

ФІЗИКА

УДК 378.371:53

Благодаренко Л. Ю., Ротозей А. О.

ВИСВІТЛЕННЯ ПРОБЛЕМИ КВАНТОВОЇ ГРАВІТАЦІЇ В КУРСІ ФІЗИКИ ПЕДАГОГІЧНИХ УНІВЕРСИТЕТІВ

У статті розглянуто методичні підходи до висвітлення проблем сучасної квантової фізики при підготовці майбутніх учителів та викладачів фізики, а також науковців. Констатовано, що підвищення рівня фізичної освіти випускників є невідкладним завданням університетів, які готують фахівців за спеціальностями фізичного та технічного спрямування. Тому як один із шляхів реалізації поставлених завдань визначено перегляд змісту навчальних програм з фізики і доповнення його питаннями, які відображають сучасний стан фізики та досліджень у різних її галузях. Запропоновано методичні підходи до підвищення наукового рівня курсу “Атомна і ядерна фізика”, які полягають у системному ознайомленні студентів із сучасними проблемами квантової фізики. Встановлено, що для підвищення рівня знань студентів з фізики, становлення їх інтелекту та формування новітнього наукового світогляду доцільно зупинитися на таких основних сучасних проблемах квантової фізики, як проблема космологічної сталої, проблема конфайнменту кварків і проблема квантової гравітації. Також зазначено, що проблема підвищення наукового рівня фізичної освіти є особливо актуальною для майбутніх учителів і викладачів фізики, які в подальшому будуть відповідальні за виховання молодих наукових кадрів.

Ключові слова: *сучасні проблеми квантової фізики, методичні підходи до підвищення наукового рівня знань студентів з фізики, квантова механіка, загальна теорія відносності, квантова гравітація.*

Ефективна реалізація науково-технологічного розвитку України можлива лише в умовах правильної державної політики, яка має передбачати розвиток фундаментальної науки, зокрема, фізики, та її прикладань. Відповідно, слід розв’язувати задачі щодо розвитку наукового потенціалу країни, який в повній мірі визначає можливості виходу української науки на новий якісний рівень. Україна завжди мала потужну фундаментальну науку і нині теж варта того, щоб на рівних брати участь в глобальному науковому прогресі. Крім того, нам необхідні відкриття і розробки, які дозволять створювати вітчизняну продукцію світового рівня, формувати потужну технологічну та виробничу базу. Очевидно, що головним напрямом стратегії науково-технологічного розвитку є становлення та підсилення університетської фізичної науки та відповідної інфраструктури. Необхідно створювати сучасні лабораторії, забезпечувати їх новітнім обладнанням та кваліфікованими кадрами, відкривати нові можливості для молодих дослідників. Залучення студентів до наукової діяльності, використання нових знань і досягнень фізики в освітній діяльності має стати невід’ємною складовою навчального процесу.

Зрозуміло, що для реалізації цих завдань необхідні професійні наукові кадри, у підготовці яких університети мають надати державі повного сприяння. Проте для підготовки таких кадрів необхідна молодь, яка буде у цьому зацікавлена. У свою чергу, зацікавленість визначається рівнем знань, адже саме цей рівень дозволяє молодій людині реалізувати свої ідеї та цілі. Зрозуміло, що займатися дослідженнями у галузі фізики захоче лише той студент, який фізику знає. Тому підвищення рівня фізичної освіти випускників є невідкладним завданням університетів, які готують фахівців за спеціальностями фізичного та технічного спрямування.

Які шляхи реалізації цього завдання ми пропонуємо? У першу чергу, необхідно переглянути зміст навчальних програм з фізики і доповнити його питаннями, які відображають сучасний стан фізики та досліджень у різних її галузях. Зупинимося більш детально на методичних підходах до підвищення наукового рівня курсу “Атомна і ядерна фізика”. Саме при вивченні цього курсу студенти знайомляться з основами квантової механіки – фізичної теорії, яка відкриває своєрідність властивостей і закономірностей мікросвіту, встановлює спосіб опису стану та руху мікрочастинок. Перш за все, студентам слід повідомити, що методи квантової механіки знаходять широкого застосування в квантовій електроніці, у фізиці твердого тіла, сучасній хімії. Квантову механіку використовують у фізиці високих енергій, що досліджує будову ядра атома і властивості елементарних частинок. Результати цих досліджень знаходять все більшого застосування у техніці. Достатньо пригадати успіхи квантової теорії твердих тіл, висновки якої покладені в основу створення нових матеріалів із заданими властивостями (магнітними, напівпровідниковими, над провідниковими тощо), квантових генераторів, ядерних реакторів.

