

УДК 378:372.52/53.01

DOI: 10.31652/2786-5754-2023-5-31-42

Ткаченко І. А.

доктор педагогічних наук, професор кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини
ORCID ID 0000-0003-1775-1110
e-mail: tkachenko.igor1071@gmail.com

Краснобокий Ю. М.

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини
ORCID ID 0000-0003-2103-9978
e-mail: ymk201113@gmail.com

Ільніцька К. С.

кандидат педагогічних наук, доцент кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини
ORCID ID 0000-0002-6179-5543
e-mail: e-ilynitskaja@udpu.edu.ua

МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ПРИРОДНИЧИХ ДИСЦИПЛІН ЗАСОБАМИ ЕМЕРДЖЕНТНО-ІНТЕГРАТИВНОГО ПІДХОДУ

Стаття присвячена пошуку можливостей впровадження емерджентно-інтегративного підходу до підготовки майбутніх учителів природничих наук у процесі опанування ними циклу фундаментальних наук: фізики, астрономії, астрофізики, космології, космогонії.

Обґрунтовується можливість одного з варіантів системно-інтегративного підходу щодо структурування і вивчення навчального матеріалу про фундаментальні взаємодії в природі та сучасний стан процесу об'єднання фізичних теорій, що їх описують.

У якості методів дослідження використовувалися комплексний аналіз науково-методичних джерел, в яких репрезентується уніфікований підхід до вирішення педагогічних проблем, та синтез відповідних результатів досліджень, опублікованих у науково-педагогічних виданнях, з результатами авторських наробок щодо експериментального їх впровадження в освітню практику. Інтегративність змісту матеріалу про фундаментальні взаємодії в природі практикуємо викладати послідовно у формі кількох етапів. Спершу розглядається природа всіх фундаментальних взаємодій, їх загальна характеристика, порівняльні дані за величиною чисельних значень, прояв фундаментальних взаємодій (сил) у фізиці, астрономії, хімії тощо. Наступний етап полягає у визначенні впливу зміни чисельних значень світових констант на еволюцію Всесвіту. Після цього на якісному рівні розглядаються сучасні теорії, які намагаються об'єднати в єдину систему (наукову картину світу) всі фундаментальні взаємодії.

Внаслідок проведеного дослідження з'ясовано можливості інтегративного вивчення матеріалу про фундаментальні взаємодії у природі та їх квантово-статистичний характер. Визначено їх фундаментально протилежні властивості (далекодіючий характер гравітаційної і електромагнітної взаємодій та близькодіючий – слабкої і сильної), які в

поєднанні й визначають структурну єдність і еволюцію нашого Всесвіту, можливість існування множинності інших всесвітів, властивість невичерпного «дроблення» матерії на все менші і менші частинки, підтверджуючи тим самим діалектику єдності і боротьби протилежностей.

Ключові слова: природничо-наукові дисципліни, інтегративно-емерджентний підхід, наукова картина світу, квантові властивості світла, фундаментальні взаємодії, теорії об'єднання.

Tkachenko I. A.

doctor of pedagogical sciences, professor, professor of department of physics
and of integration technologies studies of natural sciences,
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University.
ORCID ID 0000-0003-1775-1110
e-mail: tkachenko.igor1071@gmail.com

Krasnobokyj Y. M.

candidate of physics- mathematician sciences, associate professor of department of physics
and of integration technologies studies of natural sciences,
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University.
ORCID ID 0000-0003-2103-9978
e-mail: ymk201113@gmail.com

Ilnitska K. S.

candidate of pedagogical sciences, associate professor of department of physics
and of integration technologies studies of natural sciences,
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University.
ORCID ID 0000-0002-6179-5543
e-mail: e-ilnitskaja@udpu.edu.ua

METHODOLOGICAL FEATURES OF TEACHING NATURAL DISCIPLINES USING THE EMERGENCY-INTEGRATIVE APPROACH

The article is devoted to the search for the possibilities of implementing an emergent-integrative approach to the training of future teachers of natural sciences in the process of mastering the cycle of fundamental sciences: physics, astronomy, astrophysics, cosmology, cosmogony.

The possibility of one of the variants of the system-integrative approach to the structuring and study of educational material about fundamental interactions in nature and the current state of the process of combining the physical theories that describe them is substantiated.

As research methods, a comprehensive analysis of scientific and methodological sources was used, in which a unified approach to solving pedagogical problems is represented, and a synthesis of the relevant research results published in scientific and pedagogical publications, with the results of the author's work on their experimental implementation in educational practice. We practice teaching the integrative content of the material about fundamental interactions in nature consistently in the form of several stages. First, the nature of all fundamental interactions, their general characteristics, comparative data on the magnitude of numerical values, manifestation of fundamental interactions (forces) in physics, astronomy, chemistry, etc. are considered. The next stage consists in determining the influence of the change in the numerical values of the world constants on the evolution of the universe. After that, modern theories are considered at a qualitative level, which try to combine all fundamental interactions into a single system (scientific picture of the world).

As a result of the conducted research, the possibilities of an integrative study of the material about fundamental interactions in nature and their quantum-statistical nature have been clarified. Their fundamentally opposite properties have been determined (long-range nature of gravitational

and electromagnetic interactions and short-range – weak and strong), which in combination determine the structural unity and evolution of our universe, the possibility of the existence of a plurality of other universes, the property of inexhaustible «crushing» of matter into smaller and smaller particles, thereby confirming the dialectic of unity and the struggle of opposites.

