

Scientific journal
PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION
 Has been issued since 2013.

ISSN 2413-158X (online)
 ISSN 2413-1571 (print)

Науковий журнал
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
 Видається з 2013.

<http://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/>



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.

Krasnobokij Yu., Tkachenko I., Ilnitskaja K. Methodological features of using a system-integrative approach to teaching certain topics of the fundamental sciences. Physical and Mathematical Education. 2021. Issue 3(29). P. 81-92.

DOI 10.31110/2413-1571-2021-029-3-013

УДК 378.018.8:373.5.011.3-051:5

Ю.М. Краснобокий

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, Україна
 ymk201113@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2103-9978

І.А. Ткаченко

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, Україна
 tkachenko.igor1071@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1775-1110

К.С. Ільницька

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, Україна
 ilnitskaja@udpu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-6179-5543

МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМНО-ІНТЕГРАТИВНОГО ПІДХОДУ ДО ВИКЛАДАННЯ ОКРЕМИХ ТЕМ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ НАУК

АНОТАЦІЯ

Стаття присвячена можливостям впровадження системно-інтегративного підходу до підготовки учителів-магістрів у процесі опанування ними циклу фундаментальних наук (фізики, астрономії, астрофізики, космології, космогонії, хімії).

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

Матеріали і методи. У якості методів дослідження використовувалися комплексний аналіз науково-методичних джерел, в яких репрезентується системно-інтегративний 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 пропонується викладати послідовно у формі трьох підтем (питань). Спершу розглядається природа всіх фундаментальних взаємодій, їх загальна характеристика, порівняльні дані за величиною чисельних значень, формули безрозмірних світових констант, що описують ці взаємодії, 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.

Результати. Внаслідок проведеного дослідження з'ясовано, що можливості інтегративного вивчення матеріалу про фундаментальні взаємодії у природі, підкреслюють їх фундаментальні 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.

Висновок. Системно-інтегративний підхід до вивчення фундаментальних взаємодій у природі дає можливість інтерпретувати фундаментальне значення різниці між далекодіючими і близькодіючими силами природи: з одного боку – взаємодії необмеженого радіуса дії (гравітація і електромагнетизм), а з іншого – малого радіуса (сильна і слабка). Цим й демонструється, 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 «середньому» 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.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: інтеграція, наукова картина світу, фундаментальні взаємодії, світові константи, теорії об'єднання.

ВСТУП

Постановка проблеми. Освітньо-професійна програма (ОПП) з підготовки майбутніх учителів-магістрів до викладання основ природничих наук включає, зокрема, такі навчальні дисципліни як «Загальний курс фізики», «Теоретична фізика», «Астрономія», «Теоретична астрофізика», «Основи космології та космогонії», «Хімія» тощо.

Орієнтуючись на нинішні тенденції щодо спрямування освітнього процесу у суб'єктів навчання цілісного образу оточуючого світу, методисти все частіше звертають увагу на розробку інтегративних підходів до побудови різних моделей навчальної діяльності (Мартинюк & Декарчук, 2013).

Спираючись на системний підхід, «цілісний образ світу» у сучасній термінології втілюється у концепції «сучасної наукової картини світу», яка розглядається як платформа для інтеграційних процесів в освіті (Арцишевський & Шоломицька, 2004). Одним з визначень наукової картини світу (НКС) є її розуміння як найвищого рівня узагальнення і систематизації всієї сукупності знань, накопичених людством у процесі його історичного розвитку (Краснобокий & Ткаченко, 2019; Краснобокий & Ткаченко, 2020). Іншими словами, НКС можна розглядати як універсальну, складну, ієрархічну систему, яка, згідно системного аналізу, складається з підсистем і елементів – взаємозалежних і певним чином взаємодіючих між собою як у рамках конкретної підсистеми, так і з елементами інших підсистем (Ткаченко & Краснобокий, 2020).

Підсистемами універсальної НКС (УНКС) є загальнонаукові картини світу (ЗНКС), у яких акумулюються (об'єднуються) знання з наук (навчальних дисциплін) за спорідненими або близькими предметами дослідження (вивчення), наприклад: природничо-наукова картина світу (ПНКС), суспільно-політична картина світу (СПКС), геолого-географічна картина світу (ГГКС), мовно-демографічна картина світу (МДКС), інформаційно-синергетична картина світу (ІСКС) та ін. Можна вважати, що підсистеми УНКС, тобто ЗНКС, у свою чергу складаються з елементів – конкретно-наукових картин світу (КНКС), тобто картин світу конкретних наук (дисциплін) (Арцишевський & Шоломицька, 2004; Краснобокий & Ткаченко, 2020; Краснобокий, Ткаченко & Декарчук, 2020;). Наприклад, ПНКС складається з низки фізичних, біологічних, хімічних наук, у рамках яких формуються відповідно фізична, біологічна та хімічна картини світу (Краснобокий & Ткаченко, 2019).

Оскільки перераховані вище в ОПП науки описують явища і процеси в неживій природі, ми виокремлюємо з ПНКС один її елемент – фізичну картину світу (ФКС), і намагаємося 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. Виклад матеріалу здійснюється шляхом формування проблем сучасної фізичної науки і можливих шляхів їх вирішення.

Разом з цим намагаємося досягти усвідомлення студентами того факту, що у процесі руху шляхом 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 деталей їх поведінки поки що залишаються незрозумілими.

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

Інтегруючи таким чином навчальний матеріал з фізики, астрономії, астрофізики, космології, космогонії, намагаємося сформулювати у студентів уявлення про величезний і складний Всесвіт у вигляді сукупності невеликого числа елементарних частинок, які можуть взаємодіяти лише кількома способами і підкорятися невеликій кількості фундаментальних законів.

Таким матеріалом, який в тій чи тій мірі передбачається у циклі дисциплін фундаментальної підготовки (ФП) магістрів природознавства і дозволяє 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 (Ткаченко & Краснобокий, 2017; Ткаченко & Краснобокий, 2019). У порядку зростання їх інтенсивності ці взаємодії представляються наступним чином: гравітаційна, слабка, електромагнітна, сильна.

Сучасна наука вважає, що властивості матерії в масштабах від атомів до зірок визначаються цими взаємодіями, що саме ці взаємодії в кінцевому рахунку відповідають за всі зміни в природі, саме вони є джерелом всіх перетворень матеріальних тіл і процесів (Розенталь, 1980). Теоретична і експериментальна розробка цієї проблематики на даний час є переднім краєм фундаментальної науки, що актуалізує її вивчення в закладах освіти. Це й спонукало авторів до пошуку можливих варіантів інтегрованої подачі цього матеріалу.

Аналіз актуальних досліджень. Проблема інтеграції наук і їх імплементації у навчальні дисципліни не є зовсім новою. Давно вже склалися такі науки як астрофізика, біофізика, фізична хімія, агрофізика, біомеханіка та ін., а відповідні навчальні предмети твердо посіли свої місця в навчальних планах і логічно вписалися в систему підготовки відповідних спеціалістів. Проте, проблеми пошуку шляхів методико-методологічного удосконалення змісту навчання що у ЗВО, що у школах відносяться до таких, які постійно залишаються актуальними, насамперед у зв'язку з постійним накопиченням нової інформації і динамікою змін соціального досвіду, які і є глобальним джерелом змісту освіти.

За сучасних умов багатоканальності інформації особливого значення набуває інтегративний зміст підручників з точних (фундаментальних) наук, у яких має відобразитися освітня галузь «Природознавство». Із пасивного носія інформації такий підручник перетворюється в активну дидактичну систему, яка сприяє формуванню природничо-наукового стилю мислення, специфічної термінології, уніфікованих наукових конструкцій та забезпечує студенту можливість самоконтролю набутих знань.

