

Л. Ю. Благодаренко¹, С. Л. Василенко²

Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова

e-mail: ¹kzf@ukr.net, ²s.l.vasylenko@npu.edu.ua; ¹ORCID: 0000-0002-5501-5416**МОДЕЛЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ОСВІТЬОГО ПРОЦЕСУ ПРИ ВИВЧЕННІ СУЧАСНИХ ПРОБЛЕМ КВАНТОВОЇ ФІЗИКИ**

У статті досліджується проблема забезпечення ефективності вищої освіти України при підготовці фахівців у природничонауковій галузі, зокрема, можливості підвищення рівня викладання дисципліни «Фізика». Наголошено на важливості науки і високих технологій для захисту українського суверенітету та неприпустимості відтоку молодих кадрів з країни. Відзначено, що розв'язання цієї проблеми вимагає модернізації освітнього процесу, особливо при вивченні фізики як основи природничонаукового знання, без ґрунтовного вивчення якої неможливо підготувати кваліфікованого фахівця у галузі будь-якої природничої науки. Визначено, що в структурі курсу фізики закладів вищої освіти курс «Квантова фізика» займає особливе місце, оскільки усвідомлені і засвоєні на належному рівні знання з квантової фізики є важливими для формування у студентів загальної наукової картини світу. Констатовано, що однією з найважливіших цілей в навчанні квантової фізики є системне впродовж вивчення курсу ознайомлення студентів з можливостями і перспективами квантових технологій, а також теоретичними проблемами квантової фізики, розв'язання яких може перевернути уявлення про світобудову. Для підвищення продуктивності засвоєння студентами сучасних проблем квантової фізики запропоновано методичну модель організації освітнього процесу на прикладі проблеми конфайнменту кварків.

Ключові слова: курс «Квантова фізика», природничонаукове знання, методична модель організації освітнього процесу, проблема конфайнменту кварків.

Нині склалася така ситуація, коли найбільш мобільними на ринку праці стають науковці у галузі природничих наук та фахівці з ІТ-технологій, які є затребуваними і легко інтегруються у міжнародний простір. При цьому наших вітчизняних фахівців цікавить питання – а чи будуть потрібні в Україні найближчим часом такі довгострокові наукові проекти, як, наприклад, квантовий комп'ютер, у якій мірі в них залишаться можливості для задоволення своїх особистих та наукових амбіцій? Чи краще їхати в інші країни і там реалізувати свій потенціал? Відповідь на це запитання, безумовно, є неоднозначною, але сьогодні, як ніколи, ми не можемо дозволити собі загублювати перспективні кадри. Не підлягає сумніву, що наша країна буде розвиватися, у нас є перспективи і ми не збираємося відмовлятися від поставлених цілей і завдань. Важливість науки і високих технологій очевидна і, в першу чергу, для захисту українського суверенітету, а тому не можна допускати відтоку молодих кадрів з країни. Проте на шляху реалізації цього важливого для нашого суспільства завдання необхідно у черговий раз замислитися над питаннями якості підготовки студентів та забезпечення їх мотивації до одержання тих або інших спеціальностей, у яких в країні є нагальна потреба. Освітній процес не повинен залишатися незмінним, його необхідно оновлювати і перетворювати на краще, переглядати методичні підходи до викладання у закладах вищої освіти тих дисциплін, які є основою найбільш затребуваних спеціальностей. Необхідно прикласти усіх можливих зусиль до того, щоб викликати у суспільства впевненість у якості вітчизняної освіти, повагу до науки та технологій, підвищити рівень розуміння та сприйняття наукових досліджень.

Очевидно, що однією з основних дисциплін природничого циклу є фізика, тому без її ґрунтовного вивчення не можна підготувати кваліфікованого фахівця у галузі будь-якої природничої науки. А в структурі цієї дисципліни особливе місце займає курс «Атомна і ядерна фізика» або «Квантова фізика». Це пояснюється тим, що усвідомлені і засвоєні на належному рів-