Key words: *natural and scientific disciplines, integrative-emergent approach, scientific picture of the world, quantum properties of light, fundamental interactions, unification theories.*

Постановка та обґрунтування актуальності проблеми. Фахова підготовка майбутніх учителів-магістрів до викладання основ природничих наук включає, зокрема, такі навчальні дисципліни як «Загальний курс фізики», «Теоретична фізика», «Астрономія», «Астрофізика», «Теоретична астрофізика», «Основи космології та космогонії», «Хімія» та інші.

Орієнтуючись на нинішні тенденції щодо спрямування освітнього процесу на формування у суб'єктів навчання цілісного образу оточуючого світу, сучасні методисти все частіше звертають увагу на розробку інтегративних підходів до побудови різних моделей освітньої діяльності – міжпредметної і внутрішньопредметної інтеграції навчального матеріалу.

Оскільки фундаментальні науки описують явища і процеси в неживій природі, то предметом вивчення стає фізична картину світу, що дозволяє представити спосіб інтегрованого вивчення матеріалу навчальних дисциплін, які є формою імплементації перерахованих вище фундаментальних наук в освітній процес підготовки майбутніх учителів природознавства, зокрема й фізики. Разом з цим відбувається усвідомлення студентами того факту, що в процесі пізнання світу все більше виникає питань і все важче на них відповідати. Так, наприклад, у неживій природі постійно відкриваються все нові і нові субатомні частинки, і багато особливостей їх поведінки поки що залишаються незрозумілими.

Використовуючи методичні прийоми трансдисциплінарності щодо ознайомлення студентів з природними явищами у простих системах і взаємодіями, які їх супроводжують, виокремлюємо загальні правила, яким вони підкоряються, з'ясовуємо область їх застосовності та можливість їх екстраполяції на більш складні системи.

Інтегруючи таким чином навчальний матеріал з фізики, астрономії, астрофізики, космології, космогонії, у студентів формується уявлення про величезний і багатогранний Всесвіт у вигляді сукупності невеликого числа елементарних частинок, які можуть взаємодіяти лише кількома способами і підкорятися невеликій кількості фундаментальних законів. В основі єдності наук лежить єдність світу, до пізнання якого в кінцевому рахунку й спрямований розвиток знання на кожному окремому витку людського пізнання. Шлях до єдності наук лежить через інтеграцію її окремих галузей, що передбачає поєднання різних теорій і методів дослідження. Закони розвитку природних систем тісно пов'язані із законами розвитку суспільства. Суспільство і оточуюча природна система взаємовпливають на самоорганізацію і еволюцію обох систем. В сучасну епоху відбувається стрімкий розвиток природничих наук, відкриваються нові факти і формуються нові концепції у фізиці, хімії, біології, астрономії, космології, математиці та в інших науках.

Таким матеріалом, який в тій чи тій мірі передбачається у циклі дисциплін фундаментальної підготовки магістрів природознавства і дозволяє впроваджувати інтегративний підхід до його розгляду, є проблема створення сучасних теорій, які розкривають з позицій квантово-релятивістських уявлень сутність і основи єдності чотирьох основних фундаментальних взаємодій у природі. У порядку зростання їх інтенсивності ці взаємодії вибудовуються наступним чином: гравітаційна, слабка, електромагнітна, сильна.

Сучасна наука вважає, що властивості матерії в масштабах від атомів до зірок визначаються цими взаємодіями й саме ці взаємодії в кінцевому рахунку відповідають за всі зміни в природі, саме вони є джерелом всіх перетворень матеріальних тіл і процесів.

Теоретична і експериментальна розробка цієї проблематики на даний час є переднім краєм фундаментальної науки, що **актуалізує** її вивчення в закладах освіти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема інтеграції наук і їх імплементації у навчальні дисципліни не є особливо новою. Традиційно вже надзвичайно бурхливо розвиваються такі науки як астрофізика, біофізика, фізична хімія, агрофізика, біомеханіка та інші, а відповідні навчальні предмети твердо посіли свої місця в навчальних планах і логічно вписалися в систему підготовки відповідних фахівців. Проте, проблеми пошуку шляхів методико-методологічного удосконалення змісту навчання у закладах загальної середньої освіти й педагогічних університетах відносяться до таких, які завжди залишаються **актуальними**, насамперед у зв'язку з постійним накопиченням нової інформації і динамікою змін соціального досвіду, які і є глобальним джерелом змісту освіти.

Розробці загальних питань інтеграційних процесів в освіті, і зокрема у природничо-науковій, присвячені роботи дослідників-методистів: С. Гончаренка, К. Гуза, В. Ільченко, О. Ляшенка, М. Мартинюка. Теорію і практику наповнення структурних побудов шкільних курсів фізики і астрономії розробляли Ю. Александров, О. Бугайов, С. Гончаренко, М. Головка, Ю. Дік, І. Климишин, К. Краєвич, І. Крячко, М. Мартинюк, Л. Резніков, М. Пришляк та інші.

Концептуальні основи інтеграції змісту природничо-наукової освіти представлені в роботах М. Арцишевської, Т. Засєкіної, В. Ільченко, К. Гуза, М. Мартинюка, М. Шута [1, 2, 4, 5, 8, 12] та інших.

Методико-методологічні засади впровадження моделей інтегрованого навчання на даний час розробляються М. Арцишевською, Ю. Бекетовим, М. Мартинюком, М. Шутом, а також авторами даної статті [2, 4, 8, 9 – 12].

Проблемам методичного забезпечення системи інтегрованого навчання (зокрема змісту відповідних підручників) присвячені роботи Т. Засєкіної, В. Ільченко, К. Гуза, Т. Типовця, авторські роботи [4, 5, 8, 14 – 17].