Розробці загальних питань інтеграційних процесів в освіті, і зокрема у природничо-науковій, присвячені роботи як вітчизняних (С. Гончаренко, К. Гуз, В. Ільченко, О. Ляшенко, М. Мартинюк), так і зарубіжних (І. Александрова, А. Гуревич, В. Разумовський) педагогів. Теорію і практику наповнення структурних побудов шкільних курсів фізики і астрономії розробляли О. Бугайов, С. Гончаренко, Ю. Дік, І. Климишин, К. Краєвич, І. Крячко, М. Мартинюк, Л. Резніков та ін.

Концептуальні основи інтеграції змісту природничо-наукової освіти представлені в роботах М. Арцишевської (Арцишевська, 2000), Т. Засєкіної (Засєкіна, 2011), В. Ільченко, К. Гуз (Ільченко & Гуз, 2002), М. Мартинюка (Мартинюк, 2013), А. Суханова, О. Голубєвої (Суханов & Голубєва, 2011) та ін.

Методико-методологічні засади впровадження моделей інтегрованого навчання на даний час розробляються М. Арцишевською (Арцишевська, 1988), Ю. Бекетовим (Бекетов, 2014), М. Мартинюком (Мартинюк, 1988), а також авторами даної статті (Краснобокий, Ткаченко & Ільницька, 2018; Ткаченко & Краснобокий, 2017; Ткаченко & Краснобокий, 2019; Ткаченко & Краснобокий, 2020).

Проблемам методичного забезпечення системи інтегрованого навчання (зокрема змісту відповідних підручників) присвячені роботи Т. Засєкіної (Засєкіна, 2011), В. Ільченко, К. Гуз (Ільченко & Гуз, 2002), Т. Типовця (Типовець, 2012), авторські роботи (Краснобокий & Ткаченко, 2018; Ткаченко & Краснобокий, 2019).

Сучасна освіта орієнтується на комплексні підходи щодо організації діяльності всіх її ланок – інформаційний, синергетичний, системний. За цього вважається, що однією з найважливіших засад, провідною тенденцією подальшого розвитку освіти і ядром її інтеграції має стати формування сучасної НКС. Оскільки лише на цій основі можливе науково обґрунтоване моделювання змісту сучасної освіти (Арцишевський & Шоломицька, 2004), то ця вимога висуває насамперед потребу у науково-теоретичній розробці структури самої НКС.

Ці проблеми знаходять своє відображення у дослідженнях низки вчених – педагогів, філософів, суспільствознавців тощо. До таких досліджень можна віднести роботи А. Аверьянова (Аверьянов, 1985), Р. Арцишевського, Т. Шоломицької (Арцишевський & Шоломицька, 2004), В. Литавар (Литавар, 2012), Г. Рузавіна (Рузавин, 1988) та роботи авторів (Краснобокий & Ткаченко, 2019; Краснобокий & Ткаченко, 2020; Краснобокий & Ткаченко, 2019; Краснобокий, Ткаченко & Декарчук, 2020; Ткаченко & Краснобокий, 2019; Ткаченко & Краснобокий, 2020). У цих роботах розкриваються системний аналіз, синергетичний та інформаційний підходи і їх інтеграція в процесі формування ПНКС.

Метою пропонованої статті є спроба продемонструвати можливість інтеграції навчального матеріалу з циклу фундаментальних дисциплін на прикладі формування і розвитку теорій фундаментальних взаємодій у природі та їх об'єднання в єдину НКС.

Об'єкт дослідження складає освітній процес з підготовки майбутніх учителів природничих наук.

Предмет дослідження: методика вивчення фундаментальних взаємодій у природі.

Оскільки єдність, яка виявляється за системно-інтегративного підходу до науки полягає у встановленні зв'язків і відношень між різними за складністю організаціями, рівнем пізнання і цілісністю охоплення концептуальними системами, за допомогою яких саме й відображається накопичення і розвиток нашого знання про природу у формі НКС, то саме такий підхід було обрано для дослідження проблематики статті. Він полягав у застосуванні методів аналізу і синтезу результатів відповідних публікацій у науково-педагогічних виданнях та авторських наробок з експериментального їх впровадження в освітню практику.

Завдання статті:

- обґрунтувати системно-інтегративний підхід до вивчення матеріалу про фундаментальні взаємодії в природі;
- сформулювати концептуальні засади, на яких ґрунтуються сучасні уявлення про структуру і єдність Всесвіту;
- описати якісну характеристику фундаментальних взаємодій між структурними елементами матеріального світу;
- здійснити напівкількісний порівняльний аналіз фундаментальних взаємодій та з'ясувати вплив можливих змін числових значень констант, які їх описують, на еволюцію Всесвіту;
- здійснити якісний огляд процесу формування та сучасного стану теорій, які намагаються об'єднати всі фундаментальні взаємодії в єдину систему (НКС).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз програм перерахованих навчальних дисциплін дозволяє сформулювати кілька методологічних концептів, які ми покладаємо в основу інтеграції відповідного матеріалу, а саме:

- існує об'єктивний фізичний світ до і незалежно від людини і її свідомості;
- сучасна фізична наука постулює наявність трьох якісно відмінних структурних рівнів світу фізичних елементів: мікро-, макро- і мегарівнів;
- визнання схеми ієрархічної ступінчастої будови матерії, яка пов'язана з визнанням існування відносно самостійних і стійких рівнів, «вузлових точок» у ланцюзі ділення матерії; згідно з цією схемою дискретні об'єкти певного рівня матерії, вступаючи у специфічні взаємодії, слугують вихідними (початковими, первинними) для утворення і розвитку принципово нових типів об'єктів з іншими властивостями і формами взаємодії;
- у процесі еволюції число взаємопов'язаних рівнів матерії зростає, а її об'єкти стають все більш багаторівневими; об'єкти кожного наступного рівня виникають і розвиваються в результаті інтеграції (об'єднання) і диференціації певних множин об'єктів попереднього рівня;
- структура процесу пізнання не є незмінною – якісному різноманіттю природи повинне відповідати й різноманіття способів її пізнання;
- фізична теорія повинна містити в собі не лише засоби для опису поведінки пізнаваних об'єктів, але й засоби для опису умов пізнання;
- основою пізнання є експеримент – безпосередня матеріальна взаємодія між засобами дослідження суб'єкта і об'єктом.

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.

У процесі викладання відповідного матеріалу 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 – малу 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.

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 тілах. 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 (Мизнер & Торн, 1977; Уилер, 1962).

Що ж до природи гравітаційної взаємодії, то поки що послідовної квантової теорії гравітації 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 і спіном, рівним 2) (Бронников & Рубин, 2010).

Квантування гравітації підводить до уявлення про дискретність властивостей простору-часу, понять елементарної довжини (кванта простору $l \approx 10^{-35}$ м) і елементарного часового інтервалу (кванта часу $t \approx 10^{-44}$ с) (Григорьев, 1987).

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 (Найдыш, 2004).

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. (Тут доречно ведеться мова 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 та ін.

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 *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 «вносить» з собою недостаючу в розрахунках енергію (Паулі, 1962). Ця частинка нейтральна і має надзвичайно високу проникну здатність, завдяки чому її не вдавалося спостерігати (виявити). Е. Фермі назвав цю частинку «*нейтрино*» («нейтрончик»).

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.

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 (Карпенков, 2003).

Інтегративний зміст матеріалу про слабку взаємодію полягає в тому, що вона відіграє в природі дуже важливу роль. Вона проявляється у термоядерних реакціях на Сонці, у зорях, забезпечує синтез пульсарів, вибухів наднових зірок, синтез хімічних елементів у зірках тощо. А ці питання розглядаються як у фізиці, так і в астрономії, астрофізиці, хімії тощо.

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».

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.

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

Яка ж роль фундаментальних взаємодій і значення їх констант у сучасному розумінні структури Всесвіту і його еволюції?