ні знання з квантової фізики є важливими для формування у студентів не лише сучасної фізичної, але й загальної наукової картини світу. Сформованість знань з квантової фізики забезпечує також розуміння фізичних процесів, які відбуваються на рівні мікросвіту, а, отже, усвідомлений підхід до пояснення макроскопічних явищ, оскільки вони зумовлені процесами у мікросвіті. Крім того, за відсутності знань з квантової фізики неможливо зрозуміти сутність і важливість нанотехнологій і атомної енергетики, які є основою майбутнього нашої цивілізації. На жаль, слід констатувати, що, засвоєння квантової фізики у більшості студентів викликає ускладнення, оскільки навчальна інформація залишається для них у певній мірі абстрактною, позбавленою зв'язку з її практичним застосуванням. Складність змісту курсу квантової фізики пов'язана також з тим, що вона має специфічні особливості та відмінності від фізики класичної і вимагає переходу на більш високий рівень пізнання. Тому однією з найважливіших цілей в навчанні квантової фізики є системне впродовж вивчення курсу ознайомлення студентів з можливостями і перспективами квантових технологій, а також теоретичними проблемами квантової фізики, розв'язання яких може перевернути наші уявлення про світобудову.

Разом з тим, методичні підходи до вивчення курсу квантової фізики у більшості випадків залишаються традиційними. Це пояснюється такими основними причинами, як зниження загального інтелектуального рівня студентів та рівня їх знань з фізики, що зумовлює складність у сприйнятті та простеженні студентами наукової інформації та виконання пізнавальних операцій у логічному зв'язку із способами її засвоєння. Також негативний вплив на процес засвоєння знань з квантової фізики чинить відсутність відповідної матеріально-технічної бази, що унеможливає постановку демонстраційного експерименту. Тому слід шукати нових підходів до дидактичної регуляції навчально-пізнавальної діяльності студентів та моделювання освітнього процесу з урахуванням необхід-

ності оновлення курсу квантової фізики відповідно до рівня розвитку науки. У цьому контексті важливо врахувати, що вивчення квантової фізики вимагає від студентів актуалізації знань, одержаних на всіх попередніх етапах навчання, а також особливої мобілізації інтелектуальних можливостей. Справа в тому, що курс «Атомна і ядерна фізика», який ґрунтується на принципах, законах і результатах квантової теорії, має певні особливості, а саме: починаючи з першої лекції, розглядаються питання, розуміння яких можливе лише за умови наявності знань, одержаних при вивченні попередніх курсів загальної фізики. Так, на вступній лекції студенти дізнаються про ситуацію у фізиці, що виникла наприкінці XIX і на початку XX століття, коли було експериментально відкрито ряд фізичних явищ, які не можна було пояснити з позицій класичної фізики. Після цього викладач нагадує студентам ці явища. Але студенти будуть здатні усвідомити, що саме не пояснювала класична фізика лише у разі, якщо можуть описати ці явища з її позицій. Наприклад, викладач повідомляє, що, згідно експерименту, при зниженні температури теплоємність твердих тіл зменшується і прямує до нуля із наближенням температури тіла до абсолютного нуля. Виникає проблемне запитання: у чому полягає неузгодженість висновків класичної фізики і експериментальних результатів? На цьому етапі студенти мають згадати закон Дюлонга і Пті, згідно якого теплоємність твердих має залишатись сталою при будь-яких температурах. Але досвід покаже, що у цьому і полягає основна проблема, адже лише незначна кількість студентів може сформулювати закон Дюлонга і Пті та пояснити графік, який його ілюструє. Аналогічна ситуація має місце із розумінням студентами таких питань, як дифракція електронів в експериментах з електронними пучками, результати яких не узгоджувались з уявленням про електрон як частинку; явище фотоелектричного ефекту, закономірності якого не пояснювала класична фізика; стабільність атомів, яка теж суперечила класичній фізиці, згідно якої статична система електричних зарядів не може бути стійкою. Складно сприймається студентами інформація про закономірності рівноважного теплового випромінювання абсолютно чорного тіла, яка взагалі є для них абсолютно новою, а тому студентам важко зрозуміти, внаслідок чого виникло поняття «ультрафіолетової катастрофи» і чому результати експериментів з випромінюванням абсолютно чорного тіла призводять до висновків про порушення закону збереження енергії.

Отже, на початку вивчення курсу квантової фізики викладач повинен виконати ретельний аналіз та відбір наукової інформації, її логічну побудову та розподіл за блоками, особливу увагу приділяючи адаптації навчального матеріалу до інтелектуальних можливостей студентів та рівня їх пропедевтичних знань з попередніх курсів фізики. Крім того, слід врахувати ще один важливий психологічний аспект: студент, який відчув ускладнення на початку вивчення курсу квантової фізики і не зорієнтувався у навчальному матеріалі з перших лекцій, надалі загубить інтерес до навчання, внаслідок чого різко знизиться рівень осмислення ним навчального матеріалу, що зумовить низький освітній ефект. Отже, важливим завданням є активізація мотиваційних процесів у кожного студен-

та, орієнтована на розуміння необхідності засвоєння питань квантової фізики як основи сучасної наукової картини світу. Лише за таких умов розумова напруга студента буде узгоджуватись із усвідомленістю навчальної діяльності, а це забезпечить оптимальні психологічні умови для включення його в освітній процес і зростання мотивації.