Метою статті є вивчення можливостей впровадження інтегративно-емерджентного підходу щодо викладання (вивчення) окремих тем з циклу фундаментальних дисциплін на прикладі формування і трансформації теорій фундаментальних взаємодій у природі та їх об'єднання в єдину природничо-наукову картину світу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сприйняття оточуючого світу як цілісної динамічної системи взаємозв'язку природи, людини і суспільства вимагають постійного оновлення змісту освіти, удосконалення методів, форм і засобів навчання у закладах вищої освіти, які б відповідали найновішим досягненням науки. Загострилася проблема трансформації існуючої моделі освіти у таку систему освіти, яка базується на глибоких міждисциплінарних (інтегрованих) знаннях, що відображають комплексний підхід до розвитку суспільства, економіки і оточуючого середовища. Тому, коли мова йде щодо удосконалення природничо-математичної і технічної (технологічної) освіти, головним її компонентом має бути формування цілісної наукової картини світу, як найвищого рівня узагальнення і систематизації всієї сукупності знань (і, насамперед, природничо-наукових), накопичених людством на даному етапі історичного розвитку. Разом з тим, методологія діяльності в синергетичному середовищі, як основа нової парадигми, бере свій початок у самій структурі наукового пізнання, коли центр уваги змістився з рівноважних процесів і структур на нерівноважні, на усталеність до нового погляду на роль стохастичного фактору в розумінні природи реальних процесів, до створення теорії самоорганізації відкритих систем, до розробки уніфікованої фрактально-синергетичної теорії.

Погоджуючись з міркування інших дослідників, також вважаємо, що «створення теоретичних моделей об'єднання фундаментальних взаємодій базується на пошуках їх спільної сутності. З'ясувалося, що спільним для них є наявність певного *посередника*, через який передається відповідна взаємодія, – «*поля*». З розвитком квантової механіки, у світлі

квантово-хвильового дуалізму будь-яке силове поле не є неперервним, а має дискретну структуру. Тобто, кожному полю мають відповідати певні частинки – *кванти* цього поля, а до багатьох теорій, які описують ці поля (взаємодії), входять так звані фундаментальні («*світові константи*»), числові значення яких відображають структурність теперішнього стану Всесвіту. Вивчення конкретних властивостей та закономірностей цих полів і частинок – носіїв фундаментальних взаємодій – складає основне завдання сучасних наук природничого циклу» [12, с. 83–84].

У процесі викладання відповідного матеріалу конкретних навчальних дисциплін названого циклу, спочатку робимо якісний огляд теорій, що описують фундаментальні взаємодії, і намагаємося надавати йому інтегративного характеру.

Наприклад, «за розгляду *гравітаційної взаємодії* (як у фізиці, так і в астрономії, астрофізиці тощо) звертається увага на її особливості – слабку інтенсивність і універсальність. Перша особливість підкріплюється порівнянням, що гравітаційна взаємодія приблизно в 10^{39} разів менша від сили взаємодії електричних зарядів. Тобто, якщо б розміри атома водню визначалися гравітацією, а не взаємодією між електричними зарядами, то радіус найближчої до ядра орбіти електрона перевершував би радіус доступної для спостереження частини Всесвіту – 10^{26} м» [7, с. 399].

Універсальність же гравітації виявляється в тому, що вона є далекодіючою силою природи. Це означає, що хоч інтенсивність гравітаційної взаємодії зменшується з відстанню (пропорційно $1/r^2$), вона поширюється в просторі і може відчуватися на досить віддалених від джерела відстанях. В астрономічному масштабі гравітаційна взаємодія відіграє вирішальну роль. Завдяки далекодії гравітація забезпечує цілісність Всесвіту: вона утримує планети на орбітах, зорі в галактиках, галактики в скупченнях, скупчення в Метагалактиці [12, с. 84].

Що ж до природи гравітаційної взаємодії, то поки що послідовної квантової теорії гравітації поля не створено. Проте, згідно із загальними сучасними теоретико-фізичними уявленнями гравітаційна взаємодія має підкорятися квантовим законам, як і інші взаємодії. Тобто, їй має відповідати гравітаційне поле з квантом гравітації – *гравітоном* (нейтральною частинкою з відсутністю маси спокою та спіном, рівним 2).

Квантування гравітації підводить до уявлення про дискретність властивостей простору-часу, понять елементарної довжини (кванта простору $r \approx 10^{-35}$ м) і елементарного часового інтервалу (кванта часу $t \approx 10^{-44}$ с).

За розгляду *електромагнітної взаємодії* теж звертаємо увагу на її специфіку. За величиною електричні сили набагато перевершують гравітаційні, тому, коли вони діють між тілами навіть звичайних розмірів, їх можна легко виявити і вивчати. Тривалий час електричні і магнітні явища розглядалися і вивчалися незалежно. І лише в середині XIX ст., як відомо, Дж. К. Максвелл об'єднав вчення про електрику і магнетизм у єдину теорію електромагнітного поля.

Електромагнітна взаємодія відрізняється від гравітаційної ще й тим, що коли всі матеріальні частинки створюють гравітаційне поле, то з електромагнітним полем зв'язані переважно заряджені частинки. Як і електричні заряди, однойменні магнітні полюси відштовхуються, а різнойменні – притягуються. Проте, на відміну від електричних зарядів магнітні полюси зустрічаються не окремо, а парами – «північний» полюс, «південний» полюс. Можливість існування окремого магнітного полюса – «*монополя*» – це ще одна загадка природи.