Переважає більшість *фізичних констант* мають розмірності, які залежать від вибору системи одиниць відліку. У різних системах відліку основні одиниці мають різні числові значення і розмірності. Такий стан не завжди влаштовує науку, оскільки зручніше мати безрозмірні константи, які не пов'язані з умовним вибором вихідних одиниць і систем відліку. Особливо важливої ролі такий підхід набуває за спроб створити загальний (цілісний) теоретичний опис всіх фізичних процесів, тобто, іншими словами, сформулювати уніфіковану (універсальну) НКС від Мікро- до Мегарівня. Виявляється, що тут основну, визначальну роль повинні відігравати безрозмірні фундаментальні, тобто «істинно» *світлові*, константи (Гусейнов & Раджабов, 2007):

– константа гравітаційної взаємодії

$$\alpha_g = \frac{Gm_p^2}{\hbar c} \approx 5,8 \cdot 10^{-39}; \text{ (Каплан \& Дибай, 1976)}$$

– константа слабкої взаємодії

$$\alpha_w = \frac{g_F m_p^2 c}{\hbar^3} \approx 10^{-5}; \text{ де } g_F \approx 10^{-62} \text{ Дж}\cdot\text{с} \text{ – константа Фермі; (Розенталь, 1980)}$$

– константа електромагнітної взаємодії

$$\alpha_e = \frac{e^2}{\hbar^2 c} \approx \frac{1}{137,036} \approx 7,3 \cdot 10^{-3} \text{ (Каплан \& Дибай, 1976)}$$

– константа сильної взаємодії

$$\alpha_s = \frac{g_s}{\hbar c} \approx 1, \text{ (Каплан \& Дибай, 1976), де } g_s \text{ – кольоровий заряд. (Горбачев, 2003).}$$

У цих формулах: e – заряд електрона; c – швидкість світла; m_p – маса протона; \hbar – зведена стала Планка ($\hbar = h / 2\pi$); G – гравітаційна стала; індекс « s » від англійського слова «strong» – сильний; індекс « w » від англійського слова «weak» – слабкий.

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.

За 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 званому «*тонкому 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?» (Каплан & Дибай, 1976).

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 $0,5 \text{ MeV}$ до $0,9 \text{ MeV}$ 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.

Виявляється, що інтервал можливих значень цих констант, який забезпечує для нас світ, придатний для життя, дуже малий. Зокрема, вченими прораховано, що послаблення на кілька порядків константи сильної взаємодії призвело б до того, що на ранніх стадіях розширення Всесвіту утворювалися б, в основному лише важкі елементи, і у Всесвіті не було б джерел енергії. Якби на кілька порядків була меншою гравітаційна взаємодія, то не реалізувалися б умови для перебігу ядерних реакцій у зорях (через неможливість необхідного для цього процесу їх гравітаційного стиснення). Посилення слабкої взаємодії перетворило б на ранніх стадіях еволюції Всесвіту всю речовину в гелій, а отже, знову ж таки були б відсутні реакції термоядерного синтезу в зорях. Посилення на кілька порядків електромагнітної взаємодії призвело б до зростання електростатичного притягання між електронами і протонами, в результаті чого електрони поглинулися б ядрами атомів, що призвело б до неможливості хімічних перетворень і реакцій.

Залежність властивостей Всесвіту від значень світових констант демонструємо ще й на таких прикладах. Якщо б маса електрона була у 3-4 рази більшою від нинішнього її значення, то час існування нейтрального атома водню обчислювався б кількома днями. А це призвело б до того, що галактики і зорі склалися б переважно із нейтронів, тож різноманіття атомів і молекул у їх сучасному вигляді просто не існувало б.

Розрахунки показують, що сучасна структура Всесвіту дуже жорстко зумовлена величиною $\Delta m = m_n - m_p$, тобто різницею в масах нейтрона і протона. І хоч ця різниця дуже мала (всього біля 10^{-3} маси протона), проте, якби вона була лише утричі більшою, то у Всесвіті не відбувався б нуклеосинтез і в ньому не було б складних елементів.

Константа електромагнітної взаємодії також не може суттєво відхилитися від значення $1/137$. Якби, наприклад, вона була рівна $1/80$, то всі частинки, які мають масу спокою, анігілювали б і Всесвіт складався б лише з безмасових частинок (на зразок фотонів). Тому їй і «дозволено» мати значення лише в межах $1/170 < \alpha_e < 1/80$.

Що ж до зміни константи гравітаційної взаємодії – зменшення її значення на 8-10 % показує, що галактики і зорі взагалі не встигли б виникнути до нашого часу; збільшення ж її значення на 8-10 % навпаки – означає надто швидку еволюцію зірок.

Таким чином, «класичні» розмірні фундаментальні сталі відіграють визначальну роль у структурі окремих фізичних теорій. З них формуються «світові» безрозмірні константи єдиної теорії взаємодій – $\alpha_g, \alpha_w, \alpha_e, \alpha_s$. Ці константи, а також деякі інші величини (наприклад: $e, m_e, m_p, \Delta m, e / m_e$), а також розмірність простору N визначають структуру Всесвіту і його властивості.

Зокрема, теоретично доведено, що у просторі N вимірів точкові джерела взаємодіють з силою $F \sim 1/r^{N-1}$, де r – відстань між джерелами. За цього стабільний рух двох тіл, що взаємодіють за цим законом, вже стане неможливим за значень $N > 3$. Ще у 20-ті роки ХХ ст. П. Еренфест показав (Мороз, 1984), що якби число просторових координат N дорівнювало чотирьом, то не змогли б сформуватися замкнуті орбіти планет, а отже, не існувало б Сонячної системи й людини. За значень $N = 4$ неможливою також була б атомна структура речовини. За значень $N < 2$ рух можливий лише в обмеженій області. Лише за $N = 3$ можливі як фінітні, так і інфінітні рухи, що власне й реалізується у спостережуваному Всесвіті. Нарешті, можна ще відзначити, що якби початкова швидкість розширення Всесвіту була б хоч на 0,1 % меншою від критичної швидкості розширення, то Всесвіт досяг би лише третини свого теперішнього радіуса, після чого він знову почав би стискатися.

Відповіді ж на питання, яка ж структура і властивості Всесвіту, криються у теоріях, які намагаються об'єднати в єдиний механізм всі чотири фундаментальні взаємодії.

У другій половині ХХ ст. проводилися інтенсивні пошуки можливого об'єднання електромагнітної, слабкої і сильної фундаментальних взаємодій. У результаті експериментальних досліджень взаємодій елементарних частинок на надпотужних прискорювачах було виявлено, що за великих енергій зіткнення протонів – біля 100 GeV – слабка і електромагнітна взаємодії не розрізняються – їх можна розглядати як єдину *електрослабку взаємодію*. Таку електрослабку взаємодію було теоретично передбачено американськими фізиками С.Вайнбергом і Ш.Глешоу та пакистанським фізиком А.Саламом, за що вони були удостоєні Нобелівської премії з фізики у 1979 році. У відповідності з цією теорією за електрослабку взаємодію відповідають частинки – кванти електрослабкого поля – *бозони W^\pm і Z^0* . Підтвердження ця теорія отримала, коли у 1983 році К. Руббіа і С. ван дер Меєром ці частинки були виявлені експериментально (Нобелівська премія з фізики 1984 року). Суттєвої подальшої розробки теорія електрослабкої взаємодії отримала в працях нідерландських вчених Г.Хуфта (Хоофта) і М.Вельмана (Нобелівська премія з фізики 1999 року).

