

практичної реалізації методологічної спрямованості експериментальних видів діяльності, подолання формального ставлення учнів до їх виконання, внесення до лабораторних робіт особистісних орієнтацій та дослідницьких елементів. Наразі назріла гостра потреба у перебудові всієї системи експериментального обладнання з фізики, що полягає в оптимальному доповненні класичного обладнання новим, яке базується на застосуванні цифрових методів вимірювання, а також на комп'ютерних моделюючих системах.

Список використаних джерел:

1. Ананьев Б. Г. Педагогические приложения современной психологии: хрестоматия по возрастной и педагогической психологии. Работы советских психологов периода 1946–1980 гг. : [под ред. И. И. Ильинова, В. Я. Ляудис] / Б. Г. Ананьев. – М., 1981. – 432 с.
2. Андиферов Л. И. Практикум по методике и технике школьного физического эксперимента : учеб. пособ. для студентов пед. инст. по физ.-мат. спец. / Л. И. Андиферов, И. М. Пищиков. – М. : Просвещение, 1984. – 255 с.
3. Атаманчук П.С. Дидактика физики (основные аспекты) : [монография] / Атаманчук П.С., Самойленко П.И. – М. : Московский государственный университет технологий и управления, РИО, 2006. – 245 с.
4. Богоявленский Д. Н. Психология усвоения знаний в школе / Д.Н. Богоявленский, Н. А. Менчинская. – М. : АПН РСФСР, 1959. – 346 с.
5. Величко С. П. Психолого-педагогичні основи шкільного фізичного експерименту / С. П. Величко, С. М. Гайдук // Зб. наук. пр. Кам'янець-Поділ. держ. пед. ун-ту. – Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Поділ. держ. ун-т, інформ.-вид. від., 2002. – Вип. 8. – С. 232-238.
6. Гальперин П. Я. Четыре лекции по психологии : учеб. пособ. для вузов / П. Я. Гальперин. – М. : Книжный дом «Университет», 2000. – 112 с.
7. Давыдов В. В. Виды обобщений в обучении: логико-психол. проблемы построения учеб. предметов / В. В. Давыдов. – М. : Педагогическое общество России, 2000. – 479 с.
8. Демонстраційний експеримент з фізики : навч. посіб. / М.І. Шут, В.Ю. Биков, О.М. Кучменко, І.І. Адаменко, Ю.О. Жук, О.М. Плахтінко, А.В. Касперський, Л.Ю. Благодаренко, В.П. Сергієнко, В.Ф. Заболотний ; за заг. ред. М.І. Шута, В.Ю. Бикова. – К. : НПУ, 2003. – 237 с.: іл., табл.
9. Коршак С. В. Методика і техніка шкільного фізичного експерименту. Практикум : навч. посіб. для пед. ін-в / С. В. Коршак, Б. Ю. Миргородський. – К. : Вища шк., 1981. – 280 с. : іл., табл.
10. Крутецкий В. А. Психология обучения и воспитания школьников / В. А. Крутецкий. – М. : Просвещение, 1976. – 304 с.
11. Леонтьев А.Н. Избранные психологические произведения / А. Н. Леонтьев. – М. : Педагогика, 1983. – 320 с.
12. Ляшенко О. І. Особливості формування експериментальних умінь учнів 7–8 класів / О. І. Ляшенко, В. В. Мендерецький // Методика викладання математики і фізики : респ. наук-метод. зб. / за ред. О.І. Бугайова. – К., 1991. – Вип. 7. – С. 93–99.
13. Марголис А.А. Практикум по школьному физическому эксперименту / А.А. Марголис. – М. : Просвещение, 1977. – 304 с.
14. Мендерецький В. В. Дослідження рН характеристик водних розчинів в курсі БЖД / В. В. Мендерецький, О.М. Ніколаєв, С. І. Дмитрук // Наукові записки. – Випуск 82. – Серія : Педагогічні науки. – Кіровоград : РВВ КДУ ім. В. Винниченка. – 2009. – Ч. 1. – 328 с. – С. 270-276.
15. Основы методики преподавания физики в средней школе / В. Г. Разумовский, А. И. Бугайов, Ю. И. Дик [под ред. А. В. Перишкина, В. Г. Разумовского, В. А. Фабриканта]. – М. : Просвещение, 1984. – 398 с.
16. Платонов К. К. Теория функциональных систем, теория отражения и психология / К. К. Платонов // Теория функциональных систем в физиологии и психологии. – М. : Наука, 1978. – С. 62-85.
17. Рубинштейн С. Л. Основы общей психологии / С. Л. Рубинштейн. – СПб : Издательство «Питер», 2000. – 712 с.
18. Усова А. В. Формирование учебных умений и навыков учащихся на уроках физики / А. В. Усова, А. А. Бобров. – М. : Просвещение, 1988. – 112 с.
19. Ушинський К. Д. Людина як предмет виховання / К. Д. Ушинський // Вибрані педагогічні твори. – К., 1983. – 421 с.
20. Щукина Г. И. Роль деятельности в учебном процессе : кн. для учителя / Г. И. Щукина. – М. : Просвещение, 1986. – 144 с.