Очевидно, що квантова механіка є більш високим ступенем пізнання, ніж класична фізика. Вона встановлює обмеженість багатьох класичних уявлень. Ознайомлення студентів з основами квантової механіки – складна методична задача. Відсутність наочності при вивченні квантомеханічних об’єктів, складність математичного апарату, незвичайність основних ідей і понять квантової механіки створюють певні ускладнення у її розумінні. Але не можна переоцінити важливість основних пізнавальних задач розділу “Атомна і ядерна фізика” – це усвідомлення специфічних законів, що діють у мікросвіті та завершення формування уявлень про будову речовини. Отже, підсумком вивчення основ квантової фізики є становлення у студентів уявлень про квантову картину світу та її особливості.

На наш погляд, вже починаючи з першої лекції студентів необхідно ознайомити із сучасними проблемами квантової фізики. Студентам слід пояснити, що у квантовій фізиці є три основні невирішені проблеми, якими займаються практично всі вчені з цієї області науки – це проблема космологічної сталої, проблема конфайнменту кварків і проблема квантової гравітації. Квантова механіка і загальна теорія відносності надзвичайно розширили наше поняття фізичного світу. З тріумфом досліджуються нові світи, відкриті за допомогою цих двох теорій. Квантова механіка привела атомну фізику, ядерну фізику, фізику елементарних частинок, фізику конденсованого стану до створення провідників, лазерів, комп’ютерів та до квантової оптики. Загальна теорія відносності, в свою чергу, привела до релятивістської астрофізики, космології, GPS–технологіям і знаходиться нині на шляху до гравітаційно-хвильової астрономії.

Далі слід повідомити, що квантова механіка і загальна теорія відносності (далі ЗТВ) зруйнували погоджену картину світу, побудовану дорелятивістською класичною фізикою: кожна із них формувалась в припущеннях, які суперечили іншій теорії. Квантова механіка формулювалась з використанням зовнішньої змінної часу (t в рівнянні Шредінгера) або фіксованого не динамічного фонового простору-часу (простір – час на якому визначена квантова теорія поля), але ця зовнішня змінна часу і цей фіксований просторово-часовий фон не сумісні із ЗТВ. Навпаки, ЗТВ формулювалась в термінах Ріманової геометрії, в

припущеннях, що метрика є гладким і детермінованим динамічним полем. Але квантова механіка потребує, щоб будь яке динамічне поле було квантованим: на малих масштабах воно проявляє себе у вигляді дискретних квантів і керується ймовірнісними законами. Із ЗТВ стало очевидно, що простір-час є динамічним, а з квантової механіки – що будь яка динамічна сутність складається із квантів і може знаходитися у ймовірнісній суперпозиції станів. Відповідно, на малих масштабах повинні бути кванти простору і часу, а також квантові суперпозиції простору. Але, що означають ці кванти? Ми живемо у просторі – часі з квантовими властивостями: в квантовому просторі-часі. Але що ж таке квантовий простір-час? Як його можна описати? Класична дорелятивістська фізика давала погоджену картину фізичного світу. Вона була започаткована на таких поняттях як час, простір, матерія, хвиля, частинка, сила тощо. Ця картина частково еволюціонувала (в особливості з появою теорії поля і спеціальної теорії відносності), але вона залишилась погодженою і була стабільною на протязі майже трьох століть. ЗТВ і квантова механіка привели до значних змін цих понять. ЗТВ модифікувала поняття простору і часу, квантова механіка – поняття причинності, матерії і вимірів. Нові модифіковані поняття одне з одним не погоджуються. І тому нова картина світу не створена і по сьогоднішній день. Незважаючи на всі свої фундаментальні досягнення, ЗТВ і квантова механіка досі не дозволили визначити поняття фізичного світу, який залишається для нас не зрозумілим. Можна навіть сказати, що в науці фізиці сьогодні панують протиріччя і неузгодженості.

Студенти мають усвідомити, що нині перед фундаментальною фізикою стає важливе завдання – об'єднати те, що відомо про світи з цих двох теорій, і спробувати здійснити їх синтез. Це одна із важливих проблем – а, можливо, найважливіша проблема сучасної фундаментальної фізики. ЗТВ і квантова механіка розпочали революцію, яка ще досі не закінчилась. Ближче до кінці двадцятого століття увага фізиків-теоретиків сконцентрувалася на проблемі об'єднання нововведень ЗТВ і квантової механіки.