Електромагнітна взаємодія (як і гравітаційна) – далекодіюча; як і гравітація – підкоряється закону $1/r^2$. Вона проявляється на всіх рівнях матерії – в мегасвіті, макросвіті і мікросвіті. (Мова йде про магнітне поле Землі, яке простягається далеко в космічний простір; про потужне магнітне поле Сонця, яке заповнює всю Сонячну систему; про галактичні електромагнітні поля тощо).

У той же час електромагнітна взаємодія визначає структуру атомів і молекул. Вона

відповідає за переважну більшість фізичних і хімічних явищ і процесів: сили пружності, сили тертя, поверхневого натягу, властивості агрегатних станів речовини, хімічних перетворень, оптичні явища, явища йонізації, багато реакцій (перетворень) у світі елементарних частинок тощо.

Саме такі властивості електромагнітної взаємодії дозволяють розкривати інтегративний зміст відповідного навчального матеріалу у програмах навчальних дисциплін фундаментального циклу.

Порівняно важко і повільно складалися уявлення про *слабку взаємодію*. Слабка взаємодія проявляє себе у процесах взаємоперетворень та розпаду елементарних частинок. З цим явищем зіткнулися за відкриття радіоактивності і дослідження явища *бета-розпаду*. У бета-розпаді виявилася дуже дивна особливість. Створювалося враження, що за цього розпаду неначе порушується закон збереження енергії, що частина енергії «*кудись зникає*». Не сумніваючись у фундаментальності закону збереження енергії, В. Паулі висунув припущення, що у процесі бета-розпаду разом з електроном вилітає ще одна частинка, яка й «*виносить*» з собою додаткову (не враховану в розрахунках) енергію. Ця частинка нейтральна і має надзвичайно високу проникну здатність, завдяки чому її не вдавалося спостерігати (виявити). Е. Фермі назвав цю частинку «*нейтрино*» («нейтрончик») [12, с. 84].

Якщо така частинка дійсно існує, то необхідно було з'ясувати її загадкову природу. Справа в тому, що електрони і нейтрино випромінюються нестабільними ядрами, у той час, як було відомо, що у ядрах таких частинок немає. Як же вони виникали? Виявилось, що нейтрони в нестабільних ядрах, опинившись самі по собі, через кілька хвилин розпадаються на протон, електрон і нейтрино. Виникло питання, які ж сили відповідальні за такий розпад? У процесі подальших розрахунків з'ясувалося, що відомі на той час сили викликати такий розпад нездатні. Припустили, що бета-розпад спонукається якоюсь новою, невідомою силою, якій і відповідає певна «слабка взаємодія».

Слабка взаємодія значно менша за величиною від інших взаємодій (крім гравітаційної). Крім того, радіус слабкої взаємодії дуже малий ($\sim 10^{-18}$ м). Тому вона не може впливати не лише на макроскопічні, але навіть й на атомні об'єкти, обмежуючись *субатомними* частинками [6, с. 401].

У слабкій взаємодії беруть участь всі елементарні частинки, крім фотонів. Вважається, що переносниками слабкої взаємодії є *віони* – це частинки з масою, приблизно у 100 разів більшою від маси протона і нейтрона. Про їх відкриття було повідомлено у 1983 році [19].

Інтегративний зміст матеріалу про слабку взаємодію полягає в тому, що вона відіграє в природі ключову роль. Вона визначає умови перебігу термоядерних реакцій на Сонці, у зорях, забезпечує протікання синтезу пульсарів, вибухів наднових зірок, синтез хімічних елементів у зірках тощо. А ці питання розглядаються як у фізиці, так і в астрономії, астрофізиці, хімії та інших науках.

Щодо уявлень про існування *сильної взаємодії* наука наближалася у процесі вивчення структури атомного ядра. Необхідно було з'ясувати природу сили, яка здатна утримувати позитивно заряджені протони у ядрі, не даючи їм можливості «розлітатися» під дією електростатичного відштовхування. На такому рівні гравітація надто слабка, щоб це забезпечити; очевидно, що для цього необхідна якась інша взаємодія, причому сильніша й за електромагнітну. Зрештою така взаємодія була виявлена і отримала назву «сильної взаємодії» [3].

З'ясувалося, що хоча за своєю величиною сильна взаємодія суттєво перевершує решту фундаментальних взаємодій, за межами ядра вона не відчувається, а проявляється лише на відстані, сумірній з розмірами атомного ядра (приблизно 10^{-15} м). Основна функція сильної взаємодії в природі – створення міцного зв'язку між нуклонами в ядрах атомів. За цього зіткнення ядер або нуклонів значних енергій призводить до різноманітних ядерних реакцій, у тому числі й реакції термоядерного синтезу (за суттєвої участі й слабкої взаємодії) на Сонці,

яка є основним джерелом енергії на Землі.

Після такого якісного аналізу основних фундаментальних взаємодій подаємо порівняння кількісних параметрів (відповідних констант), якими вони описуються [19].

Процес пізнання полягає в узагальненні дійсності, тому метою науки є пошук єдності у природі, синтезі розрізнених фрагментів знання у єдину картину – наукову картину світу.

У розглядуваному контексті можливостей емергентно-інтегративного підходу до вивчення природничих наук нами практикується й внутрішньопредметна інтеграція навчального матеріалу, що сприяє цілісному сприйняттю і засвоєнню механізмів перебігу різних фізичних явищ у межах конкретних навчальних дисциплін [6]. Принагідно наводимо фрагмент внутрішньопредметної інтеграції матеріалу за розгляду питань зародження квантової статистики у загальному курсі фізики. Викладаючи цей матеріал, залучаємо знання студентами матеріалу попередніх розділів – молекулярної фізики, хвильової оптики тощо.