In the article the psychological, methodological and didactics aspects of development of experimental competence of students are examined in educational establishments.

Key words: experiment, experimental activity, experimental methods of activity, experiments.

Отримано: 1.06.2011

УДК 378.016:53

С. М. Меньяйлов, І. А. Сліпучіна
Національний авіаційний університет

ФОРМУВАННЯ УЯВЛЕНЬ ПРО ДУАЛІЗМ ФІЗИЧНОЇ КАРТИНИ МІКРОСВІТУ

У статті висвітлено проблему викладання понять і законів квантової теорії. Розуміння принципів відмінностей між законами класичної фізики та фізики мікросвіту допомагає дійти до висновку про відсутність протиріччя між хвильовими та корпускулярними властивостями матерії. Розглянуто питання детермінізму в існуванні живої матерії з погляду квантової теорії.

Ключові слова: дуалізм, детермінізм, квантова теорія, принцип невизначеності, хвильовий пакет.

Закони класичної фізики, які вивчають студенти на початку курсу, неможливо застосувати для опису явищ мікросвіту. Це призводить до труднощів у розумінні законів квантової та ядерної фізики, де поняття дуалізму, яке виглядає абсурдним з погляду нашого повсякденного досвіду, має універсальне значення. Приймаючи до уваги факт, що наразі науково-технологічний прорив відбувається у сфері нанотехнологій, пріоритетність викладання фізики мікросвіту у технічних ВНЗ збільшується, отже розробка методик формування у студентів адекватного розуміння понять, які описують дуалістичну природу мікрочастинок, є важливою практичною задачею. Цьому питанню були присвячені доповіді на науково-практичних конференціях та статті у наукових збірниках [1, 2, 4-6], було проведено аналіз викладання питань квантової фізики у найбільш поширених підручниках фізики [3].

Проблема викладання квантової та ядерної фізики полягає у тому, що спостереження й експерименти, які легко здійснити в масштабах повсякденного життя, важко відтворити в атомарних масштабах не тільки з технічних

причин, але й з причин принциповим. Ми можемо бачити який-небудь предмет тільки в тому випадку, якщо можна вважати довжину хвилі світла дуже малою порівняно з цим предметом; у мікроскоп з таким збільшенням, щоб він робив об'єкти, менші довжини хвилі світла, видимими для ока, вони будуть здаватися через дифракційні ефекти маленькими кульками розміром порядку довжини хвилі. Це означає, що для нашої мети необхідно вибрати довжини хвилі, менші, ніж розміри об'єкта. Наприклад, «бачити» електрони можна тільки за допомогою рентгенівських променів або гамма-променів. У цій області, однак, істотною стає квантова природа світла.