Особливу увагу студентів слід звернути на одне з основних запитань квантової фізики – як знайти квантову гравітацію, тобто запропонувати квантовий опис гравітаційної взаємодії і об'єднати її з іншими фундаментальними взаємодіями? Звичайні польові методи квантування, засновані на розчепленні теорій збурень для слабкого поля, не забезпечують необхідних результатів. Їх застосування до ЗТВ зазнає поразки, оскільки приводить до зовсім іншої теорії. Можливо, це і не дивно: ЗТВ змінила поняття простору і часу дуже радикально, щоб слухняно слідувати квантовій теорії поля у плоскому просторі. При переході до квантової гравітації, як мінімум, потрібно виконати квантування, при цьому права частина рівняння Ейнштейна, тензор енергії-імпульсу матерії, стає квантовим оператором. Зв'язок, що виникає при цьому, вимагає квантування геометрії самого простору-часу, при чому фізичний зміст такого квантування абсолютно не зрозумілий, і будь яка успішна несуперечлива спроба його проведення абсолютно відсутня. Більш того, “тратковий підхід” до квантування простору-часу, як виявляється, не допускає правильного граничного переходу в теорії калібрувальних полів при зменшенні кроку ґратки до нуля.

Спроба провести квантування лінеаризованої класичної теорії гравітації (ЗТВ) наштовхується на численні технічні труднощі – квантова гравітація виявляється неперенормовуваною теорією внаслідок того, що гравітаційна стала є розмірною величиною. Ситуація ускладнюється тим, що прямі експерименти в галузі квантової гравітації, через слабкість самих гравітаційних взаємодій, недоступні за допомогою сучасних технологій. У зв'язку з цим, у пошуку правильного формулювання квантової гравітації доводиться, поки що, спиратися тільки на теоретичні викладення.

Отже, слід акцентувати: нині існують різні думки з приводу квантової гравітації. До основних напрямків досліджень слід віднести петльову квантову гравітацію і теорію струн.

Інші напрямки досліджень передбачають врахування динамічної тріангуляції (у ній просторово-часове різноманіття будується з елементарних евклідових симплексів, таких як, трикутник, п'ятикутник (пентахор), тетраедр, розмірами порядку планківських, з урахуванням принципу причинності; чотиривимірність і псевдоевклідовість простору-часу в макроскопічних масштабах у цій теорії не постулюються, а її наслідком) і некомутативної геометрії (зв'язності).

Далі слід наголосити, що, все ж таки, двома основними напрямками, що намагаються побудувати теорію квантової гравітації, є теорія струн (теорія, яка вивчає динаміку взаємодії одномірних протяжних об'єктів довжиною 10^{-35} м – квантових струн, коливання яких відтворюють багато різних елементарних частинок) і петльова квантова гравітація (теорія, що заснована на концепції дискретного простору-часу і припущенні про одномірність фізичних збуджень простору-часу на планковських масштабах) У першій з них замість частинок і фонового простору-часу виступають струни та їхні багатовимірні аналоги – брани (в теорії струн це фундаментальний багатовимірний фізичний об'єкт, розміри якого менші, ніж розміри простору, в якому цей об'єкт знаходиться). Для багатовимірних задач брани є багатовимірними частинками, але з точки зору частинок, що рухаються всередині цих бран, вони є просторово-часовими структурами.

Щодо петльової квантової гравітації, то в цій сфері робиться спроба сформулювати квантову теорію поля без прив'язки до просторово-часового фону. Виходячи з цієї теорії, простір і час складаються з дискретних частин. Ці маленькі квантові комірки простору поєднані одна з одною так, що на малих масштабах часу та довжини вони створюють строкату, дискретну структуру простору, а на більших масштабах плавно переходять у неперервний простір-час. Багато космологічних моделей можуть описати поведінку Всесвіту лише починаючи від планкового часу після Великого вибуху, а якщо казати про петльову квантову гравітацію, то вона може описати сам процес вибуху і навіть заглянути далі. Петльова квантова гравітація, можливо, дозволить описати всі частинки стандартної моделі (теоретична конструкція у фізиці елементарних частинок, яка описує електромагнітну, слабку і сильну взаємодії усіх елементарних частинок; стандартна модель не описує темну матерію, темну енергію, не містить у собі гравітацію і описує 61 частинку).