Після того, як була створена єдина теорія електрослабкої взаємодії, з'явилася реальна перспектива побудови теорії трьох (крім гравітаційної) взаємодій. Ця програма отримала назву «*Великого об'єднання*». Для цього потрібна була детальна розробка теорії сильної взаємодії. Створенню цієї теорії слугував той факт, що, як виявилось, протони і нейтрони в ядрах атомів у свою чергу складаються ще з менших частинок – *кварків* (М.Гелл-Манн, Нобелівська премія з фізики 1969 року). Тому дослідження перемістилися в область вивчення взаємодій між кварками і нуклонами. Виявилось, що взаємодія між нейтронами і протонами у ядрі являє собою залишковий ефект від більш потужної взаємодії між самими кварками. Це пояснило, чому сильна взаємодія є такою складною і чому кварки у вільному стані не спостерігаються. Коли протон «прилипає» до нейтрона або до іншого протона, то у взаємодії беруть участь б кварків, кожен з яких взаємодіє зі всіма рештою. Значна енергія цієї взаємодії витрачається на міцне «склеювання» кварків у дві трійки, а невелика решта енергії йде на скріплення цих трійок між собою. Отже, кварки скріплюються між собою внаслідок сильної взаємодії. Переносниками (квантами) останньої є *глюони (від англ. glue – клей) («кольорові» заряди)*. Область фізики елементарних частинок, яка вивчає взаємодію кварків і глюонів, носить назву *квантової хромодинаміки*. Тож у відповідності з квантовою хромодинамікою сильна взаємодія пов'язується з існуванням квантів міжнуклонного поля – глюонів. Деякі автори глюонну взаємодію вважають п'ятою фундаментальною взаємодією [О.Ф.Ліхін, 2006].

У подальших дослідженнях виявилось, що за енергії $10^{14} - 10^{16} \text{ GeV}$, яка відповідає відстані між частинками 10^{-31} м , сильна, слабка і електромагнітна взаємодії описуються єдиною константою, тобто вони мають спільну природу. Кварки і лептони за цього практично не розрізняються, а глюони, фотони і векторні бозони W^\pm і Z^0 є квантами калібрувальних полів з єдиною калібрувальною симетрією. І якщо дійсно електрослабка і сильна взаємодії являють собою лише дві сторони *Великої єдиної взаємодії*, то їй також повинне відповідати калібрувальне поле з деякою складною симетрією. Термін «складна» означає, що вона має бути достатньо загальною, здатною охопити всі калібрувальні симетрії, які містяться як у квантовій хромодинаміці, так і в електрослабкій взаємодії. Мова йде про необхідність залучення абстрактних калібрувальних симетрій, через які відкриваються нові типи силових полів, що характеризуються новими властивостями, наприклад, здатністю перетворювати кварки в лептони.

Вважається, що глюони з'єднують і утримують кварки всередині протонів і ядер. Ні глюонів, ні кварків безпосередньо спостерігати поки що не вдавалось, тому що їм «заборонено» вилітати із ядер назовні, подібно як *фони* – кванти теплових коливань кристалічної ґратки – існують лише всередині твердих тіл. Ця властивість зв'язування, або

утримання глюонів і кварків в *адронах* називається *конфайментом*. Було помічено, що одиничний кварк, який з'являвся за певних процесів, майже миттєво (протягом 10^{-21} с) «прилаштує» себе до адрона і вилетіти з нього вже не може.

У 1969 р. вдалося отримати опосередковані докази існування кварків у серії експериментів (подібних до експериментів Резерфорда по розсіюванню α -частинок на ядрах атомів) по розсіюванню електронів (розігнаних до високих енергій) на протонах. Експеримент виявив, що розсіювання електронів відбувалося так, неначе електрони налітали на крихітні тверді вкраплення і відскакували від них під самими найрізноманітнішими кутами. Таким чином було висловлене впевнення, що цими «твердими» вкрапленнями в середині протонів є кварки. Але оскільки з часом кількість кварків зростала, деякі вчені почали висувати сумніви: чи не складаються самі кварки з ще менших частинок? (Найдыш, 2004).

«Старе» питання знову стало «новим» і поставило низку проблем перед дослідниками: що таке частинка і яке співвідношення між реальними і віртуальними її станами? коли частинка починає проявляти властивості хвилі, і чи можна зареєструвати цей момент сучасними приладами?

Розроблений натепер найпростіший варіант теорії Великого об'єднання для перетворення кварків у лептони вимагає наявності 24-х полів. Причому, 12 квантів цих полів уже відомі: фотон, дві W^{\pm} -частинки, Z^0 -частинка і вісім глюонів. У якості решти 12-ти квантів теорією передбачаються нові надважкі проміжні бозони, яким присвоїли об'єднану назву X - і Y - частинки – вони мають «колір» і електричний заряд. Ці кванти відповідають полям, які підтримують більш широку калібрувальну симетрію і здатні «перемішувати» кварки з лептонами. Тобто, X - і Y - частинки можуть перетворювати кварки в лептони і навпаки (Найдыш, 2004).

Таким чином, нова теорія породила нові проблеми: для переконання в можливості таких взаємодій, а отже й у справедливості теорії Великого об'єднання, необхідне експериментальне підтвердження наявності у природі X - і Y - бозонів. На даний час важко передбачити найближчу можливість одержання частинок таких високих енергій. Сучасні прискорювачі ледь досягають енергій 100–200 *GeV* (після реконструкції Великого адронного колайдера у 2022 році планується довести його енергетичну потужність до $14 \cdot 10^{12}$ *eV*) у той час як теорія Великого об'єднання вимагає енергії частинок вище 10^{14} – 10^{16} *GeV*.

Без експериментальної доказовості теорії Великого об'єднання неможливо описати ранню стадію еволюції Всесвіту, коли температура первинної плазми сягала 10^{27} *K*, адже саме за таких умов могли народжуватися й анігілювати надважкі бозони X і Y .

Але об'єднання трьох із чотирьох фундаментальних взаємодій – це ще не цілісна всеохоплююча теорія. Адже залишається ще *гравітація*. Теоретичні схеми, в рамках яких об'єднуються всі чотири типи взаємодій, називаються моделями «*Супергравітації*».

Об'єднання взаємодій у єдиній теоретичній схемі необхідне для усунення наявних в окремих теоріях розбіжностей і аномалій. Цю проблему породило визначення елементарних частинок як певних точок і спотворення ними простору-часу. Тому таке об'єднання стали шукати з висуненням ідей і теорій більш високих симетрій. Одну з таких теорій – «*теорію суперструн*» – почали розвивати англійський учений М. Грін і американський – Дж. Шварц. Вони співставили частинкам, замість точок, одномірну струну, розміщену у N -мірному просторі. Ця теорія, замінивши точкові частинки крихітними енергетичними петлями, усунула низку абсурдних результатів, які виникали в розрахунках (Саскінд, 2016). Проте, ці теорії, як виявляється, теж вимагають наявності певного тонкого налаштування. Хоча *ландшафт* теорії струн одночасно задає весь набір фізичних констант, у тому числі й характеристик елементарних частинок, однак існує проблема вибору і обґрунтування вибору саме того ландшафту, який повністю описуватиме наш Всесвіт. Ця проблема отримала назву «*проблеми ландшафту*» (Саскінд, 2016).

Відповідно до теорії суперструн, фундаментальним об'єктом сучасної фізики є квантоване суперструнне поле, збудженнями якого є суперструни, що взаємодіють одна з одною і з вакуумом (виникають і поглинаються в ньому). Струни, у свою чергу, породжують елементарні частинки. Фізичний вакуум породжує віртуальні частинки, які своєю масою створюють додаткове поле тяжіння. Згідно із ЗТВ у цьому ж місці і в той же момент часу змінюються геометричні властивості простору-часу, тобто він флюктує. Згідно з цією моделлю – *гравітон* – це квант флюктуючого простору-часу, який поєднує в собі і частинку і хвилю викривлення, яка поширюється у чотирьохмірному просторі Всесвіту. Розрахунки показують, що такі ефекти могли проявлятися у ранні моменти існування Всесвіту, коли простір-час був дискретним,

квантованим, що відповідає параметрам «ери Планка»: відстані $l_{\text{П}} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 1,5 \cdot 10^{-35}$ м; часові $t_{\text{П}} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} \approx 5 \cdot 10^{-44}$ с; масі $m_{\text{П}} = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \approx 2 \cdot 10^{-8}$ кг.