Метою статті є представлення методичних рекомендацій щодо формування загальних уявлень, які необхідно мати студентам для успішного засвоєння квантової фізики. Головний парадокс тут полягає в тому, що ми можемо спостерігати деякий предмет тільки тоді, коли світло відбивається від нього. Наприклад, щоб зафіксувати електрон, принаймні один світловий квант має бути відхилений ним від свого шляху, але при цьому зміниться величина й напрямок швидкості електрона

(ефект Комптона). Отже, параметри руху мікрочастинок не можуть бути точно визначені за допомогою реального фізичного спостереження. Освоїтися з такими аргументами не легко, оскільки вони суперечать тому, до чого ми звикли, маючи справу з рухом предметів великих розмірів, які ми можемо бачити або відчувати безпосередньо.

Спостерігаючи гру з м'ячем, ми бачимо його траєкторію в повітрі. Ми, звичайно, не можемо бачити кулі при пострілі з гвинтівки, проте ми звикли уявляти собі її рух по аналогічній, тільки менш скривленій дузі і з набагато більшою швидкістю; високошвидкісна відеокамера може зафіксувати траєкторію руху кулі, тому ми переконуємося в справедливості перенесення наших понять із видимого м'яча на невидиму в польоті кулю. Звідси виникає тенденція узагальнити їх на всі об'єкти, хоча це й означає застосування даних нашого досвіду до рухів у масштабах, у багато мільйонів разів менших, і до об'єктів з масою в 10^{27} разів меншою за масу кулі. Не слід дивуватися, що настільки далеко за межами нашого практичного досвіду ми зустрічаємося з зовсім новою ситуацією.

Ця проблема змушує нас звернутися до принципу невизначеності Гейзенберга. Цей принцип говорить, що існує деяка межа точності, з якою ми можемо вивчати рух мікрооб'єктів. У кожен даний момент визначити місце розташування об'єкта (мікрочастинки) можливо. Але при цьому ми маємо піддати наш об'єкт зіткненню зі світловим квантом, що змінить його імпульс. Ця зміна тим більша, чим менший розмір d області локалізації об'єкта. Навіть при умові, що його імпульс був перед цим відомий точно, він буде тепер відомий з точністю до величини h/d , а швидкість з точністю до h/dm , де h – стала Планка, m – маса частинки. Якщо ж ми знали б спочатку місце, де локалізована частинка, і робили спостереження з метою визначення з великою точністю її швидкості, то ми мали б втручатися в рух частки, так що її положення наприкінці стало б невизначеним. Отже, принцип невизначеності стверджує, що взагалі неможливо встановити місцезнаходження частинки усередині області розміром d і в той же час визначити її імпульс із помилкою, меншою h/d .

Обмеженість нашого знання про рух мікрочастинок може бути виражена у хвильових термінах. Хвильовий пакет є суміш хвиль із різними довжинами, що відповідають різним швидкостям частинки, він займає обмежену частину простору, а квадрат амплітуди хвилі визначає ймовірність знаходження частинки у певній точці цього простору, це означає, що вона обов'язково перебуває усередині малої області з розмірами, що дорівнюють довжині хвильового пакету.

Звідси випливає висновок, що чітко визначена траєкторія мікрочастинки чи орбіта, наприклад, електрона ніколи не може бути фізичною реальністю. Якби ми намагалися спостерігати за положенням електрона з ідеальною точністю, це привело б до повної невизначеності його імпульсу й тому до повної невизначеності того, де він виявиться моментом пізніше або навіть у якому напрямку він рухатиметься. Це твердження може бути застосоване до будь-якого об'єкта, але, звичайно, ми ніколи не стали б намагатися встановити місце розташування макрооб'єкта з такою надзвичайною точністю. Навіть якби ми знали його положення з точністю до 10^{-8} м і його швидкість до 10^{-8} м/с, загальна точність усе ще залишала б дивовижний запас у порівнянні із принципом невизначеності. Тому ми можемо говорити про траєкторії макрооб'єктів, не турбуючись про яку-небудь неоднозначність. Але для мікрочастинок і для атомних відстаней положення, однак, інше. Якщо ми локалізуємо електрон усередині одного атома, тобто на відстанях порядку 10^{-10} м, то відповідна невизначеність у його швидкості буде близько 10^6 м/с, що приблизно дорівнює швидкості електрона на орбіті. Розрахунки показують, що для того, щоб розрізнити по місцю розташування й швидкості дві електронні орбіти, які мають енергії, що відповідають двом сусіднім рівням, потрібна точність, що не допускається принципом невизначеності.

