

PAŃSTWOWA WYŻSZA SZKOŁA ZAWODOWA W KONINIE  
ДЕРЖАВНА ВИЩА ПРОФЕСІЙНА ШКОЛА В КОНІНІ  
UNIWERSYTET NARODOWY W UŻHORODZIE  
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
CHERSONSKI WYDZIAŁ ODESKIEGO UNIWERSYTETU SPRAW WEWNĘTRZNYCH  
ХЕРСОНСЬКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
ОДЕСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ВНУТРІШНІХ СПРАВ

**ROZWÓJ NOWOCZESNEJ EDUKACJI I NAUKI –  
STAN, PROBLEMY, PERSPEKTYWY.**

***TOM V: DYNAMIKA BADAŃ NAUKOWYCH I EDUKACYJNYCH  
W WARUNKACH PANDEMII***

Pod redakcją naukową:  
Jan Grzesiak, Ivan Zymomyra, Vasyl Ilnytskyj

**РОЗВИТОК СУЧАСНОЇ ОСВІТИ І НАУКИ:  
РЕЗУЛЬТАТИ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ.**

***TOM V: ДИНАМІКА НАУКОВИХ ТА ОСВІТНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ  
В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ***

За науковою редакцією:  
Ян Гґжесяк, Іван Зимомря, Василь Ільницький

Konin – Użhorod – Cherson  
2021

Конін – Ужгород – Херсон  
2021

УДК 371.1:001(08)  
ББК 74.04я43  
Р 64

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. Зимомя, В. Ільницький]. Конін – Ужгород – Херсон: Посвіт, 2021. 428 с.

Rozwój nowoczesnej edukacji i nauki – stan, problemy, perspektywy. Tom V: Dynamika badań naukowych i edukacyjnych w warunkach pandemii [monografia zbiorowa] / [Redakcja naukowa: J. Grzesiak, I. Zymomyra, W. Ilnytskyj]. Konin – Użhorod – Chersoń: Poswit, 2021. 428 s.

ISBN 978-617-8003-19-7

УДК 371.1:001(08)  
ББК 74.04я43

***Kolegium redakcyjne:***

dr hab., prof. **J.Grzesiak**; dr hab., prof. **I.Zymomyra**; dr hab., prof. **W.Ilnytskyj**; dr hab., prof. **W.Halunko** (executive editor); dr hab., prof. **O.Dobrowolska**; dr hab., prof. **M.Zymomyra**; dr hab., prof. **J.Kuzmenko**; dr hab., prof. **T.Mishenina**; dr hab., prof. **O.Newmerzycka**; dr hab., prof. **A.Peczarskyj**; dr **I.Plieth-Kalinowska**; dr **O.Zymomyra**; **O.Nepsha**.

***Redakcyjna kolegia:***

д-р габ, проф. **Я.Гжесяк**; доктор філологічних наук, проф. **І.Зимомя**; доктор історичних наук, проф. **В.Ільницький**; доктор юридичних наук, проф. **В.Галуцько** (відповідальний секретар); доктор філологічних наук, проф. **О.Добровольська**; доктор філологічних наук, проф. **М.Зимомя**; доктор педагогічних наук, проф. **Ю.Кузьменко**; доктор педагогічних наук, проф. **Т.Мішеніна**; доктор педагогічних наук, проф. **О.Невмержицька**; доктор філологічних наук, проф. **А.Печарський**; д-р І. **Пліт-Каліновська**; кандидат філологічних наук, доц. **О.Зимомя**; **О.Непша**.