Отже, у моделі суперструн в якості елементарної основи Всесвіту слугують уже не фундаментальні частинки, а елементарні процеси – коливання нескінченно довгих струн з надзвичайно малим розміром поперечного діаметра струни. За оцінками теоретиків товщина струни складає 10^{-31} м, а її «погонна маса» (маса, яка припадає на одиницю довжини) дорівнює 10^{21} кг/м, тобто такі нескінченно протяжні об'єкти є надто тонкими і дуже важкими. За цього можуть виникати резонанси коливань різних струн, вихори у просторі, що пов'язуються з певною ритмікою Космосу, циклічними процесами у Всесвіті, які впливають й на всі процеси на Землі (Горбачев, 2003).

Такий збіг предмета досліджень змінив сформовану раніше методологію науки. Так, астрономія вважалася спостережною наукою, а прискорювачі – інструментом у фізиці елементарних частинок. Тепер же стали складатися уявлення про властивості частинок і їх взаємодії у космології.

Це незвичайне зближення космології і фізики елементарних частинок дало можливість з'ясувати сутність процесів народження простору-часу і речовини за короткий інтервал часу від 10^{-43} до 10^{-35} с після первинної сингулярності, що отримала назву *Великий вибух*.

Космічні струни – це екзотичні невидимі утворення, які породжені *теорією елементарних частинок*. У цій теорії відображена ієрархічність розуміння світу, тобто, можливість того, що не існує остаточної (кінцевої) основи для фізичної реальності, а є лише нескінченна послідовність все менших і менших частинок.

На основі теорії суперструн можна пояснити «клочкуватість» розподілу речовини у Всесвіті. Суперструни – це нитки, які залишилися від речовини шойно «народженого» Всесвіту. Вони неймовірно рухливі і щільні, викривляють простір навколо себе, утворюють клубки і петлі. Зокрема, масивні петлі можуть створювати гравітаційне притягання, достатньо сильне, щоб зароджувалися елементарні частинки, атоми, галактики і скупчення галактик.

Теорія суперструн призводить до деяких нетривіальних наслідків. Так, серед породжених струнами елементарних частинок, повинні бути гіпотетичні частинки *тахіони*, що рухаються зі швидкостями більшими за швидкість світла. Наслідком цієї теорії є також пояснення «тіньового світу», тобто відкритого астрономами факту, що галактики і скупчення галактик містять велику масу невидимої речовини, яка в десятки разів перевершує масу самих галактик. Одним з важливих космологічних наслідків теорії суперструн є також передбачення *множинності всесвітів*, у кожному з яких існує свій набір фундаментальних взаємодій.

З теорії космічних струн (суперструн) опубліковано багато робіт, але самі вони до цих пір експериментально не виявлені. Виявити суперструни вважається можливим за викривленням простору, яке вони викликають, діючи як гравітаційна лінза, або за гравітаційними хвилями, які вони генерують.

У зв'язку з теорією «Єдиного фізичного поля» розглядається й можливість існування кванта цього єдиного просторово-часового поля. Цей квант позначають буквами *st* і називають («space-time») – квантом: $st = \hbar^2 G / c^7 \approx 10^{-138} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$. Якщо *st*-квант дійсно існує, то це призводить до цікавих висновків: у «об'ємі» *st*-кванта порушуються причинно-наслідкові зв'язки. Події, які відбуваються в *st*-кванті, можуть бути розтягнуті в часі, але стиснуті в просторі і навпаки. На рівні *st*-кванта простір-час постійно «творить» сам себе із змінюваними в кожному акті творення топологією, фізичними властивостями і законами з причини невизначеності самого простору-часу. Такі спонтанні флуктуації простору-часу можуть призводити до порушення закону збереження енергії. Висловлюються думки, що в ці особливі моменти, мабуть, і відбувся Великий вибух, і що може існувати безліч віртуальних Всесвітів (Горбачев, 2003).

Гіпотеза про квантування простору-часу призвела до наступного припущення про існування «комірок» простору-часу з мінімально можливою довжиною, що дорівнює *відстані ери Планка*. Згідно з цією гіпотезою ступінь впливу квантування простору на поширення крізь нього світла, залежить від розмірів комірки. Спостереження за надпотужним спалахом одного з пульсарів (розташованого на відстані 300 мільйонів світлових років від Землі) за допомогою європейського космічного телескопу «Integral» показали, що якщо «зернистість» (дискретність) простору взагалі існує, то вона повинна бути на рівні 10^{-48} м , або й менше (Уилер, 1962).

Сучасна наука розробила новий погляд на природу фізичних об'єктів, який можна характеризувати як *цілісно-синергетичний*. Основним об'єктом вивчення науки стає єдиний неподільний самоорганізовуваний Всесвіт, що й визначає необхідність інтегративного підходу до з'ясування явищ і процесів, які в ньому відбуваються. На даний час фізики та астрофізики все більше схиляються до думки, що конкретно-всезагальною частиною Всесвіту є *вакуум*, який забезпечує Всесвіту самоорганізовані процеси його еволюції. Це, зокрема, відображається у визначальній ролі вакууму у сучасних фізичних та астрофізичних теоріях. Виділеність вакууму, його особлива роль у космологічних процесах виникнення і розвитку фізичного світу дозволяє розглядати його в якості вихідної абстракції у теоретичній астрофізиці. Саме фізичний вакуум бере безпосередню участь у формуванні як якісних, так і кількісних властивостей фізичних об'єктів.

Останнім часом вакууму приписують особливий вид коливань (частинок) – «*інстантонів*», які призводять до спонтанного збудження і загасання сильного глюонного поля. Для математичного опису інстантонів використовують формальний прийом, який призводить до важливої фізичної аналогії. Доведено, що поширення інстантонних флуктуацій, яке є квантовим явищем, можна описувати як класичний рух, якщо час вважати *уявним* параметром.

Виявилось, що такі «псевдочастинки» можуть бути різних типів; не всі з них детально вивчені, проте, вже урахування відомих псевдочастинок-інстантонів призводить до важливих фізичних явищ.

Наприклад, за поміщення кварків у середину газу (або рідини) з таких псевдочастинок (іншими словами, при розгляді кварків у вакуумі) ці псевдочастинки «стискають» глюонне поле кварків і зосереджують його у струноподібній області, що може призводити до так званого «плетення» кварків і відігравати суттєву роль у сильній взаємодії.

Інше застосування ідея інстантонів знаходить у теорії гравітації. Завдяки зародженню гравітаційних інстантонів простір набуває складної топологічної структури – він виявляється зритим «*кротовими норами*» та іншими топологічними утвореннями. Така просторово-часова «піна» призводить до незвичних наслідків і повинна відігравати важливу роль у майбутніх спробах об'єднання всіх фундаментальних взаємодій (Раджараман, 1985).

Таким чином, наука стоїть на порозі 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 розпадатися 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.

У сучасному природознавстві передбачається, що світові константи набули стабільних значень, починаючи з часу 10^{-35} с від моменту зародження Всесвіту і що, таким чином, у нашому Всесвіті неначе існує надто тонке «налаштування» числових значень світових констант, яке й обумовлює необхідні їх значення для існування ядер, атомів, зірок і галактик.

Як виникла і реалізувалася така ситуація – наука пояснити не може. Таке «налаштування» (константи саме такі, якими вони є!) створює умови для існування не лише неорганічних речовин, але й живих організмів, у тому числі й людини (Саскінд, 2016).