Це знімає труднощі, з якими зіштовхнулися вчені, коли намагалися зрозуміти, яким чином при поглинанні або випромінюванні світла електрон переходить із одного ста-

ну в інший і як варто зображувати його рух у цей проміжний період. Відповідь полягає в тому, що ніяких способів спостереження деталей такого руху не існує. Будь-яке спостереження орбіти з точністю, достатньою, щоб відрізнити один квантовий рівень від наступного, приводить до грубого втручання в сам процес і повної деформації цих орбіт.

Отже протиріччя у спробах об'єднати хвильовий і корпускулярний аспекти для мікросвіту виникають тільки тоді, коли ми намагаємося відповісти на запитання, відповідь на які може бути отримана тільки за допомогою спостережень, що суперечать законам квантової теорії. Щоб зробити несуперечливими закони квантової теорії, важливо прийняти той факт, що подібні питання не можуть мати об'єктивної відповіді, аналогічно до того, як з теорії відносності ми знаємо, що не існує об'єктивної відповіді на питання, яка з двох віддалених подій відбулася раніше.

Принцип невизначеності змінює наші погляди на закон причинності. Під законом причинності звичайно мають на увазі те твердження, що закони фізики повністю визначають долю фізичної системи за умови, що вся інформація про систему відома в деякий певний момент часу. Це справедливо для будь-якої макросистеми. Наприклад, астрономи, хоча й не досягають ідеальної точності, можуть обчислити положення планет на дуже довгий період.

Квантова теорія не заперечує твердження, що можна описати рух електронів якщо нам відома вся інформація в один певний момент часу, але вона робить його повністю безглуздим, оскільки ми ніколи не можемо знати стан системи з точністю, більшою, ніж це допускається принципом невизначеності. Це не означає, що закони фізики у квантовій теорії стали менш певними або менш абсолютними, просто інформація, яка стосується цих законів, має іншу природу. Необхідно не одне, а багато спостережень для того, щоб перевірити закони квантової теорії, і щодо цього вони подібні до законів кінетичної теорії теплоти, хоча й мають інше походження.

У принципі закони квантової теорії можуть бути застосовані до всіх об'єктів, але доповнення до класичної ньютонівської механіки абсолютно не істотні, якщо ми маємо справу з макрооб'єктами. У випадку світлових хвиль, якщо розглядати тільки відстані, багато більші за довжину хвилі світла, можна вважати, що світлові пучки рухаються по певному шляху; це наближення було названо геометричною оптикою. Отже, класична механіка має таке ж відношення до хвильової механіки, як геометрична оптика до хвильової оптики. Через цю аналогію спочатку вважали, що електронні хвилі можна розглядати як фізичну реальність. Однак доведено, що це не так. В умовах, коли застосована геометрична оптика, хвильові пакети будуть пересуватися як маленькі частинки по певних траєкторіях. Але той факт, що вони мають певні розміри, хоча й малі, і те, що вони містять набір різних довжин хвиль, як би мало вони не відрізнялися, означає, що з часом цей пакет розповзеться, і тому, якщо матеріальна частинка (електрон) у дійсності являє собою компактний хвильовий пакет, то після деякого часу вона повинна була б розпливитися. Але це не співпадає з дійсними властивостями електрона. Отже, ми маємо констатувати, що хвилі визначають тільки ймовірності й тому розмивання хвильового пакету свідчить не про те, що розпливається сам електрон, а тільки те, що наші відомості про його місцезнаходження стають менш певними. Це й не дивно, оскільки з часом неминуче позначиться деяка невизначеність у його початкових координатах й швидкості.