Мова йде про висунуту М. Планком у 1900 р. ідею про випромінювання енергії окремими «маленькими» і неподільними частинками – «квантами». Планк запропонував свою гіпотезу квантів виключно для пояснення характерного для абсолютно чорного тіла розподілу випромінювання. Він був досить обережним і не намагався поширити її на інші явища. Це зробив А. Ейнштейн. Саме Ейнштейн вперше висловив думку про те, що світлове випромінювання завжди має квантову структуру; він вперше застосував термін «фотони» [18].

З формули енергії фотона $E = h\nu$ випливає, що існують фотони, як такі, не взагалі, а низько- і високоенергетичні фотони відповідно до значення частоти ν . За цього характерним для фотона як частинки є відсутність у нього властивості до дискретного поділу. Кожен фотон являє собою єдине і неподільне ціле. З цього моменту співставляємо фотони як частинки-кванти з частинками-молекулами і атомами в уявленнях молекулярно-кінетичної теорії. Якщо світлові кванти є «дійсними» частинками, то до них мають бути застосовані ті ж закони, які описують поведінку молекул (атомів) «звичайного» газу. Проте спроба застосувати до нового «газу» світлових квантів статистику Больцмана-Максвелла (з якою студенти знайомі з молекулярної фізики) зазнала поразки.

Студенти пригадують, що за розгляду основ класичної статистики і встановлення відомої формули Больцмана $S = k \ln w$ вдаються до моделювання можливої кількості мікростанів газу, які реалізують певний його макростан. Оскільки молекули (атоми) звичайного газу мають свої індивідуальні властивості, у моделі – комірках їх певним чином маркують, присвоюючи відповідні номери або різні кольори. Потім, в залежності від їх кількості і кількості комірок, визначають кількість можливих мікростанів газу. З фотонним газом така модель не діє, оскільки фотони нерозрізнені. Цим доводимо студентам, що фотони не підкоряються законам класичної статистики.

Студентам доводимо, що саме за такої спроби виявився неправильним розподіл інтенсивності у спектрі випромінювання, зокрема інтенсивність випромінювання надто зростала у короткохвильовій області спектру (що породило уявлення про «ультрафіолетову катастрофу»). Незастосовність статистики Больцмана до фотонів повинна мати свої причини. Тут студентам пропонується їх виявити. З'ясовується, що фотони, на відміну від молекул звичайного газу, не незалежні один від одного. Демонстрацією зустрічі двох пучків когерентних потоків фотонів показуємо їх взаємний вплив, що призводить до відомого явища інтерференції. Цим показуємо, що газ фотонів суттєво відрізняється від газу молекул Больцмана. Тож статистичні закони розподілу швидкостей і енергій молекул звичайного газу Больцмана і Максвелла для фотонного газу не виконуються.

Шлях вирішення цієї проблеми було знайдено індійським фізиком Шатъендранатом Бозе. За допомогою нового підходу до статистики частинок фотонного газу йому вдалося отримати правильний закон випромінювання Планка. Ця статистика отримала назву «статистики Бозе-Ейнштейна». Скориставшись залученням знань студентів з молекулярної

фізики щодо статистичного методу, акцентуємо їх увагу, що в основі статистики Бозе-Ейнштейна лежить визнання того факту, що для світлових квантів цілком втрачається зміст індивідуальної відмінності, яка притаманна атомам і молекулам.

Використавши такий внутрішньопредметний інтегративний підхід, резюмуємо, що поряд з класичною статистикою виникла нова, квантова статистика, яка застосовна не лише для фотонів – квантів світла, а й для багатьох інших об'єктів, енергія яких змінюється не неперервно, а дискретно, стрибкоподібно.

Інтеграція матеріалу з аналізу остаточних формул статистики Больцмана і Бозе-Ейнштейна дає можливість продемонструвати студентам «дивний» факт. Чим менша густина частинок, тобто чим більш розріджений газ, тим ближче один до одного обидва ці розподіли. Помітні відхилення варто очікувати лише за великих густин і низьких температур. На жаль, за таких умов стає уже не таким важливим врахування взаємодії між молекулами, що закони ідеального газу виявляються більш незастосованими. Іншими словами, нам і досі невідомо абсолютно точно, чи підкоряються гази, які складаються з молекул, статистиці Больцмана чи статистиці Бозе-Ейнштейна. Це, на нашу думку, збуджує інтерес студентів до фізики та пошуку шляхів вирішення її сучасних проблем.

Структурність матерії проявляється в її системній організації, існуванні у вигляді множини ієрархічно взаємопов'язаних систем: Метагалактика (Всесвіт), окрема галактика, зоряна система, планета, окремі тіла, молекули, атоми, елементарні та субелементарні частинки.

По мірі все глибшого проникнення в таємниці будови Всесвіту від елементарних частинок до галактик, учені не перестають *дивуватися* настільки точно «*підібраним*» значенням фундаментальних сталих, дивному збігові низки чисел, які є комбінацією з цих фундаментальних сталих, так званого «*унікального налаштуванні*» Всесвіту. У зв'язку з цим і в теоретиків, і в експериментаторів виникає питання методологічного значення: «А що було б у природі (Всесвіті), якби реалізувалася інша послідовність числових значень світових констант?».