***Recenzenci:***

dr hab., prof. **Zenon Jasiński**  
dr hab., prof. **Ihor Dobriański**

***Рецензенти:***

д-р габ., проф. **Зенон Ясінські**  
д-р педагогічних наук, проф. **Ігор Добрянський**

ISBN 978-617-8003-19-7

© Я. Гжесяк, І. Зимомя, В. Ільницький, 2021  
© Посвіт, 2021

## ЗМІСТ

### ГУМАНІТАРНІ ТА СУСПІЛЬНІ НАУКИ

<b>Grzesiak J.</b> Badania jakościowe nad pomnażaniem i wyzwalaniem kompetencji w toku edukacji on-line.....	6
<b>Варнавська І.</b> Основні аспекти інноваційних технологій в освітньому процесі.....	20
<b>Гвоздяк О.</b> Динаміка німецько-українських лінгвокультурних взаємин на Закарпатті.....	33
<b>Голованова І., Бєлікова І., Безбородько М., Хорош М.</b> Принцип структурування навчального матеріалу дисциплін з менеджменту освіти в магістратурі педагогічного вищого навчального закладу.....	41
<b>Honsalies-Munis S.</b> African american language and cultural realia in the novel 'Jazz' by Tony Morrison (multicultural aspect).....	49
<b>Гричаник Н.</b> Самостійна та індивідуальна робота в методичній підготовці студента до проведення шкільного аналізу епічного твору.....	59
<b>Добровольська О.</b> Мовно-стильові засоби індивідуалізації персонажів трагедії В. Шекспіра «Юлій Цезар» в оригіналі та перекладі В. Мисика.....	67
<b>Емельянова Ю.</b> Понятие «общечеловеческие ценности» в постглобализационном дискурсе.....	80
<b>Зимомря М., Зимомря І.</b> Барви життя педагога – в трудах. Леоніду Оршанському – 60 .....	89
<b>Ільницький В.</b> Життєвий та бойовий шлях Володимира Фрайта (1911 – 1951).....	96
<b>Карпан О.</b> Role of colour in dress design.....	106
<b>Краснова О., Плужнікова Т., Ляхова Н., Краснов О.</b> Особливості роботи психолога в закладі дошкільної освіти комбінованого типу.....	114
<b>Курок В., Хоруженко Т.</b> Практична підготовка майбутніх учителів у Глухівському учительському інституті в кінці ХІХ – на початку ХХ сторіччя.....	122
<b>Литньова Т.</b> Роль міжкультурної комунікативної компетентності у підготовці фахівців сфери гостинності.....	130
<b>Малинка М., Александрович Т.</b> Формування загальнокультурної компетентності у здобувачів вищої освіти під час вивчення гуманітарних дисциплін як необхідна складова сучасного освітнього процесу.....	139
<b>Мінчак Н., Хомош Ю.</b> Теоретико-методичні засади організаційно-економічного механізму управління персоналом.....	147
<b>Мойсюк В., Луцик Н.</b> Зоосемічний та флоросемічний символи як компоненти фразеологічних одиниць французької мови.....	159
<b>Непша О., Іванова В., Зав'ялова Т.</b> Навчальна практика як умова формування екологічної культури майбутніх учителів географії.....	169

<b>Нестерович Б., Тарасенко Г.</b> Досвід вивчення стану сформованості професійної готовності майбутнього вчителя початкових класів до музично-виховної роботи в школі 1-го ступеня.....	182
<b>Plieth-Kalinowska I.</b> Kompetencje społeczno-emocjonalne trzylatków przedmiotem badań jakościowych.....	196
<b>Прохненко І., Росул Т., Добровольський Л.</b> Містифікована історія Середнянського замку: спростування та наукова верифікація.....	203
<b>Проценко А, Котова О, Ушаков В.</b> Генеза понять «компетенція» та «компетентність» у світлі сучасної освітньої парадигми.....	220
<b>Романова Н.</b> Функції частки ја в політичному дискурсі (на матеріалі електронних версій промов Ангели Меркель за 2020 рік) .....	229
<b>Суханова Г, Купрєєнко М., Іваненко В.</b> Форми фізичної рекреації як підґрунтя формування здорового стилю життя студентської молоді.....	241
<b>Ткаченко Т.</b> Фемінне прозописьмо Євгенії Божик.....	255
<b>Харченко Н., Краснова О.</b> Активні методи навчання – вимога часу.....	263
<b>Khrystova T.</b> Diagnostics and monitoring of youth health.....	271
<b>Цінько С.</b> Семантична та структурна характеристики лексичних елементів на позначення внутрішнього стану людини у романістиці Люко Дашвар.....	280
<b>Чубіна Т., Федоренко Я.</b> Соціологічні проблеми соціалізації особистості.....	290
<b>Chukhno O.</b> Techniques of developing trainee teachers' pronunciation skills in distance education.....	299
<b>Шевчук Л.</b> До питання про диференціацію навчання у країнах Європи: від найдавніших часів до епохи Відродження.....	307
<b>Шемчук В.</b> Психічна напруженість в модельованих екстремальних умовах діяльності.....	319
<b>Шеретюк Р., Стоколос Н.</b> «Перед Богом і Вітчизною відповідальні» (Практика підготовки педагогів римо-католицького ордену піарів на Волині та їх видатні представники (XVIII – початок XIX ст.)) .....	328
<b>Шілінг А.</b> Архітектура інформаційної системи оцінювання знань споживачів освітніх послуг у закладах вищої освіти.....	337
<b>Яненко Л.</b> До науки про народовладдя.....	352