Особливу увагу цій проблемі приділяв відомий вчений П.Дірак (Нобелівська премія з фізики 1933 року) (Dirak, 1963). Він першим висунув гіпотезу про те, що розвиток Всесвіту супроводжується зменшенням значення гравітаційної сталої з часом. Дірак помітив, що відношення $\alpha_e/\alpha_g=10^{40}$. Таке ж число він отримав для відношення розміру нуклона до швидкості світла. Збіг цих відношень у вигляді безрозмірної величини 10^{40} з врахуванням віку Всесвіту (10^{17} с) й дозволив йому вважати, що коли вік Всесвіту збільшується, то, щоб збереглося значення константи 10^{40} , гравітаційна взаємодія має зменшуватися.

Дірак не вважав такий збіг і наявність константи 10^{40} випадковим. Адже такий збіг виявляється й в інших варіаціях фізичних параметрів, що описують Всесвіт. Наприклад, відношення розміру Метагалактики (10^{26} м) до розміру нуклона (10^{-14} м) теж дорівнює 10^{40} . Інший приклад – число важких частинок у Всесвіті

$$N = \frac{\pi c}{G m_p^2} \approx 10^{80}, \text{ тобто теж } (10^{40})^2 \text{ (Горбачев, 2003).}$$

Тому П. Дірак висловив ідею про синхронну зміну з часом всіх фундаментальних констант. Висунута П. Діраком гіпотеза про можливу змінюваність світових констант стала поштовхом до багаточисельних експериментальних досліджень, які показали з великою точністю, що ознаки зміни будь якої з констант протягом циклу розширення Всесвіту відсутні. Сумніви викликало лише відношення між масами електрона і протона через відсутність достовірних даних щодо їх стабільності. Проте, спостереження спектральних ліній поглинання у спектрі галактики, яка знаходиться на відстані 7 мільярдів світлових років від Землі, показали, що відношення мас електрона і протона 7 мільярдів років тому відрізнялося від теперішнього значення не більше, ніж на 0,00001% (Розенталь, 1980).

Загалом же можна вважати, що різноманіття і цілісність фізичного світу, його порядок і гармонія, передбачуваність і повторюваність формуються і управляються системою невеликого числа фундаментальних констант.

Отже, багато незвичного і несподіваного містить для пізнання фізичного світу та область, де Мікросвіт виявляється пов'язаний з Мегасвітом, ультрамале з ультравеликим, 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 ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Підсумовуючи інтегративний зміст матеріалу фундаментальних взаємодій у природі, звертаємо увагу студентів на фундаментальне 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 підвищує інтерес студентів до його освоєння, формує їх творче мислення, ініціює вибір ними таких тем курсових і кваліфікаційних робіт, підготовка яких супроводжується пошуком відповідей на ще не вирішені проблеми сучасної науки. Тому доцільно, на нашу думку, подальші дослідження спрямовувати на розробку методики інтегрованого вивчення й інших тем фундаментальних наук.

Список використаних джерел

1. Аверьянов А.Н. Системное познание мира. Москва, 1985. 263 с.
2. Арцишевська М.Р. Методологічні засади інтеграції змісту освіти. *Науковий вісник ВДУ: Філософські науки*. 1988. №10. С. 175-179.
3. Арцишевська М.Р. Суспільствознавча картина світу як теоретична основа інтеграції змісту шкільної освіти. *Шлях освіти*. 2000. №3. С. 16-20.
4. Арцишевський Р.А., Шоломицька Т.Я. Необхідність і можливість вироблення сучасної картини світу: зб.наук.праць. Суми, 2004. Вип. 3. С. 7-10.
5. Бекетов Ю.О. Інтеграція профільної, фундаментальної і гуманітарної підготовки 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.
6. Бронников К.А., Рубин С.Г. Лекции по гравитации и космологии. Москва: МГУ, 2010. 460 с.
7. Горбачев В.В. Концепции современного естествознания. Москва, 2003, 598 с.
8. Григорьев В.И. Квантование пространства-времени. Москва: БСЭ. 1987. С. 604-605.
9. Гусейнов М.К., Раджабов О.Р. Концепции современного естествознания. Москва, 2007. 540 с.
10. Засекіна Т.М. Концепція інтегрованого підручника з фізики й астрономії. *Проблеми сучасного підручника: зб.наук.праць*. Вип. 6 Київ: Педагогічна думка. 2017. С. 112-118.
11. Ильченко 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.

12. Ильченко В.Р., Гуз К.Ж. Концептуальні основи інтеграції змісту природничо-наукової освіти. Київ-Полтава, 2002. Вип.1. С. 7-56.
13. Інтегративний функціонально-галузевий підхід як чинник прогнозування і побудови моделей педагогічної природничо-наукової освіти: монографія /за ред. М.Т. Мартинюка, М.В.Декарчук. Умань: ФОРМ Жовтий О.О., 2013. 174 с.
14. Каплан С.А., Дибай Э.А. Размерности и подобие астрофизических величин. (§8.4. Космологическое начало мира. Изменяются ли мировые постоянные?). Москва: Наука, 1976. 398 с.
15. Карпенков С.Х. Концепции современного естествознания: учеб. для вузов. Москва, 2003. 488 с.
16. Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А. Методологічні засади формування змісту підручника інтегрованого характеру: зб.наук. праць Кам'янець-Подільського нац. ун-ту. Серія педагогічна. Вип. 24, 2018. С. 11-14.
17. Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А., Ільницька К.С. Підготовка вчителя освітньої галузі «Природознавство» (інтегрований підхід). *Фізика та астрономія в рідній школі*, 2018. №6(141). С. 17-22.
18. Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А. Проблемні питання викладання навчальної дисципліни «Наукова картина світу та її еволюція». *Publishing House "ACCENT"*. Sofia, Bulgaria, 2019. Pp. 249-261.
19. 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. Гжесян та ін. Конін-Ужгород-Київ-Херсон: Посвіт, 2020. С. 188-197.
20. Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А. Інформаційне середовище як матриця наукової картини світу. *Фізико-математична освіта*. Суми, 2019. Вип. 1 (19). С. 80-87.
21. Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А. Інтеграція наукового знання і наукова картина світу. *Cognium Publishing House*. Liverpool, 2020. Pp. 249-261.
22. Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А., Декарчук С.О. Сучасні наукові уявлення про природничо-наукову картину світу. *Фізико-математична освіта*. Суми, 2020. Вип. 1 (23). С. 52-56.
23. Литавар В.С. Системный подход как интегративный в образовательном процессе. *Проблемы и перспективы развития образования*. Пермь: Меркурий, 2012. С. 142-149.
24. Мартинюк М.Т. Вивчення фізики і астрономії в основній школі. Теоретичні і методичні засади: монографія. Київ, 1988. 274 с.
25. Мизнер Р., Торн К., Уилер Дж. Гравитация / пер.с англ. В.Б.Брагинского, Н.Д.Новикова. Москва: Мир, 1977. Т.1. 480 с.
26. Мороз О.П. Жажда истины (книга об Эренфесте). Москва: Знание, 1984. 192 с.
27. Найдыш В.М. Концепции современного естествознания: учебник. Москва, 2004. 630 с.
28. Паули В. К старой и новой теории нейтрино: сб. Теоретическая физика 20 века. Москва, 1962. 386 с.
29. Раджараман Р. Солитоны и инстантоны в квантовой теории поля / пер.с англ. А.М.Полякова. Москва, 1985.416 с.
30. Розенталь И.Л. Физические закономерности и численные значения фундаментальных постоянных. *Успехи физических наук*. 1980. Т. 131. Вып. 2. С. 239-256.
31. Рузавин Г.И. Системный подход и единство научного знания. *Единство научного знания*. Москва, 1988. С. 237-252.
32. Сасскинд Л. Космический ландшафт: Теория струн и иллюзия разумного замысла Вселенной. Питер, 2016. 448 с.
33. Суханов А.Д., Голубева О.Н. Концепция междисциплинарного естественнонаучного образования. *Физика в системе современного образования (ФССО-11)*: матер XI Междунар. Конф. Т.1. Волгоград: Перемена, 2011. С. 18-21.
34. Типовец Т.Е. Трудности составления междисциплинарных учебников и пути их преодоления в высшей школе. *Учебники естественнонаучного цикла в системе среднего и высшего образования*: матер. Междунар. науч.-практ.конф. Могилев: УО МГУ, 2012. С. 337-339.
35. Томилин К.А. Планковские величины. *100 лет квантовой теории. История. Физика. Философия*: Тр. междунар. конф. Москва: НИИ – Природа, 2002. С. 105-113.
36. 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.
37. 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.
38. Ткаченко І.А., Краснобокий Ю.М., Підгорний О.В. Умови та засоби впровадження системи інтегративної природничо-наукової освіти. *Сучасні тенденції розвитку освіти і науки в інтердисциплінарному контексті*: матер. IV Міжнародної наук.-практ.конф. Варшава-Ужгород, Херсон: Посвіт, 2019. С. 277-279.
39. Ткаченко І.А., Краснобокий Ю.М. Роль і місце астрофізичних знань в ОПП підготовки магістрів освітньої галузі «Природознавство». *Perspectives of world science and education : the 4th international scientific and practical conference (December 25-27, 2019)* CPN Publishing Group, Osaka, Japan, 2019. 1021 p. Pp. 860-868.
40. Ткаченко І.А., Краснобокий Ю.М. Системний підхід у вивченні природничих наук. *Розвиток сучасної освіти і науки: результати, проблеми, перспективи*: матер. IX Міжнар. наук.-практ. конф. Т. IX. Конін-Херсон-Київ: Посвіт, 2020. С. 244-246.
41. 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.
42. Ткаченко І.А., Краснобокий Ю.М. Інтеграція знань з природничо-наукових дисциплін у світлі компетентнісної парадигми освіти. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кропивницький, 2020. Вип. 13. С. 100-107.
43. Уилер Дж.А. Гравитация, нейтрино и Вселенная / пер. с англ. Москва, 1962. 404 с. <https://uk.wikipedia.org/wiki>
44. Dirak P.A. The Evolution of Physicist's Picture of Nature. *Scientific American*. 1963. V. 208. Pp. 45-53.