Підсумовуючи, слід констатувати, що нині існує незліченна кількість підходів до побудови теорії квантової гравітації. Серед цих підходів можна виділити такі основні:

- причинна динамічна тріангуляцію (принцип причинності – один із найзагальніших принципів, який встановлює допустимі межі впливу подій однієї на одну);
- обчислення Радже (підхід до задачі розсіяння у квантовій механіці і квантової теорії поля, в яких вивчаються властивості амплітуди розсіяння при комплексних значеннях орбітального кутового моменту);
- супергравітація (підсумок ЗТВ на основі суперсиметрії);
- цифрова фізика (сукупність теоретичних поглядів, які засновані на інтерпретації Всесвіту як певної інформації, внаслідок чого його можна вважати обчислювальним).

Отже, нині вже не можна обмежити фізичну освіту в педагогічних університетах лише змістом навчальних програм бакалаврату та магістратури. При вивченні курсу фізики студентів необхідно постійно знайомити із сучасними проблемами та досягненнями фізики, що дозволить їм перебувати на передових рубежах науки. І особливо це стосується студентів педагогічних університетів, які в подальшому будуть відповідальні за виховання молодих наукових кадрів. Адже хочеться сподіватися, що ситуація з фізикою у закладах середньої освіти найближчим часом зміниться на краще.

Використана література:

1. Шут М. І. Фізична освіта в педагогічних університетах: стан і перспективи / М. І. Шут, Л. Ю. Благодаренко // Дидактичні механізми дієвого формування компетентнісних якостей майбутніх фахівців фізико-технологічних спеціальностей: збірник матеріалів XI міжнародної наукової конференції / [редкол.: П. С. Атаманчук (голов. ред.) та ін.]. – Кам'янець-Подільський: ТОВ “Друкарня Рута”, 2016. – С. 42-44.
2. Семенишена Р. В. Формування наукового світогляду студентів вищих навчальних закладів у навчальному процесі / Р. В. Семенишена, Л. Ю. Благодаренко // Наукові записки. – Випуск 11. – Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. Частина 2. – Кропивницький: РВ КДПУ ім. В. Вінніченка, 2017 – С. 128-132.
3. Rovelli C. Quantum Gravity / Carlo Rovelli. – Cambridge: Cambridge University Press, 2008. – 458 с.
4. Фейгин О. Парадокси квантового мира / Олег Фейгин. – Москва: Эксмо, 2012. – 288 с.
5. Огава С. Составные модели элементарных частиц / С. Огава, С. Савада, М. Накагава. – Москва: Мир, 1983. – 384 с.
6. Райдер Л. Элементарные частицы и симметрии / Л. Райдер. – Москва: Наука, 1983. – 320 с.
7. Окунь Л. Б. Лептоны и кварки / Л. Б. Окунь. – Москва: Наука, 1990. – 346 с.
8. Клоуз Ф. Кварки и партоны: введение в теорию / Ф. Клоуз. – Москва: Мир, 1982. – 440 с.
9. Общие принципы квантовой теории поля / Н. Н. Боголюбов, А. А. Логунов, А. И. Оксак, И. Т. Тодоров. – Москва: Наука, 1987. – 616 с.
10. http://aklimets.narod.ru/kvantovaja_gravitacia.htm
11. <http://sci-lib.com/article419.html>
12. <https://postnauka.ru/video/6498>

References:

1. Shut M. I. Fizychna osvita v pedahohichnykh universytetakh: stan i perspektyvy / M. I. Shut, L. Yu. Blahodarenko // Dydaktychni mekhanizmy diievoho formuvannia kompetentnisnykh yakostei maibutnih fakhivtsiv fizyko-tekhnologichnykh spetsialnostei: zbirnyk materialiv KhI mizhnarodnoi naukovoї konferentsii / [redkol.: P. S. Atamanchuk (holov. red.) ta in.]. – Kamianets-Podilskyi: TOV “Drukarnia Ruta”, 2016. – S. 42-44.
2. Semenishena R. V. Formuvannia naukovoho svitohliadu studentiv vyshchyykh navchalnykh zakladiv u navchalnomu protsesi / R. V. Semenishena, L. Yu. Blahodarenko // Naukovi zapysky. – Vypusk 11. – Serii: Problemy metodyky fizyko-matematychnoi i tekhnologichnoi osvity. Chastyna 2. – Kropyvnytskyi: RV KDPU im. V. Vinnichenka, 2017 – S. 128-132.
3. Rovelli C. Quantum Gravity / Carlo Rovelli. – Cambridge: Cambridge University Press, 2008. – 458 s.
4. Fejgin O. Paradoksy kvantovogo mira / Oleg Fejgin. – Moskva: Eksmo, 2012. – 288 s.
5. Ogava S. Sostavnye modeli elementarnykh chastic / S. Ogava, S. Savada, M. Nakagava. – Moskva: Mir, 1983. – 384 s.
6. Rajder L. Elementarnye chasticy i simmetrii / L. Rajder. – Moskva: Nauka, 1983. – 320 s.
7. Okun L. B. Leptony i kvarki / L. B. Okun. – Moskva: Nauka, 1990. – 346 s.
8. Klouz F. Kvarki i partony: vvedenie v teoriyu / F. Klouz. – Moskva: Mir, 1982. – 440 s.
9. Obshie principy kvantovoj teorii polya / N. N. Bogolyubov, A. A. Logunov, A. I. Oksak, I. T. Todorov. – Moskva: Nauka, 1987. – 616 s.
10. http://aklimets.narod.ru/kvantovaja_gravitacia.htm
11. <http://sci-lib.com/article419.html>
12. <https://postnauka.ru/video/6498>

Благодаренко Л. Ю., Ротозей А. О. Освещение проблемы квантовой гравитации в курсе физики в педагогических университетах.

В статье рассмотрены методические подходы к освещению проблем современной квантовой физики при подготовке будущих учителей и преподавателей физики, а также учёных. Подчёркнуто, что эффективная реализация научно-технологического развития страны возможна только при условии развития фундаментальной науки, в частности, физики и её приложений. Определено, что главным направлением стратегии научно-технологического развития является становление и усиление университетской науки и соответствующей инфраструктуры, а использование информации о современном состоянии физики и её достижений в образовательной деятельности должно стать неотъемлемой составляющей учебного процесса. Констатируется, что повышение уровня физического образования выпускников является неотложной задачей университетов, которые готовят специалистов физической и технической направленности. Определено, что сегодня уже невозможно ограничить физическое образование в педагогических университетах содержанием учебных программ бакалавриата и магистратуры. Поэтому как один из путей реализации поставленных заданий определён пересмотр учебных программ по физике и дополнение их вопросами, которые отражают современное состояние физики и исследований в разных её областях. Предложены методические подходы к повышению научного уровня курса "Атомная и ядерная физика", которые состоят в системном ознакомлении студентов с современными проблемами квантовой физики. Установлено, что для повышения уровня знаний студентов по физике, становления их интеллекта и формирования научного мировоззрения в начале изучения курса целесообразно особое внимание уделить таким основным проблемам современной квантовой физики, как проблема космологической постоянной, проблема конфайнмента кварков и проблема квантовой гравитации. Также указано, что проблема повышения научного уровня физического образования является особо актуальной проблемой для будущих учителей и преподавателей физики, которые в дальнейшем будут ответственны за воспитание молодых научных кадров.

Ключевые слова: современные проблемы квантовой физики, методические подходы к повышению научного уровня знаний студентов по физике, квантовая механика, общая теория относительности, квантовая гравитация.

Blagodarenko L., Rotozei A. Coverage of the problem of quantum gravity in the course of physics at pedagogical universities.

The article deals with methodological approaches to the problems of modern quantum physics in the preparation of future teachers and teachers of physics, as well as scientists. It was stated that increasing the level of physical education of graduates is an urgent task of universities that train specialists on the specialties of physical and technical direction. Therefore, one of the ways of realizing the tasks is to review the content of the curricula in physics and to supplement its questions, which reflect the current state of physics and research in its various fields. The methodical approaches to raising the scientific level of the course "Atomic and Nuclear Physics", which consist of systematic acquaintance of students with modern problems of quantum physics, are offered. It is established that in order to improve the level of knowledge of students in physics, the formation of their intelligence and the formation of the latest scientific outlook, it is advisable to focus on such basic problems of quantum physics as the problem of cosmological stability, the problem of confinement of quarks and the problem of quantum gravity. It is also noted that the problem of raising the scientific level of physical education is especially relevant for future teachers and teachers of physics, who will be responsible for the future education of young scientific personnel.

Keywords: modern problems of quantum physics, methodical approaches to raising the scientific level of knowledge of students in physics, quantum mechanics, general theory of relativity, quantum gravity.