## ПРИРОДНИЧІ НАУКИ

<b>Божук Т., Гуштан К.</b> Регіональна рекреаційно-туристична дестинація «Північно-західний мегасхил масиву Боржава».....	366
<b>Гришко С., Непша О., Прохорова Л.</b> Гідрогеологічні умови формування ресурсів підземних вод Приазов'я.....	381
<b>Ільницька К., Краснобокий Ю., Ткаченко І.</b> Системно-інтегративний підхід до викладання фундаментальних наук у процесі підготовки учителів природничих дисциплін освітнього ступеня Магістр.....	395

<b>Сумарюк М., Шепенюк І. Використання комп'ютерних технологій для розв'язування генетичних задач (на прикладі успадкування груп крові) та правило Бернштейна.....</b>	<b>415</b>
<b>Відомості про авторів.....</b>	<b>423</b>

## СИСТЕМНО-ІНТЕГРАТИВНИЙ ПІДХІД ДО ВИКЛАДАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ НАУК У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ УЧИТЕЛІВ ПРИРОДНИЧИХ ДИСЦИПЛІН ОСВІТЬНОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР

**Abstract.** *This article is devoted to the issues of an integrative approach to the training of master teachers in the process of mastering the cycle of basic sciences (physics, astronomy, astrophysics, cosmology, cosmogony, chemistry).*

*The common material of the programs of these disciplines is the idea of fundamental interactions in nature, which determine the structure, structural unity and evolution of the universe: gravitational, weak, electromagnetic and strong.*

*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., which allows an integrative way of studying this material.*

*The next step is to determine the impact of changes in the numerical values of world constants on the evolution of the universe. It is shown that even small deviations of the values of world constants (gravitational constant, electromagnetic constants, weak and strong interactions) from their current values would make impossible the existence of a «carbon» universe, is a universe suitable for life, such as ours. With changes in world constants in different variations, the universe would be either «hydrogen» or «helium», or even filled only with «photons».*

*The most modern modification of the «Unified Physical Field» theory («Supergravity», «Supercombination») discussed in the article is the Superstring (Loop Gravity) theory, which is a symbiosis of quantum field theory and general relativity. The peculiarities of this theory are the idea of the decisive role of the physical vacuum in the evolution of the universe, the discreteness of space-time, and so on. In particular, it leads the concept of «instantons» (particles-waves), st-quantum of a discrete field of space-time, tachyons – particles moving at a speed greater than the speed of light, and so on.*

Освітньо-професійна програма (ОПП) з підготовки майбутніх учителів-магістрів до викладання основ природничих наук нараховує, 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 на формування у суб'єктів навчання цілісного образу оточуючого світу, методисти все частіше звертають увагу на розробку інтегративних підходів до побудови різних моделей навчальної діяльності [14].

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 [4]. 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 [20; 21]. 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 [41].

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) [4; 22; 23]. Наприклад, ПНКС складається з низки фізичних, біологічних, хімічних наук, у рамках яких формуються відповідно фізична, біологічна та хімічна картини світу [21].

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 відобразити 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 формулювання проблем сучасної фізичної науки і можливих шляхів їх вирішення.

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

- 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.