На шляху виконання цих досить складних методологічних завдань особливого значення набуває вступна лекція до курсу «Квантова фізика». У нашому курсі вона має назву «Квантова фізика як основа сучасного наукового пізнання», а основна частина лекції присвячується розгляду питання щодо ролі квантової фізики у науковому пізнанні та перспектив використання сучасних квантових технологій.

Ознайомлюючи студентів з цими питаннями, необхідно підкреслити, що останнім часом квантова фізика впевнено крокує у майбутнє і вже стала міждисциплінарною галуззю науки. Дослідження і результати квантової фізики затребувані не тільки фізиками-науковцями, але й медиками, біологами, хіміками, енергетиками тощо. У галузі квантової фізики над розв'язанням глобальних наукових проблем працює величезна спільнота науковців з десятків країн світу. При цьому розв'язуються такі завдання, які навіть сьогодні виглядають фантастичними. Так, на стадії розробки знаходяться унікальні експерименти по синтезу нових елементів. Фундаментальна ядерна фізика вивчає енергетичні спектри нових ізотопів. Цікаві дослідження проводяться в археології, де за допомогою радіологічного аналізу встановлюються особливості історичних артефактів. У галузі радіаційної біології нещодавно запатентований новий проривний метод підвищення ефективності пучкової променевої терапії онкологічних захворювань, зроблений важливий крок до розуміння нейродегенеративних процесів, які викликають хвороби Альцгеймера та Паркінсона. Методи нейтронної фізики дозволили детально підійти до дослідження з високою точністю складу метеоритів. Продовжується активна реалізація нейтринних програм, проводяться дослідження у галузі синтезу надважких, а також нових елементів, фізики конденсованого стану речовини. Цікаві розробки ведуться у галузі магічних ядер, зокрема, двічі магічних, а також створення важких ядер з великою кількістю нейтронів, які необхідні для одержання нових елементів. Активно обговорюється створення нейтронного джерела нового покоління, у роботі над яким науковці проходять важкі етапи при розробці усіх його вузлів з урахуванням ядерної безпеки. Продовжуються роботи по створенню квантових комп'ютерів і квантових технологій, проте освоюється і новий напрямок – розроблення квантових математичних алгоритмів. Зокрема, створюється квантовий алгоритм для розрахунку меж періодичної таблиці елементів Менделєєва, адже наука не може визначати межі існування ядер і ядерної матерії, з якої складається Всесвіт. Зрозуміло, що всім відомий періодичний закон Менделєєва є непорушним і у найближчі роки наука навряд чи просунеться далі 121-го елемента періодичної таблиці. Між тим, теоретичні розрахунки показують, що таблиця Менделєєва реально може бути обмежена елементом з номером 170. Але що буде за цим елементом і чи мож-

на вважати наш світ стійким? А головне – у якій ще формі може існувати ядерна матерія за певною межею і чи залишиться вона при цьому стабільною?

Таким чином, студентів потрібно підвести до розуміння найважливішого факту: найближчим часом науково-технічний прогрес буде забезпечуватися трьома прикладними напрямками квантових технологій: обчисленнями, передаванням інформації та вимірюваннями. Сучасна наука стверджує: саме на основі використання квантових технологій можна створити найбільш швидкі, точні та енергозберігаючі пристрої. Як бачимо, в сучасному світі застосування квантової фізики є найважливішими технологічними напрямками, а тому їх можливості мають бути піднесені на ще більш високий рівень. Але для цього з боку держави необхідна підтримка фундаментальної науки взагалі і квантової фізики зокрема. Україна здатна готувати компетентних фахівців у галузі квантової фізики і має не купувати необхідні технології в інших країнах, а створювати їх. Головною умовою успіху на шляху вирішення цього завдання – прискорення процесу переходу від фундаментальної науки до прикладних інновацій. Студенти повинні усвідомити, що створення квантових технологій та їх бурхливий розвиток вимагають ретельного дослідження і тих проблем квантової фізики, які нині остаточно не розв'язані. До основних проблем квантової фізики, над якими сьогодні працює більшість фахівців у цій галузі, відносяться проблема космологічної сталої, проблема конфайнменту кварків, проблема квантової гравітації. На сучасному етапі розвитку квантової фізики розглянуті не всі аспекти зазначених проблем. Але наука не стоїть на місці – вона рухається уперед. Так, у вересні 2015 році було відкрито гравітаційні хвилі, а у квітні 2019 року – одержана перша в історії розвитку астрофізики реальна фотографія чорної дірки. Це важливі кроки у справі розв'язання проблем квантової фізики.

