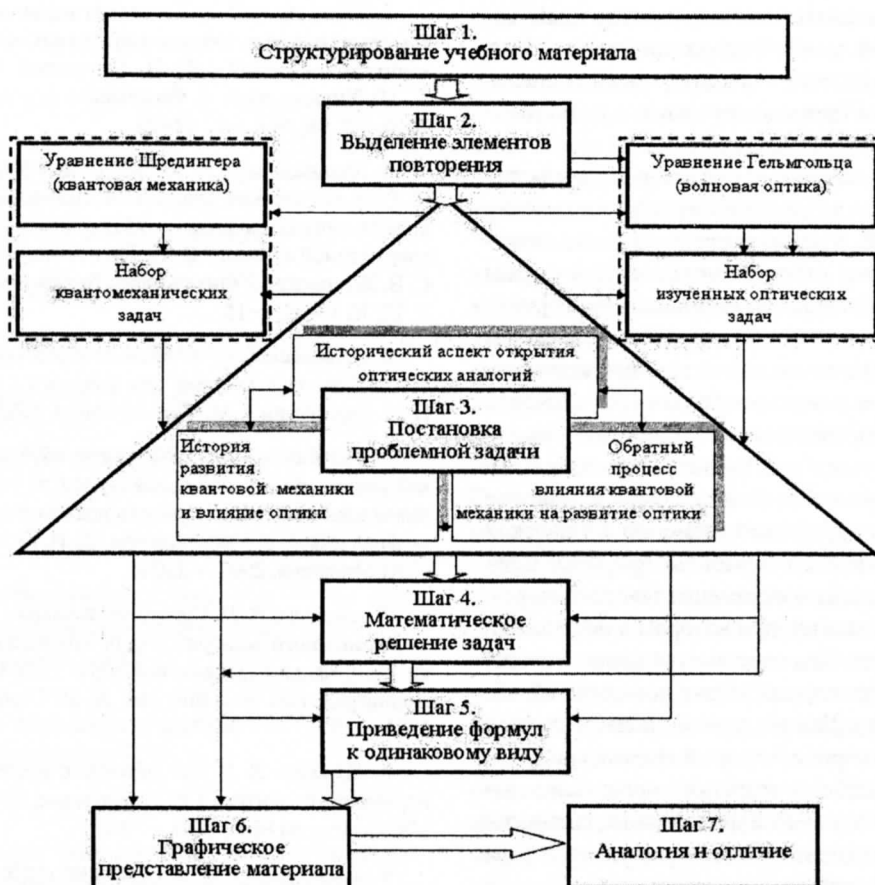


Рис. 3. Алгоритм использования метода оптических аналогий в преподавании квантовой механики

математической одинаковости уравнений Шредингера и Гельмгольца. Этот шаг включает: решение уравнений, введение показателя преломления в квантовой механике, аналогичного в оптике.

Шаг 5 – приведение формул для коэффициентов прохождения и отражения для оптической и квантовомеханической задач к одинаковому виду. Для некоторых задач, таких как туннелирование квантовой частицы, резонансное туннелирование, целесообразно привести также и исторический аспект, показать, что оптические аналоги этих эффектов – явления нарушенного полного внутреннего отражения и прозрачность тонких металлических пленок, прозрачность интерферометра Фабри – Перо – имеют исторические корни и в разные временные промежутки упоминались учеными, внесшими большой вклад в развитие квантовой механики (В. Гейзенберг, А. Зоммерфельд, Л. Эсаки). По желанию преподавателя можно рассмотреть открытие явления полного внутреннего отражения и квантового туннельного эффекта Л. И. Мандельштамом (туннельного эффекта совместно с М. А. Леонтовичем).

Шаг 6 – графическое представление изучаемого материала. Для придания еще большей наглядности рассматриваемым явлениям целесообразно введение графического и табличного материала. Графики и таблицы представлены в нашем учебно-методическом

пособии [2], которое также содержит математические выводы и исторический материал.

Шаг 7 – установление аналогий и отличия. На завершающем этапе изложения материала необходимо отметить общие свойства электронов и электромагнитных волн, а также их отличия, поскольку приведенные нами аналогии ограничиваются методикой преподавания физики и способны улучшить процесс восприятия квантовых явлений. Необходимо подчеркнуть, что одно из важнейших отличий состоит в том, что уравнение Гельмгольца задает свойства реально наблюдаемой физической величины, а уравнение Шредингера – нереально наблюдаемой физической величины. Далее следует указать, что фотоны существенно отличаются от электронов: первые являются бозонами и не имеют массы покоя, а вторые – фермионами и имеют заряд.

Приведенный нами алгоритм использования метода оптических аналогий можно представить в виде схемы последовательных этапов, связанных между собой физико-математическими и научно-историческими аспектами (рис. 3).