Разом з цим намагаємося досягти усвідомлення студентами того факту, що в процесі руху по шляху 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'ясовуємо область їх застосовності та можливість їх екстраполяції на більш складні системи.

Інтегруючи таким чином навчальний матеріал з фізики, астрономії, астрофізики, космології, космогонії намагаємося сформувати у студентів уявлення про величезний і складний Всесвіт у вигляді сукупності невеликого числа елементарних частинок, які можуть взаємодіяти лише кількома способами і підкоряються 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 [37; 40]. 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 [31]. 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.

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 фахівців. Проте, проблеми пошуку шляхів методико-методологічного удосконалення змісту навчання що у ЗВО, що у закладах середньої освіти 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 [3], Т. Засєкіної [11], В. Ільченко, К. Гуз [13], М. Мартинюка [14], А. Суханова, О. Голубєвої [34] та ін.

Методико-методологічні засади впровадження моделей інтегрованого навчання на даний час розробляються М. Арцишевською [2], Ю. Бекетовим [5], М. Мартинюком [25], а також авторами даної статті [18; 37; 39; 43].

Проблемам методичного забезпечення системи інтегрованого навчання (зокрема змісту відповідних підручників) присвячені роботи Т. Засєкіної [11], В. Ільченко, К. Гуз [12], Т. Типовця [35], авторські роботи [17; 38].

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 [4], 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 [1], Р. Арцишевського, Т. Шоломицької [4], В. Литавар [24], Г. Рузавіна [32] та роботи авторів [19; 20; 21; 23; 40; 41; 42]. У цих роботах розкриваються системний аналіз, синергетичний та інформаційний підходи і їх інтеграція в процесі формування ПНКС.

У представленому матеріалі робиться 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.

Оскільки єдність, яка виявляється за **системно-інтегративного підходу** до науки полягає у встановленні зв'язків і відношень між різними за складністю організації, 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 у якості **методу** дослідження проблематики статті. Він полягав в аналізі і узагальненні результатів відповідних публікацій у науково-педагогічних виданнях та авторських нарбок з експериментального їх впровадження в освітню практику. Логіка викладу матеріалу передбачає послідовність виконання таких дій:

- 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).

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, – «*полля*». 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 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 – 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 забезпе-

чує цілісність Всесвіту: вона утримує планети на орбітах, зорі в галактиках, галактики в скупченнях, скупчення в Метагалактиці ... [26; 44].

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) [6].

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) [8].

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 таємниця природи [28, 227–228].

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-розпаду 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 додаткову в розрахунках енергію [29]. 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 один на один, 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 [16, 112].

Інтегративний зміст матеріалу про слабку взаємодію полягає в тому, що вона відіграє в природі дуже важливу роль. Вона є складовою частиною термоядерних реакцій 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?

Переважаюча 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 [9, 119–122]:

– константа гравітаційної взаємодії

$$\alpha_g = \frac{Gm_p^2}{\hbar c} \approx 5,8 \cdot 10^{-39}; \quad [15]$$

– константа слабкої взаємодії

$$\alpha_w = \frac{g_F m_p^2 c}{\hbar^3} \approx 10^{-5}; \quad [31]$$

де  $g_F \approx 10^{-62}$  Дж·с – константа Фермі;

– константа електромагнітної взаємодії

$$\alpha_e = \frac{e^2}{\hbar^2 c} \approx \frac{1}{137,036} \approx 7,3 \cdot 10^{-3}, \quad [15]$$

– константа сильної взаємодії

$$\alpha_s = \frac{g_s}{\hbar c} \approx 1, \quad [15]$$

де  $g_s$  – кольоровий заряд.

[7, 92]

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 умови 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 налаштуванню*» 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?» [15].