Теоретичні розрахунки показують, що за зміни числових значень констант цих взаємодій буде відбуватися порушення стійкості одного або й декількох структурних елементів Всесвіту. Так, наприклад, збільшення маси електрона m_e у межах від $0,5 MeV$ до $0,9 MeV$ порушить енергетичний баланс у реакції утворення *дейтерію* в сонячному циклі і призведе до дестабілізації стійкості атомів і ізотопів. Зменшення α_s на 4 % призвело б до нестабільності *дейтерію*, а збільшення її значення означало б вигорання водню вже на ранніх стадіях еволюції Всесвіту. Константі α_e «дозволено» змінюватися лише в межах $1/170 < \alpha_e < 1/80$. Інші ж її значення означають неможливість необхідного відштовхування протонів у ядрах, що призвело б до нестабільності атомів. Збільшення α_w призвело б до зменшення часу життя вільних нейтронів. Це означає, що на ранній стадії еволюції Всесвіту гелій не утворювався б і не було б реакції злиття α -частинок у процесі синтезу вуглецю C^{12} . Тоді на місці нашого *вуглецевого* Всесвіту був би Всесвіт *водневий*. Зменшення ж значення α_w призвело б до того, що всі протони виявилися б зв'язаними в α -частинки, що створило б *гелієвий* Всесвіт [6, 20, 21].

Таким чином, наука стоїть на межі створення єдиної теорії матерії, тобто всіх фундаментальних взаємодій (поля) і структури речовини. Правда, на цьому шляху належить вирішити, крім названих вище, ще багато складних проблем (на які ми звертаємо особливу увагу студентів).

Насамперед, має бути створена квантова теорія гравітації, без якої реалізація програми супергравітації неможлива. Лише зі створенням квантової теорії гравітації, можливо, вдасться знайти відповіді на питання: чому наш простір має три виміри, а час – лише один вимір? чому нам даний саме такий набір елементарних частинок та чим визначається їх маса? чому в природі існує елементарний електричний заряд і від чого залежить його величина? чи має

властивість розпаду протон, час життя якого оцінюється у 10^{31} с? чи існує магнітний монополь? чи існує квант гравітаційного поля – гравітон? чому існує лише чотири типи (а може й п'ять) фундаментальних взаємодій і саме ті, які нам відомі? чому світові константи мають саме такі, а не інші значення? що являє собою фізичний вакуум? що таке темна матерія? що являє собою прихована енергія Всесвіту? де межа дроблення матерії і чи існує вона? та ін.

Отже, ще багато незвичного і несподіваного містить для пізнання фізичного світу та область, де Мікросвіт виявляється пов'язаний з Мегасвітом, елементарна частинка з Всесвітом в цілому, фізика з астрономією тощо.

У фізиці, та й в інших науках, виявилось багато дивних збігів, які не можуть бути зрозумілі ні як чисто випадкові, ні як чисто закономірні. Можна прослідкувати взаємні перетворення порядку в хаос, народження законів і упорядкованості хаосу, але чи можна керувати цими процесами?

Висновки з дослідження і перспективи подальших розробок. Узагальнюючи виклад матеріалу щодо фундаментальних взаємодій у природі, звертаємо увагу студентів на значення різниці між далекодіючими і близькодійними силами природи: з одного боку – взаємодії необмеженого радіуса дії (гравітація і електромагнетизм), а з іншого – малого радіуса (сильна і слабка). Цим демонструємо, що світ природних процесів розгортається в межах цих двох полярностей і разом з тим втілює єдність гранично малого і безмежно великого – мікросвіту і мегасвіту, елементарної частинки і всього Всесвіту. Іншими словами, опис природи пролягає між двома протилежними картинами. У цьому «серединному» описі фізичні закони призводять до нової форми пізнання, яка виражається ймовірнісними уявленнями. Тобто, будучи пов'язаними з динамічною нестійкістю природних систем (як мікро-, так і макроскопічних), закони природи оперують лише з можливістю подій, а не роблять окремі події наперед передбачуваними.

Досвід авторів у викладанні перерахованих вище дисциплін показує, що такий спосіб формування змісту навчального матеріалу полягає у врахуванні різноманітності взаємозв'язків між природничими науками, які й складають єдину систему природничо-наукових знань, та можливості на цій основі адекватного пізнання природи як цілісного утворення, підвищуючи цікавість студентів щодо його освоєння. Тому доцільно, на нашу думку, подальші дослідження продовжувати спрямовувати саме на розробку методики інтегрованого вивчення наук природничого спрямування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Арцишевська М.Р. Суспільствознавча картина світу як теоретична основа інтеграції змісту шкільної освіти. *Шлях освіти*. 2000. №3. С.16-20.
2. Арцишевський Р.А., Шоломицька Т.Я. Необхідність і можливість вироблення сучасної картини світу. *Збірник наукових праць*. Суми, 2004. Вип. 3. С.7-10.
3. Білий М.У., Охрименко Б.А. Атомна фізика : підруч. / за заг. ред. Л.А. Булавіна. Київ: Знання, 2009. 559 с.
4. Бекетов Ю.О. Інтеграція профільної, фундаментальної і гуманітарної підготовок у структурі факультету транспортних систем. *Проблеми модернізації змісту і організації освіти на засадах компетентнісного підходу* : матер. Міжнар. наук.-метод. конф. Харків : ХНАДУ, 2014. С.3-6.
5. Засекіна Т.М. Концепція інтегрованого підручника з фізики й астрономії. *Проблеми сучасного підручника: зб.наук.праць*. Київ : Педагогічна думка, 2017. Вип. 6. С.112-118.
6. Ільніцька К.С., Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А. Внутрішньопредметна інтеграція навчального матеріалу загального курсу фізики як чинник підвищення ефективності засвоєння знань студентами. *Актуальні питання у сучасній науці (Серія «Педагогіка», Серія «Право», Серія Економіка», Серія «Державне управління», Серія «Техніка», Серія «Історія та археологія»)*. 2023. № 8(14). С. 828–843.
7. Ільніцька К.С., Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А. Системно-інтегративний підхід до викладання фундаментальних наук у процесі підготовки учителів природничих дисциплін освітнього

ступеня магістр. *Розвиток сучасної освіти і науки: результати, проблеми, перспективи. Том V: Динаміка наукових та освітніх досліджень в умовах пандемії* [колективна монографія] / [Наукова редакція: Я. Гжесяк, І. Зимомря, В. Ільницький]. Конін – Ужгород – Херсон : Посвіт, 2021. С. 395–415.