Отже, однією з найважливіших цілей в навчанні квантової фізики є системне впродовж вивчення курсу ознайомлення студентів з можливостями і перспективами квантових технологій, а також теоретичними проблемами квантової фізики, розв'язання яких може перевернути наші уявлення про світобудову. Зрозуміло, що ознайомлення студентів з сучасними проблемами квантової фізики є складним методичним завданням, оскільки в них буде виникати багато супутніх питань. Це пояснюється, в першу чергу, тим, що знання з квантової фізики, передбачені навчальною програмою з фізики, не всі студенти засвоюють на достатньому рівні. Разом з тим, як вже зазначалося раніше, обізнаність у цих проблемах є необхідною для правильної орієнтації у сучасних підходах до опису світобудови та розуміння квантово-релятивістської картини світу.

Для підвищення продуктивності процесу засвоєння студентами сучасних проблем квантової фізики, нами запропоновано методичну модель організації навчального процесу (опишемо її на прикладі проблеми конфайнменту кварків), яка передбачає такі етапи.

1. Підготовчий етап

На підготовчому етапі викладач ретельно відбирає теоретичну наукову інформацію, будує її у чіткій логічній послідовності, встановлює допустимий обсяг на-

вчального матеріалу, визначає доступність інформації для даного студентського колективу і у разі потреби спрощує її. Також здійснюється аналіз знань з курсів «Механіка», «Молекулярна фізика», «Електродинаміка», «Оптика», які будуть необхідні студентам для засвоєння сучасних проблем квантової фізики.

2. Етап виділення проблеми

Викладач повідомляє студентам факти, що стосуються досліджуваної проблеми. Студенти виділяють проблему і визначають, які знання допоможуть у розумінні шляхів її розв'язання.

Наприклад, викладач повідомляє студентам такі факти. Адрони складаються з кварків. Кварки у фізиці вважаються такими, що реально існують. Але в експериментах спостерігаються лише агрегати кварків. Студенти виділяють проблему: *неможливість одержання кварків у вільному стані*. Викладач повідомляє, що ця проблема має назву *конфайнменту* кварків.

3. Етап визначення причин, які ускладнюють пошук шляхів розв'язання проблеми

Викладач подає інформацію у вигляді проблемного запитання: якщо адрони складаються з кварків, а кварки у вільному стані не виявляються, то що може бути причиною такої ситуації?

Студенти передбачають, що причиною можуть бути сили, які діють між кварками. Дійсно, якщо кварки не можуть залишити адрон, то це означає, що сили, які діють між кварками, зростають із збільшенням відстані між ними. З цього випливає *причина*, яка ускладнює пошук шляхів розв'язання проблеми, а саме: невідомо, що це за сили, яка їх природа і чим вони зумовлені. Але на сучасному етапі розвитку фізики встановити це не вдається.

4. Етап виявлення у змісті проблеми суперечностей із сучасними науковими поглядами

Студенти аналізують проблему і встановлюють, у чому її зміст суперечить усталеним науковим поглядам. Згідно сучасних наукових поглядів матерія є подільною: молекули складаються з атомів, атоми з ядер і електронів, ядра з нуклонів. При цьому проблема конфайнменту полягає в тому, що адрони на кварки не діляться.

5. Етап передбачення можливих шляхів розв'язання проблеми

На підставі представленої інформації, студенти пропонують підходи до розв'язання проблеми.

Студенти висловлюють таку думку: якщо не вдається пояснити неможливість виділення кварків з адронів, то чи не можна описати будову адронів без кварків? Викладач роз'яснює, що спроби описати будову адронів без кварків привели до ускладнень у поясненні експериментальних результатів. При цьому використання кваркової моделі будови адронів пояснює експериментальні дослідження. Тоді студенти передбачають, що для розв'язання проблеми конфайнменту слід переглянути закони, які визначають поведінку кварків. Можливо, опис кварків доцільно здійснювати на основі тих самих законів, які описують адрони – законів спеціальної теорії відносності та квантової механіки.