References

1. Aver'janov, A.N. (1985). *Sistemnoe poznanie mira* [Systemic knowledge of the world]. Moskva [in Russian].
2. Artsyshevska, M.R. (1988) *Metodolohichni zasady intehratsii zmistu osvity* [Methodological principles of integration of educational content]. Lutsk [in Ukrainian].
3. Artsyshevska, M.R. (2000) *Suspilstvoznavcha kartyna svitu yak teoretychna osnova intehratsii zmistu shkilnoi osvity* [Sociological picture of the world as a theoretical basis for the integration of the content of school education]. [in Ukrainian].
4. Artsyshevskiy, R.A. & Sholomytska, T.Ia. (2004). *Neobkhdnist i mozhlyvist vyroblennia suchasnoi kartyny svitu* [The need and possibility of developing a modern picture of the world]. Sumy [in Ukrainian].
5. Beketov, Yu.O. (2014). *Intehratsiia profilnoi, fundamentalnoi i humanitarnoi pidhotovok u strukturi fakultetu transportnykh system* [Integration of profile, fundamental and humanitarian training in the structure of the faculty of transport systems]. Kharkiv [in Ukrainian].
6. Bronnikov, K.A. & Rubin, S.G. (2010). *Lekcii po gravitacii i kosmologii* [Lectures on gravitation and cosmology]. Moskva [in Russian].
7. Gorbachev, V.V. (2003). *Koncepcii sovremennogo estestvoznaniia* [Concepts of modern natural science]. Moskva [in Russian].
8. Grigor'ev, V.I. (1987). *Kvantovanie prostranstva-vremeni* [Quantizing space-time]. Moskva [in Russian].
9. Gusejnov, M.K. & Radzhabov, O.R. (2007). *Koncepcii sovremennogo estestvoznaniia* [Concepts of modern natural science]. Moskva [in Russian].
10. Zasiakina, T.M. (2017). *Kontseptsiia intehrovanoho pidruchnyka z fizyky y astronomii* [The concept of an integrated textbook on physics and astronomy]. Kyiv [in Ukrainian].
11. Ilchenko, V.R. & Huz, K.Zh. (2015). *Intehrovanyi kurs yak umova pidvyshchennia efektyvnosti pryrodnycho-naukovoï osvity v starshii shkoli* [Integrated course as a condition for improving the effectiveness of science education in high school]. [in Ukrainian].
12. Ilchenko, V.R. & Huz, K.Zh. (2002). *Kontseptualni osnovy intehratsii zmistu pryrodnycho-naukovoï osvity* [Conceptual bases of integration of the content of natural science education]. Kyiv-Poltava [in Ukrainian].
13. Martyniuk, M.T. (Ed.). (2013). *Intehratyvnyi funktsionalno-haluzevyi pidkhid yak chynnyk prohnouzuvannia i pobudovy modelei pedahohichnoi pryrodnycho-naukovoï osvity* [Integrative functional-sectoral approach as a factor in forecasting and building models of pedagogical science education]. Uman [in Ukrainian].
14. Kaplan, S.A. & Dibaj, Je.A. (1976). *Razmernosti i podobie astrofizicheskikh velichin* [Dimensions and similarity of astrophysical quantities]. Moskva [in Russian].
15. Karpenkov, S.H. (2003). *Koncepcii sovremennogo estestvoznaniia* [Concepts of modern natural science]. Moskva [in Russian].
16. Krasnobokiy, Yu.M., & Tkachenko, I.A. (2018). *Metodolohichni zasady formuvannia zmistu pidruchnyka intehrovanoho kharakteru* [Methodological principles of forming the content of the textbook of an integrated nature]. Kamianets-Podilsk. [in Ukrainian].
17. Krasnobokiy, Yu.M., Tkachenko, I.A. & Ilnitska, K.S. (2018). *Pidhotovka vchytelia osvithoi haluzi «Pryrodoznavstvo» (intehrovanyi pidkhid)* [Training of a teacher of the educational field "Natural Science" (integrated approach)]. [in Ukrainian].
18. Krasnobokiy, Yu.M. & Tkachenko, I.A. (2019). *Problemnii pytannia vykladannia navchalnoi dystsypliny "Naukova kartyna svitu ta yii evoliutsiia"* [Problematic issues of teaching the discipline "Scientific picture of the world and its evolution"]. Sofia [in Ukrainian].
19. Krasnobokiy, Yu.M. & Tkachenko, I.A. (2020). *Intehratsiia naukovoï znanntia i formuvannia suchasnoi synerhetyko-informatsiinoi kartyny svitu* [Integration of scientific knowledge and formation of a modern synergetic-information picture of the world]. Konin-Uzhhorod-Kyiv-Kherson [in Ukrainian].
20. Krasnobokiy, Yu.M. & Tkachenko, I.A. (2019). *Informatsiine seredovyshe yak matrytsia naukovoï kartyny svitu* [Information environment as a matrix of the scientific picture of the world]. Sumy [in Ukrainian].
21. Krasnobokiy, Yu.M. & Tkachenko, I.A. (2020). *Intehratsiia naukovoï znanntia i naukova kartyna svitu* [Integration of scientific knowledge and scientific picture of the world]. Liverpool [in Ukrainian].
22. Krasnobokiy, Yu.M., Tkachenko, I.A. & Dekarchuk S.O. (2020). *Suchasni naukovii uiavlennia pro pryrodnycho-naukovu kartynu svitu* [Modern scientific ideas about the natural-scientific picture of the world]. Sumy [in Ukrainian].
23. Litavar, V.S. (2012). *Sistemnyj podhod kak integrativnyj v obrazovatel'nom processe* [Systematic approach as integrative in the educational process]. Perm' [in Russian].
24. Martyniuk, M.T. (1988). *Vyvchennia fizyky i astronomii v osnovnii shkoli. Teoretychni i metodychni zasady* [Study of physics and astronomy in primary school. Theoretical and methodological principles]. Kyiv [in Ukrainian].
25. Mizner, R., Torn, K. & Uiler, Dzh. (1977). *Gravitacija*. Moskva: Mir [in Russian].
26. Moroz, O.P. (1984). *Zhazhda istyny (kniga ob Jerenfeste)* [Thirst for Truth (a book about Ehrenfest)]. Moskva: Znanie [in Russian].
27. Najdysh, V.M. *Koncepcii sovremennogo estestvoznaniia* [Concepts of modern natural science]. Moskva [in Russian].
28. Pauli, V. K. (1962). *staroj i novoj teorii nejtrino* [old and new neutrino theory: collection of articles]. Moskva [in Russian].
29. Radzharaman, R. (1985). *Solitony i instantony v kvantovoj teorii polja* [Solitons and instantons in quantum field theory]. Moskva [in Russian].
30. Rozental', I.L. (1980). *Fizicheskie zakonomernosti i chislennye znachenija fundamental'nyh postojannyh. Uspehi fizicheskikh nauk*. [Physical laws and numerical values of fundamental constants. Advances in physical sciences]. [in Russian].
31. Ruzavin, G.I. (1988). *Sistemnyj podhod i edinstvo nauchnogo znanntia*. [A systematic approach and the unity of scientific knowledge]. Moskva [in Russian].
32. Sasskind, L. (2016). *Kosmicheskij landshaft: Teorija strun i illuzija razumnogo zamysla Vselennoj* [Space Landscape: String Theory and the Design Illusion of the Universe]. Piter [in Russian].