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  $\alpha_s$  на 4 % призвело б до нестабільності дейтерію, а збільшення її значення означало б вигорання водню вже на ранніх стадіях еволюції Всесвіту. Константі  $\alpha_e$  «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  $\alpha_w$  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  $\alpha$ -частинок у процесі синтезу вуглецю  $C^{12}$ . Тоді на місці нашого *вуглецевого* Всесвіту був би Всесвіт *водневий*. Зменшення ж значення  $\alpha_w$  призвело б до того, що всі протони виявилися б зв'язаними в  $\alpha$ -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 сильних взаємодій 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 слабких взаємодій 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 [27, 154–158], 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  $100 \text{ GeV}$  – 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 електоро-

слабку 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 Меером 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. Вельтмана (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 проявляється як 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 6 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  $10^{14}$  –  $10^{16}$  *ГеВ*, 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 *фонони* – кванти



теплових коливань кристалічної ґратки – існують лише всередині твердих тіл. Ця властивість зв'язування, або утримання глюонів і кварків в *адронах* називається *конфайнментом*. Було помічено, що одиничний кварк, який з'являвся за певних процесів, майже миттєво (протягом  $10^{-21}$ с) «прилаштовує» 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  $\alpha$ -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 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? [28, 238].

«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 теорію 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 широкую калібрувальну симетрію і здатні «перемішувати» кварки з лептонами. Тобто,  $X$ - і  $Y$ - частинки можуть перетворювати кварки в лептони і навпаки [28, 243–244].

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 енергії 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 частинок як 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 [33]. 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» [33].

Відповідно до теорії суперструн, фундаментальним об'єктом сучасної фізики є квантоване суперструнне поле, збудження 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 чотирихмірному 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

$$l = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 1,5 \cdot 10^{-35} \text{ м}; \quad \text{часові} \quad t = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} \approx 5 \cdot 10^{-44} \text{ с}; \quad \text{масі}$$

$$m = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ кг}.$$

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  $10^{-31} \text{ м}$ , а її «погонна маса» (маса, яка припадає на одиницю довжини) дорівнює  $10^{21} \text{ кг/м}$ , 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 на всі процеси на Землі [7, 97].

Такий збіг предмета досліджень змінило сформовану раніше методологію науки. Так, астрономія вважалася спостережною наукою, а прискорювачі – інструмен-

том 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 щойно «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 [7, 97–98].

Гіпотеза про квантування простору-часу призвела до наступного припущення про існування «*комірок*» простору-часу з мінімально можливою довжиною, що дорівнює  $l_p$  (довжині 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 [45].

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 інсантонних 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 врахування відомих псевдочастинок-інстантонів призводить до важливих фізичних явищ.

Наприклад, за поміщення кварків у середину газу (або рідини) і 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 [30].

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 граві-

тації 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 монопол? 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 світлові 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 світлові константи набули стабільних значень, починаючи з часу  $10^{-35}$ с від моменту зародження Всесвіту і що, таким чином, у нашому Всесвіті неначе існує надто тонка «підгонка» числових значень світових констант, яка й обумовлює необхідні їх значення для існування ядер, атомів, зірок і галактик. Як виникла і реалізувалася така ситуація – наука пояснити не може. Така «підгонка» (константи саме такі, якими вони є!) створює умови для існування не лише неорганічних речовин, але й живих організмів, у тому числі й людини [33].

Особливу увагу цій проблемі приділяв відомий вчений П.Дірак (Нобелівська премія з фізики 1933 року) [10]. 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 збільшуватиметься, 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

$$N = \frac{\pi c}{Gm_p^2} \approx 10^{80}, \text{ тобто теж } (10^{40})^2 \text{ [7, С. 92]}$$

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% [31].

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?

Підсумовуючи інтегративний зміст матеріалу фундаментальних взаємодій у природі, звертаємо увагу студентів на фундаментальне значення різниці між далекодійчими і близькодійчими 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.

## ЛІТЕРАТУРА

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

11. Засєкіна Т.М. Концепція інтегрованого підручника з фізики й астрономії. *Проблеми сучасного підручника: зб. наук. праць*. Вип. 6 Київ: Педагогічна думка. 2017. С. 112–118.

12. 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.

13. Ільченко В.Р., Гуз К.Ж. Концептуальні основи інтеграції змісту природничо-наукової освіти. Київ-Полтава, 2002. Вип.1. С. 7–56.

14. 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.

15. 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.

16. Карпенков С.Х. Концепции современного естествознания: учеб. для вузов. Москва, 2003. 488 с.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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. III / за ред. Я. Гжесян та ін. Конін-Ужгород-Київ-Херсон: Посвіт, 2020. С. 188–197.

21. Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А. Інформаційне середовище як матриця наукової картини світу. *Фізико-математична освіта*. Суми, 2019. Вип. 1 (19). С. 80–87.
22. Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А. Інтеграція наукового знання і наукова картина світу. *Cognum Publishing House*. Liverpool, 2020. Рр. 249–261.
23. 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.
24. Литавар В.С. Системный подход как интегративный в образовательном процессе. *Проблемы и перспективы развития образования*. Пермь: Меркурий, С. 142–149.
25. Мартинюк М.Т. Вивчення фізики і астрономії в основній школі. Теоретичні і методичні засади: монографія. Київ, 1988. 274 с.
26. Мизнер Р., Торн К., Уилер Дж. Гравитация / пер.с англ. В.Б. Брагинского, Н.Д. Новикова. Москва: Мир, 1977. Т. 1. 480 с.
27. Мороз О.П. Жажда истины (книга об Эренфесте). Москва: Знание, 1984. 192 с.
28. Найдыш В.М. Концепции современного естествознания: учебник. Москва, 2004. 630 с.
29. Паули В. К старой и новой теории нейтрино: сб. Теоретическая физика 20 века. Москва, 1962. 386 с.
30. Раджараман Р. Солитоны и инстантоны в квантовой теории поля / пер.с англ. А.М. Полякова. Москва, 1985. 416 с.
31. Розенталь И.Л. Физические закономерности и численные значения фундаментальных постоянных. *Успехи физических наук*. 1980. Т. 131. Вып. 2 С. 239–256.
32. Рузавин Г.И. Системный подход и единство научного знания. *Единство научного знания*. Москва, 1988. С. 237–252.
33. Сасскинд Л. Космический ландшафт: Теория струн и иллюзия разумного замысла Вселенной. Питер, 2016. 448 с.
34. 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.
35. 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.
36. Томилин К.А. Планковские величины. *100 лет квантовой теории. История. Физика. Философия*: Тр. междунар. конф. Москва: НИА – Природа, 2002. С. 105–113.
37. 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.



38. 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.

39. 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.

40. 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 4<sup>th</sup> international scientific and practical conference (December 25–27, 2019)* CPN Publishing Group, Osaka, Japan, 2019. 1021 p. Pp. 860–868.

41. 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.

42. 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.

43. 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.

44. Уилер Дж.А. Гравитация, нейтрино и Вселенная / пер. с англ. Москва, 1962. 404 с

45. <https://uk.wikipedia.org/wiki>

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ROZWÓJ NOWOCZESNEJ EDUKACJI I NAUKI –  
STAN, PROBLEMY, PERSPEKTYWY.

*TOM V: ZMIANY I SYNERGIA W ROZWOJU NAUK I EDUKACJI*

---

РОЗВИТОК СУЧАСНОЇ ОСВІТИ І НАУКИ:  
РЕЗУЛЬТАТИ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ.

*TOM V: ЗМІНИ ТА СИНЕРГІЯ В РОЗВИТКУ НАУКИ ТА ОСВІТИ*

*Наукові редактори –  
Ян Гжесяк, Іван Зимомря, Василь Ільницький*

*Макетування та верстка – Василь Герман  
Дизайн обкладинки – Олег Лазебний*

***Редакція не завжди поділяє думки авторів, за зміст, достовірність  
інформації та точність цитувань відповідальності не несе.  
При передруці статей посилання на збірник є обов'язковим.***

Здано до набору 17.05.2021 р. Підписано до друку 24.05.2021 р.  
Гарнітура Times. Формат 60x84 1/16.  
Друк офсетний. Папір офсетний.  
Ум. друк. арк. 24,9. Зам. № 2956  
Наклад 300 примірників

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції Серія ДК № 2509 від 30.05.2006 р.

Друк ПП «П'ОСВІТ»  
Адреса: вул. І. Мазепи, 7, м. Дрогобич, 82100 Україна  
тел. факс (03244) 2-23-35, тел.: 3-38-50, 2-23-76.  
E-mail: posvitdruk@gmail.com