6. Етап визначення перспектив розв'язання проблеми

Студенти висловлюють думки з приводу того, який вплив на розвиток теоретичної і експериментальної фізики буде мати розв'язання даної проблеми. Студенти передбачають, що у процесі розв'язання проблеми конфайнменту може бути відкритий новий вид сил, що діють між кварками, а також змінений підхід до побудови кваркової моделі. Може зазнати перегляду така філософська категорія як подільність матерії.

Цілком очевидно, що запропонована нами модель організації навчального процесу щодо ознайомлення студентів із проблемами сучасної квантової фізики не є досконалою. Це і зрозуміло, адже для обговорення пропонуються дуже складні питання. На нашу думку, розроблену нами модель можна використовувати як орієнтовну основу дій, що забезпечить залучення студентів до активної і осмисленої навчально-пізнавальної діяльності. І навіть, якщо на якому-небудь етапі навчання студенти будуть висловлювати помилкові судження, це у підсумку все одно забезпечить позитивний результат, оскільки помилки можна скорегувати, а наукове мислення без відповідних дій сформувавши не можна. Ми вважаємо, що приділення уваги ознайомленню студентів із сучасними проблемами квантової фізики забезпечить для них досвід теоретичної науково-дослідної діяльності і сприятиме значному підвищенню рівня знань з фізики.

На завершення хочемо відзначити, що нині наша держава на має чіткої сформованості поглядів на природничонаукову освіту. З одного боку, декларується необхідність розвитку ґрунтовних фундаментальних досліджень, пріоритет високих технологій, що вимагає якісної підготовки молоді у цих галузях ще зі шкільної лави. З іншого боку, предметам природничого циклу не приділяється належної уваги, внаслідок чого інколи ці науки вивчаються на ознайомчому рівні, що не передбачає одержання в подальшому спеціальностей у природничонауковій галузі. А це замкнене коло. Тому необхідно прикласти усіх можливих зусиль, щоб природнича освіта в Україні піднялася на той рівень, якого вона гідна.

Список використаних джерел:

1. Благодаренко Л.Ю., Ротозей А.О. Висвітлення проблеми квантової гравітації в курсі фізики педаго-

гічних університетів. *Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія № 3. Фізика і математика у вищій і середній школі*. НПУ імені М.П. Драгоманова, Київ, 2018. Вип. 20. С. 3-8.

2. Благодаренко Л.Ю., Мазуркевич О.Я. Вивчення властивостей екзотичних ядер в курсі фізики педагогічних університетів. Збірник наукових праць Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова. Серія 3. Фізика і математика у вищій і середній школі. Київ: Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, 2020. Вип. 21. С. 3-9.

Ludmila Blagodarenko, Sergiy Vasilenko

National Pedagogical Dragomanov University

MODEL OF THE ORGANIZATION OF THE EDUCATIONAL PROCESS IN THE STUDY OF MODERN PROBLEMS OF QUANTUM PHYSICS

The article examines the problem of ensuring the effectiveness of higher education in Ukraine in the training of specialists in the field of natural sciences, in particular, the possibility of increasing the level of teaching of the discipline "Physics". The importance of science and high technologies for the protection of Ukrainian sovereignty and the inadmissibility of the outflow of young personnel from the country were emphasized. It was noted that solving this problem requires modernization of the educational process, especially when studying physics as the basis of natural science knowledge, without a thorough study of which it is impossible to train a qualified specialist in the field of any natural science. It was determined that in the structure of the physics course of higher education institutions, the course "Quantum physics" occupies a special place, since the knowledge of quantum physics realized and learned at the appropriate level is important for the formation of students' general scientific picture of the world. It has been established that one of the most important goals in the education of quantum physics is the systematic familiarization of students with the possibilities and prospects of quantum technologies, as well as the theoretical problems of quantum physics, the solution of which can change the idea of the world structure. To increase the productivity of students' assimilation of modern problems of quantum physics, a methodical model of the organization of the educational process is proposed using the example of the problem of quark confinement.

Key words: "Quantum Physics" course, natural science knowledge, methodical model of educational process organization, problem of quark confinement.

Отримано: 15.11.2022