33. Suhanov, A.D. & Golubeva, O.N. (2011). *Koncepcija mezhdisciplinarnogo estestvennonauchnogo obrazovanija* [The concept of interdisciplinary science education]. Volgograd: Peremena [in Russian].
34. Tipovec, T.E. (2012). *Trudnosti sostavlenija mezhdisciplinarnyh uchebnikov i puti ih preodolenija v vysshej shkole* [Difficulties in compiling interdisciplinary textbooks and ways to overcome them in higher education]. Mogilev: UO MGU [in Russian].
35. Tomilin, K.A. (2002). *Plankovskie velichiny* [Planck quantities]. Moskva: NIA – Priroda [in Russian].
36. Tkachenko, I.A. & Krasnobokyi, Yu.M. (2017). *Intehratsiia znan z tsykladu pryrodnycho-naukovykh dystsyplin u protsesi pidhotovky maibutnikh uchyteliv fizyky (teoretychnyi aspekt)* [Integration of knowledge from the cycle of natural sciences in the process of training future teachers of physics (theoretical aspect)]. Sumy [in Ukrainian].
37. Tkachenko, I.A. & Krasnobokyi, Yu.M. (2019). *Kryterii ta pryntsyipy konstruiuvannia zmistovoi skladovoi intehratyvnykh pidruchnykiv osvithoi haluzi «Pryrodoznavstvo* [Criteria and principles of constructing the content component of integrative textbooks in the field of education "Science"]. Poltava [in Ukrainian].
38. Tkachenko, I.A., Krasnobokyi, Yu.M. & Pidhornyi, O.V. (2019). *Umovy ta zasoby vprovadzhenia systemy intehratyvnoi pryrodnycho-naukovoi osvity* [Conditions and means of implementation of the system of integrative natural science education]. Varshava-Uzhhorod, Kherson: Posvit [in Ukrainian].
39. Tkachenko, I.A. & Krasnobokyi, Yu.M. (2019). *Rol i mistse astrofizychnykh znan v OPP pidhotovky mahistriv osvithoi haluzi «Pryrodoznavstvo»* [The role and place of astrophysical knowledge in the OPP of training masters of the educational field "Natural Science"]. Osaka [in Ukrainian].
40. Tkachenko, I.A. & Krasnobokyi, Yu.M. (2020). *Systemnyi pidkhid u vyvchenni pryrodnychyykh nauk* [System approach in the study of natural sciences]. Konin-Kherson-Kyiv: Posvit [in Ukrainian].
41. Tkachenko, I.A. & Krasnobokyi, Yu.M. (2020). *Systemno-synerhetychnyi pidkhid u fakhovii pidhotovtsi maibutnoho vchytelia pryrodnychyykh nauk* [System-synergetic approach in professional training of future teachers of natural sciences]. Sumy [in Ukrainian].
42. Tkachenko, I.A. & Krasnobokyi, Yu.M. (2020). *Intehratsiia znan z pryrodnycho-naukovykh dystsyplin u svitli kompetentnisnoi paradyhmy osvity*. Kropyvnytskyi [in Ukrainian].
43. Uiler, Dzh.A. (1962) *Gravitacija, nejtrino i Vselennaja* [Gravity, neutrinos and the universe]. Moskva [in Russian]
44. Dirak, P.A. (1963) *The Evolution of Physicist's Picture of Nature*. [in English]

METHODOLOGICAL FEATURES OF USING A SYSTEM-INTEGRATIVE APPROACH TO TEACHING CERTAIN TOPICS OF THE FUNDAMENTAL SCIENCES

Yuri Krasnobokyy, Igor Tkachenko, Katya Ilnitskaja

Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Ukraine

Abstract. *In the article analysis the possibilities of introducing a system-integrative approach to the training of master teachers in the process of mastering the cycle of basic sciences (physics, astronomy, astrophysics, cosmology, cosmogony, chemistry) is analyzed.*

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

Materials and methods. *The research methods used were a comprehensive analysis of scientific and methodological sources, which represent a system-integrative approach to solving pedagogical problems, and a synthesis of relevant research results published in scientific and pedagogical publications, with the results of the author's work on their experimental implementation in educational practice. It consisted in the analysis and generalization of the results of relevant publications in scientific and pedagogical publications and author's developments on their experimental implementation in educational practice. The integrative content of the material on fundamental interactions in nature is proposed to be presented sequentially in the form of three subtopics (questions). First, the nature of all fundamental interactions, their general characteristics, comparative data on the value of numerical values, formulas of dimensionless world constants describing these interactions, the manifestation of fundamental interactions (forces) in physics, astronomy, chemistry, etc. are considered. The next step is to determine the effect of changes in the numerical values of world constants on the evolution of the universe. After that, modern theories are considered on a qualitative level, which try to unite all fundamental interactions into a single system (scientific picture of the world).*

Results. *As a result of the research, it was found that the possibilities of integrative study of material on fundamental interactions in nature, emphasize their fundamental opposite properties (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 the inexhaustible "fragmentation" of matter into smaller and smaller particles, thus confirming the dialectic of unity and the struggle of opposites.*

Conclusions. *System-integrative approach to the study of fundamental interactions in nature makes it possible to determine the fundamental significance of the difference between long-range and short-range forces of nature: on the one hand - interactions of unlimited range (gravity and electromagnetism), and on the other - small radius (strong and weak). This demonstrates that the world of natural processes unfolds within these two polarities and at the same time embodies the unity of the extremely small and infinitely large - the microworld and the mega world, the elementary particle and the whole universe. In other words, the description of nature lies between two opposite pictures. In this "middle" description, physical laws lead to a new form of cognition, which is expressed by probabilistic representations. That is, being associated with the dynamic instability of natural systems (both micro- and macroscopic), the laws of nature operate only with the possibility of events, and do not make individual events predictable.*

Keywords: *integration, scientific picture of the world, fundamental interactions, world constants, unification theories.*