Дотепер ми обговорювали принцип невизначеності тільки стосовно можливості вимірювання й швидкості частинки. Але це не єдині можливі виміри, важливим є визначення енергії частинки, що рухається в заданому полі сил, наприклад, електрона в атомі водню.

Енергія основного стану визначається точно, тому що атом без зовнішніх впливів буде зберігати ту ж саму енергію нескінченно. Але в будь-якому збудженому стані електрон буде залишатися тільки обмежений час. Ми не можемо точно визначити тривалість цього періоду, тому що тут знову виступають закони ймовірності, але середній час відомо. Тому енергія будь-якого збудженого стану не фіксована

точно, а відома з помилкою приблизно h/t , де t – середній час життя збудженого стану, або час, після закінчення якого ймовірно буде випущений світловий квант. Це знову показує нам, що ми не повинні намагатися описати перехід електрона з однієї орбіти на іншу в термінах класичного руху.

У квантовій теорії як світловий квант, так і електрон розглядаються як частинки, але ми не можемо стежити за рухом цих частинок від одного положення до іншого, як ми звикли це робити в класичній фізиці. Замість цього їхнє поведіння описується хвилями, з яких можна одержати ймовірності результатів різних спостережень цих частинок. В результаті ми можемо зробити висновок, що протиріччя між хвильовими й корпускулярними властивостями світла або речовини немає, безпосередні спостереження свідчать про наявність обох властивостей.

Вирішення цих проблем ми домоглися ціною обмеження понять місця розташування, швидкості й руху, виявилося, що ці поняття можуть бути однозначно використані тільки тоді, коли вони є результатом реальних спостережень, які не суперечать законам квантової теорії. Зокрема, ми змушені відмовитися від повного причинного опису механічних процесів, тобто від знання стану атома з такою точністю, щоб можна було повністю передбачити його подальшу долю в тому розумінні, у якому астроном може передбачити положення планет на небі. Це не позбавляє нас можливості з визначеністю прогнозувати поведінку тіл, що містять великі системи атомів, оскільки квантові ймовірнісні закони допускають такі передбачення з будь-якою точністю, як і у випадку кінетичної теорії.

Наші погляди на зв'язок між життям і фізикою піддаються впливам змін, що мали місце у фізиці за останнє сторіччя. Перед цим панувала думка про можливість повністю детермінованого опису природи, тобто вважалося, що в деякий момент можна визначити положення й швидкість кожного з атомів і кожного електрона в кожному з атомів; закони механіки й електрики дозволили б потім обчислити стан системи для будь-якого іншого моменту часу. У такій детерміністській картині існування живої матерії привело б до ряду складних проблем. Якби рух атомів і електронів усередині живого тіла можна було б описати законами класичної фізики, то життя було б лише досить складним результатом прояву фізичних законів, аналогічно до обчислювальної машини. А якщо деякі з атомів не підкоряються законам фізики, чому це відбувається тільки в живому організмі? Із квантової механіки ми знаємо, що таке питання безглузде. Ми ніяк не можемо одержати відомості про рух навіть одного атома, достатні, щоб передбачити його поведінку в майбутньому з визначеністю; ми впадаємо в протиріччя, постулюючи, що всяке питання має сенс, не конкретизуючи того спостереження, за допомогою якого можна перевірити відповідь на нього.