Разработанный алгоритм может изменять свое содержание. В предлагаемом виде он реализован для студентов инженерных специальностей. Для студентов других специальностей, изучающих основы квантовой механики, объем материала может быть уменьшен, не-

изменным останется лишь подход, реализуемый посредством метода аналогий. Содержание тоже может изменяться в зависимости от специальности и специализации. Главным остается аспект важности понимания квантовой механики студентами.

Модель апробирована в ходе педагогического эксперимента, проведенного в Гродненском государственном университете имени Я. Купалы и среди студенток инженерных специальностей второго курса дневной формы обучения, где показала свою эффективность [9; 10].

Таким образом, предложенная модель, основанная на использовании оптических аналогий в преподавании квантовой механики и основ атомной физики, позволит повысить наглядность квантовомеханических концепций и понятий, будет способствовать формированию у студентов согласованных представлений о генезисе физической теории и внутренней гармонии физической картины мира, отражающей гармонию природы. Важным представляется также и отражение такого пути развития новейших технологий, при котором в новую, возникающую область техники переносятся представления и явления из другой, на первый взгляд посторонней, области науки и техники. Для реализации педагогической модели предложен алгоритм, который является подвижной структурой, способной трансформироваться в зависимости от объема изучаемой дисциплины, специальности, по которой проходит подготовку студент, и ряда других особенностей учебного процесса.

Список литературы

1. Гапоненко, С. В. Применение метода аналогии в преподавании курса «Квантовая механика» в высшей школе / С. В. Гапоненко, В. Н. Хильманович // Высшая школа. – 2008. – № 5(67). – С. 43–47.
2. Гапоненко, С. В. Оптические аналогии квантовых явлений: учеб.-метод. пособие / С. В. Гапоненко, С. В. Жуковский, В. Н. Хильманович. – Минск: РИВШ, 2009. – 88 с.

3. Гапоненко, С. В. Квантовая механика и оптика: I. Математическое обоснование оптических аналогий некоторых квантовых явлений / С. В. Гапоненко, С. В. Жуковский, В. Н. Хильманович // Физическое образование в вузах. – 2010. – Т. 16, № 4. – С. 11–25.

4. Хильманович, В. Н. Квантовая механика и оптика: II. Роль оптических аналогий в становлении квантовой механики и обратное влияние квантовой механики на развитие современной оптики / В. Н. Хильманович, С. В. Гапоненко, С. В. Жуковский // Физическое образование в вузах. – 2011. – Т. 17, № 1. – С. 3–15.

5. Каменецкий, С. Е. Модели и аналогии в курсе физики средней школы: пособие для учителей / С. Е. Каменецкий, Н. А. Солодухин. – М.: Просвещение, 1982. – 96 с.

6. Кульбицкий, Д. И. Методика обучения физике в средней школе: учеб. пособие для студентов учреждений, обеспечивающих получение высшего педагогического образования по физическим специальностям / Д. И. Кульбицкий. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 220 с.

7. Наумчик, В. Н. Совершенствование техники и методики лекционного эксперимента по оптике в курсе общей физики: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / В. Н. Наумчик; Ленинград. гос. пед. ин-т им. А. И. Герцена. – Ленинград, 1981. – 19 с.

8. Наумчик, В. Н. Наглядность в демонстрационном эксперименте по физике / В. Н. Наумчик, А. М. Саржевский. – Минск: Изд-во БГУ, 1983. – 95 с.

9. Хильманович, В. Н. Влияние оптических аналогий в квантовой механике на учебную успешность студентов / В. Н. Хильманович // Перспективы развития высшей школы: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 27–28 мая 2010 г. / Гроднен. гос. аграр. ун-т; редкол.: В. К. Пестис [и др.]. – Гродно, 2010. – С. 386–390.

10. Хильманович, В. Н. Квантовая механика и оптика: III. Педагогический эксперимент с использованием оптических аналогий / В. Н. Хильманович, С. В. Жуковский, С. В. Гапоненко // Физическое образование в вузах. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 103–115.

Аннотация

В статье предлагается педагогическая модель преподавания основ квантовой механики в вузе с использованием оптических аналогий. Модель содержит три компонента: содержательный, процессуальный и оценочно-результативный. Методология исследования опирается на педагогические теории, дидактические принципы и подходы. Для реализации педагогической модели предложен алгоритм, который представлен в виде пошаговых действий применения метода оптических аналогий в преподавании квантовой механики в вузе. Алгоритм является подвижной структурой, способной трансформироваться в зависимости от объема изучаемой дисциплины, специальности, по которой проходит подготовку студент, и ряда других особенностей учебного процесса.

Summary

The pedagogical model is proposed of teaching the principles of quantum mechanics in higher school using optical analogies. The model contains three components: substantive, procedural and evaluative-productive. The methodology of the research is based on educational theory, didactic principles and approaches. For realization pedagogical model an algorithm is proposed that is presented in the form of step-by-step actions using the method of optical analogies in teaching of quantum mechanics in higher school. This algorithm is a mobile structure that can be transformed depending on the volume of the studied subjects, students specialization, and other features of the learning process.