8. Ільченко В.Р., Гуз К.Ж. Інтегрований курс як умова підвищення ефективності природничо-наукової освіти в старшій школі. *Український педагогічний журнал*. 2015. №3. С.116-125.

9. Інтегративний функціонально-галузевий підхід як чинник прогнозування і побудови моделей педагогічної природничо-наукової освіти: монографія / за ред. М.Т. Мартинюка, М.В. Декарчук. Умань : ФОП Жовтий О.О., 2013.174 с.

10. Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А. Інтеграція наукового знання і формування сучасної синергетико-інформаційної картини світу. *Розвиток сучасної освіти і науки: результати, проблеми, перспективи: колект. моногр.* Т.ІІІ /за ред. Я. Гжесяк та ін. Конін-Ужгород-Київ-Херсон : Посвіт, 2020. С.188-197.

11. Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А. Методологічні засади формування змісту підручника інтегрованого характеру. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського нац. ун-ту. Серія педагогічна*. 2018. Вип. 24. С.11-14.

12. Краснобокий Ю. М., Ткаченко І. А., Ільницька К. С. Методичні особливості використання системно-інтегративного підходу до викладання окремих тем фундаментальних наук. *Фізико-математична освіта*. 2021. Випуск 3(29). С.81–92.

13. Мартинюк М.Т. Вивчення фізики і астрономії в основній школі. Теоретичні і методичні засади: монографія. Київ, 1988. 274 с.

14. Ткаченко І.А., Краснобокий Ю.М. Інтеграція знань з циклу природничо-наукових дисциплін у процесі підготовки майбутніх учителів фізики (теоретичний аспект). *Фізико-математична освіта*. Суми, 2017. Вип. 3 (13). С.155-159.

15. Ткаченко І.А., Краснобокий Ю.М. Критерії та принципи конструювання змістової складової інтегративних підручників освітньої галузі «Природознавство». *Гуманітарний вісник Полтавського НТУ*. Полтава, 2019. Вип. 5-6. С.18-27.

16. Ткаченко І.А., Краснобокий Ю.М. Роль і місце астрофізичних знань в ОПП підготовки магістрів освітньої галузі «Природознавство». *Perspectives of world science and education : proceedings of the 4th international scientific and practical conference (December 25-27, 2019)*. Osaka, Japan : CPN Publishing Group, 2019. P.860-868.

17. Ткаченко І.А., Краснобокий Ю.М. Системно-синергетичний підхід у фаховій підготовці майбутнього вчителя природничих наук. *Фізико-математична освіта*. Суми, 2020. Вип.4 (26). С.112-118.

18. Dirak P.A. The Evolution of Physicist's Picture of Nature. *Scientific American*. 1963. V. 208. P.45-53.

19. Rozental' I.L. Physical laws and the numerical values of fundamental constants. *Physics–Uspekhi*. 1980. Vol. 23, issue 6. P. 296–305.

20. Perlmutter S. Supernovae, Dark Energy and the Accelerating Universe. *Physics Today*. 2003. № 4. P. 15 – 24.

21. Goriely S., Dimitriou P., Wiedeking M. et al. Reference database for photon strength functions. *European Physical Journal A*. 2019. 55(10). 172.

REFERENCES

1. Artsyshevska, M.R. (2000). Suspilstvoznachcha kartyna svitu yak teoretychna osnova intehratsii zmistu shkilnoi osvity. *Shliakh osvity – The way of education*, 3, 16-20 [in Ukrainian].

2. Artsyshevskiy, R.A., Sholomytska, T.Ya. (2004). Neobkhdnist i mozhlyvist vyroblennia suchasnoi kartyny svitu. *Zbirnyk naukovykh prats – Collection of scientific papers*, 3, 7-10 [in Ukrainian].

3. Bilyi, M.U., Okhrymenko, B.A. (2009). Atomna fizyka. L.A. Bulavin (Ed.). Kyiv : Znannia [in Ukrainian].

4. Beketov, Yu.O. (2014). Intehratsiia profilnoi, fundamentalnoi i humanitarnoi pidhotovok u strukturi fakultetu transportnykh system. *Problemy modernizatsii zmistu i orhanizatsii osvity na zasadakh kompetentnisnogo pidkhodu* : proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Kharkiv : KhNADU, 3-6 [in Ukrainian].

5. Zasiakina, T.M. (2017). Kontseptsiiia intehrovanoho pidruchnyka z fizyky y astronomii [The

concept of an integrated textbook on physics and astronomy]. *Problemy suchasnoho pidruchnyka – Problems of the modern textbook, issue 6, 112-118* [in Ukrainian].