У живій матерії це міркування має додаткові обмеження до тих, що накладені принципом невизначеності у квантовій механіці. Чим більше хотілося б нам знати про стан атомів усередині живого організму, тим більш грубим мало б бути втручання в нього; крім принципу невизначеності є більш сильні обмеження, які полягають у тому, що живе може піддаватися лише цілком певним впливам, інакше воно перестане бути живим. Наприклад, віруси є доступними зору лише в електронний мікроскоп. При цьому ми бачимо не живий вірус, оскільки він не може пережити бомбардування швидкими електронами, а тільки його залишки, отже, немо-

жливо спостерігати вірус у мікроскоп так, щоб можна було «бачити його в роботі».

Як висновок, ми маємо наголосити, що хоча новітні досягнення фізики начебто й не можуть надати безпосередньої допомоги у вивченні прикладних дисциплін, вони корисні тим, що допомагають позбавитись помилкових уявлень, заснованих на старих механістичних ідеях, і розширити коло можливостей, доступних уяві. Гарантовано прогнозувати шляхи розвитку науки неможливо, але можна сподіватися, що в майбутньому виникне деяке нове розуміння, подібно до квантової теорії, здатне координувати безліч фактів, які до того часу здавалися незалежними й не поясненими.

Список використаних джерел:

1. Дмитриева В.Ф. О реальности фотонов / Е.Л. Антипин, В.Ф. Дмитриева, П.И. Самойленко // Зб. наук. праць Кам'янець-Подільського національного університету: Серія педагогічна. Вип. 15 / Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка ; гол. наук. ред. П.С. Атаманчук. – Кам'янець-Подільський : К-ПДУ, 2009. – С. 183-184.
2. Лебедь О.О. Використання оптико-механічних аналогій при викладанні квантової фізики студентам педагогічних та інженерних спеціальностей / О.О. Лебедь // Вісник ЧДПУ імені Т.Г.Шевченка. Серія: педагогічні науки. Вип. 77 / Чернігівський державний педагогічний університет імені Т.Г.Шевченка ; гол. ред. Носко М.О. – Чернігів : ЧДПУ, 2010. – С. 223-226.
3. Матвійчук О.В. Особливості вивчення корпускулярних властивостей світла в підручниках фізики / О.В. Козленко, М.Г. Лисенко, О.В. Матвійчук // Зб. наук. праць Кам'янець-Подільського національного університету: Серія педагогічна. Вип. 15 / Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка ; гол. наук. ред. П.С. Атаманчук. – Кам'янець-Подільський : К-ПДУ, 2009. – С. 288-291.
4. Психолого-педагогічні засади впровадження знань про нові матеріали та технології у загальному курсі фізики вищої школи / О. Баріло, О. Пустовий, О. Шепета // Науковий вісник УжДУ. Серія: Педагогіка. Соціальна робота. Вип. 18 / Ужгородський національний університет ; гол. ред. І.В. Козубовська. – Ужгород : Вид-во УжНУ «Говерла», 2010. – С. 145-148.
5. Сусь Б.А. Методичні проблеми хвильового й корпускулярного підходів при розв'язуванні задач на тему дифракції світла / Б.А. Сусь, В.Ф. Заболотний, Н.А. Мислицька // Вісник ЧДПУ імені Т.Г.Шевченка. Серія: педагогічні науки. Вип. 77 / Чернігівський державний педагогічний університет імені Т.Г.Шевченка ; гол. ред. Носко М.О. – Чернігів : ЧДПУ, 2010. – С. 312-315.
6. Шут М.І. Вивчення окремих питань нанофізики в педагогічних університетах / Ю.А. Пасічник, М.І. Шут // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету: Серія педагогічна. Вип. 15 / Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка ; гол. наук. ред. П.С. Атаманчук. – Кам'янець-Подільський : К-ПДУ, 2009. – С. 40-42.

A problem of teaching of concepts and laws of the quantum theory is described in the article. The understanding of basic differences between laws of classical physics and physics of microcosm helps draw a conclusion about absence of the contradiction between wave and corpuscular properties of matter. It is considered a question of determinism of existence of an organized matter from the point of view of the quantum theory.

Key words: dualism, determinism, quantum theory, uncertainty principle, wave packet.

Отримано: 1.07.2011