6. Ilnitska, K.S., Krasnoboky, Yu.M., Tkachenko, I.A. (2015). Vnutrishnopredmetna intehratsiia navchalnoho materialu zahalnoho kursu fizyky yak chynnyk pidvyshchennia efektyvnosti zasvoiennia znan studentamy. *Aktualni pytannia u suchasni nauki (Seriiia «Pedagogika», Seriiia «Pravo», Seriiia Ekonomika», Seriiia «Derzhavne upravlinnia», Seriiia «Tekhnika», Seriiia «Istoriia ta arkeolohiia») – Current issues in modern science ("Pedagogy" Series, "Law" Series, Economy Series, "Public Administration" Series, "Technology" Series, "History and Archeology" Series)*, 8(14), 828–843 [in Ukrainian].

7. Ilnitska, K.S., Krasnoboky, Yu.M., Tkachenko, I.A. (2021). Systemno-intehratyvnyi pidkhd do vykladannia fundamentalnykh nauk u protsesi pidhotovky uchyteliv pryrodnychkykh dystsyplin osvithnoho stupenia mahistr. *Rozvytok suchasnoi osvity i nauky: rezultaty, problemy, perspektyvy. Tom V: Dynamika naukovykh ta osvithnykh doslidzhen v umovakh pandemii – Development of modern education and science: results, problems, prospects. Volume V: Dynamics of scientific and educational research in the conditions of the pandemic*. Ya. Gzhesiak, I. Zymomia, V. Ilnytskyi (Eds.). Konin – Uzhhorod – Kherson : Posvit, 395–415 [in Ukrainian].

8. Ilchenko, V.R., Huz, K.Zh. (2015). Intehrovanyi kurs yak umova pidvyshchennia efektyvnosti pryrodnycho-naukovoї osvity v starshii shkoli. *Ukrainskyi pedagogichnyi zhurnal – Ukrainian Pedagogical Journal*, 3, 116–125 [in Ukrainian].

9. Intehratyvnyi funktsionalno-haluzevyi pidkhd yak chynnyk prohnozuvannia i pobudovy modelei pedagogichnoi pryrodnycho-naukovoї osvity. M.T. Martyniuk, M.V. Dekarchuk (Eds.). (2013). Uman : FOP Zhovtyi O.O. [in Ukrainian].

10. Krasnoboky, Yu.M., Tkachenko, I.A. (2020). Intehratsiia naukovoho znannia i formuvannia suchasnoi synerhetyko-informatsiinoi kartyny svitu [Integration of scientific knowledge and formation of a modern synergetic-information picture of the world]. *Rozvytok suchasnoi osvity i nauky: rezultaty, problemy, perspektyvy – Development of modern education and science: results, problems, prospects. Vol. III*, 188–197 [in Ukrainian].

11. Krasnoboky Yu.M., Tkachenko I.A. (2018). Metodolohichni zasady formuvannia zmistu pidruchnyka intehrovanoho kharakteru. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho nats. un-tu. Seriiia pedagogichna – Collection of scientific works of the Kamianets-Podilskyi National University. Pedagogical series*, 24, 11-14 [in Ukrainian].

12. Krasnoboky, Yu. M., Tkachenko, I. A., Ilnitska, K. S. (2021). Metodychni osoblyvosti vykorystannia systemno-intehratyvnoho pidkhd do vykladannia okremykh tem fundamentalnykh nauk. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and mathematical education*, 3(29), 81–92 [in Ukrainian].

13. Martyniuk, M.T. (1988). Vychennia fizyky i astronomii v osnovni shkoli. Teoretychni i metodychni zasady. Kyiv [in Ukrainian].

14. Tkachenko, I.A., Krasnoboky, Yu.M. (2017). Intehratsiia znan z tsykladu pryrodnycho-naukovykh dystsyplin u protsesi pidhotovky maibutnykh uchyteliv fizyky (teoretychnyi aspekt). *Fizyko-matematychna osvita – Physical and mathematical education*, 3(13), 155-159 [in Ukrainian].

15. Tkachenko, I.A., Krasnoboky, Yu.M. (2019). Kryterii ta pryntsyipy konstruiuvannia zmistovoї skladovoї intehratyvnykh pidruchnykyv osvithnoi haluzi “Pryrodoznavstvo”. *Humanitarnyi visnyk Poltavskoho NTU – Humanitarian Bulletin of Poltava National Technical University*, 5-6, 18-27 [in Ukrainian].

16. Tkachenko, I.A., Krasnoboky, Yu.M. (2019). Rol i mistse astrofizychnykh znan v OPP pidhotovky mahistriv osvithnoi haluzi «Pryrodoznavstvo». *Perspectives of world science and education : proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference*. Osaka, Japan : CPN Publishing Group, 860-868 [in Ukrainian].

17. Tkachenko, I.A. & Krasnoboky, Yu.M. (2020). Systemno-synerhetychnyi pidkhd u fakhovii pidhotovtsi maibutnoho vchytelia pryrodnychkykh nauk. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and mathematical education*, 4(26), 112-118 [in Ukrainian].

18. Dirak, P.A. (1963). The Evolution of Physicist's Picture of Nature. *Scientific American*. V. 208, 45-53.

19. Rozenal', I.L. (1980). Physical laws and the numerical values of fundamental constants. *Physics–Uspekhi*, Vol. 23, 6, 296–305.

20. Perlmutter, S. (2003). Supernovae, Dark Energy and the Accelerating Universe. *Physics Today*, 4, 15–24.

21. Goriely, S., Dimitriou, P., Wiedekinget, M. et al. (2019). Reference database for photon strength functions. *European Physical Journal A*, 55(10), 172.

Статтю надіслано до редколегії 14.09.2023 р.
Статтю рекомендовано до друку 04.10.2023 р.