

ФОРМУВАННЯ НОВОЇ ПАРАДИГМИ СВІТООСЯГНЕННЯ В СУЧАСНІЙ ФУНДАМЕНТАЛЬНІЙ НАУЦІ

Т. В. Горбатюк, кандидат філософських наук

Проаналізовано тенденції розвитку фундаментальної науки XXI століття, в якій відбувається грандіозний науковий і світоглядний переворот, що за масштабом не поступається великій коперніканській революції. Відкриття темної матерії й темної енергії кардинально змінює загальне уявлення про тотальність фізичного Всесвіту.

Фундаментальна наука, парадигма, світоосягнення, темна матерія, темна енергія.

Кінець XX – початок XXI століття з повним правом можна охарактеризувати як новітню світоглядну революцію в осягненні фундаментальної сутності всесвіту.

Зусилля кількох поколінь фізиків XX століття, багато з яких було відзначено Нобелівською премією, за минулі півстоліття сприяли гігантському прогресу в розумінні того, як влаштована матерія на фундаментальному, глибинному рівні. Було створено так звану Стандартну модель, яка об'єднує на основі простих і загальних принципів всі фундаментальні взаємодії, відомі на сьогодні, а саме: електромагнітні, слабкі і ядерні. Стандартна модель пояснює кількісно і часто з неймовірно високою точністю величезну кількість фактів і характеристик нашого світу. А відкриття «бозону Хіггса» є одним із головних аргументів її істинності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Водночас, у фундаментальній науці XXI століття відбувається грандіозний науковий і світоглядний переворот, який за масштабом не поступається великій коперніканській революції. Нові відкриття свідчать про те, що в нашому Всесвіті панує не «матерія, що світиться», а «темна енергія». Космічна матерія, яка глобально заповнює наш Всесвіт, не ідентична тій матерії, яка безпосередньо оточує планету Земля. У фізиці таку матерію (тобто матерію, що складається з електронів, протонів, нейтронів, атомів, атомних ядер, молекул неживої і живої матерії) називають «баріонною». Оскільки вона здатна випромінювати і відображувати електронно-магнітні хвилі, її характеризують як таку, що «світиться». Матерію ж, яка не випромінює і не відбиває електронно-магнітні хвилі, прийнято називати «темною», «невидимою». «Темна енергія» – це антигравітуюча субстанція. Вона розштовхує далекі галактичні скупчення, що надає їм прискорення. Ця антигравітуюча субстанція становить лівову частку всієї космічної матерії, що заповнює Всесвіт.

Після відкриття темної матерії й темної енергії загальне уявлення про тотальність фізичного Всесвіту кардинально змінилося. На місці адронної ідентифікації тотальності фізичного Всесвіту з'явилася нова – кварк-глюонна. В обрії нової ідентифікації тотальності фізичного Всесвіту вчені по-новому побачили становище антропної матерії, її екзистенціальну долю в еру суперколайдерних експериментів над кварк-глюонною матерією.

Але енергії найпотужніших суперприскорювачів, які можна було б побудувати на Землі, не вистачає, щоб розігнати елементарні частинки до енергій, необхідних для перевірки сучасних фізичних теорій. У природі елементарні частинки з такими енергіями існують. Астрофізики спостерігають їх у космічних процесах за допомогою космічних телескопів. І саме тому світова спільнота творців фундаментальної фізики для тестування сучасних фізичних теорій воліє споруджувати замість земних суперприскорювачів гігантські позаземні космічні телескопи. Схоже, що з часом світове співтовариство творців фундаментальної фізики у своїх наступних дослідженнях одвічних основ Всесвіту буде здійснювати прориви переважно за допомогою космічних мегателескопів.

До того ж, сучасне розуміння проблем, які постають перед науковцями, наводить на думку про те, що перед фундаментальною фізикою формуються питання абсолютно нового характеру і в найближчому майбутньому, можливо, відбудеться суттєве і доволі радикальне доповнення сучасних уявлень про закони природи.

Мета дослідження – проаналізувати тенденції розвитку фундаментальної науки XXI століття.

Виклад основного матеріалу. На початку 90-х років з доволі високим ступенем точності було оцінено й щільність енергії «нормальної» матерії в сучасному Всесвіті. «Нормальна» вона в тому сенсі, що має такі ж гравітаційні взаємодії, що і звичайна речовина. Водночас, розуміння «нормальної» матерії ускладнюється тим, що більша її частина – це аж ніяк не відома нам речовина (атоми та іони), а так звана темна матерія. Очевидно, вона складається з нових, поки що не відкритих у земних експериментах елементарних частинок. На відміну від багатьох відомих частинок вони не несуть електричного заряду, а тому не випромінюють світло; тому матерія, яка складається з них, дійсно темна. Подібність зі звичайною речовиною полягає в тому, що сили гравітаційного тяжіння змушують темну матерію збиратися в згустки – галактики і скупчення галактик. Вона й сама притягує речовину та світло; саме по цьому ефекту гравітаційного тяжіння її і було виявлено. До того ж, вимірювання гравітаційних сил у скупченнях галактик дали змогу визначити масу темної матерії у цих скупченнях, а в кінцевому підсумку – у Всесвіті загалом. Таким чином і було знайдено повну щільність енергії «нормальної» матерії.

З'ясувалося, що «нормальної» матерії явно не вистачає для пояснення вимірюного темпу розширення Всесвіту. Причому доволі багато: «нестача» становила близько 2/3 (за сучасними оцінками близько 72 %). Можливих пояснень цього факту було два: або тривимірний простір ви-

кривлений, і недостатня частка у параметрі Хаббла пов'язана з його «пружністю», або у Всесвіті присутня нова форма енергії, яку згодом і стали називати темною енергією.

Відкриття темної енергії було зроблено астрономічними методами і стало для більшості фізиків повною несподіванкою. Темна енергія – мабуть, головна загадка сучасного природознавства. Цілком імовірно, що її розгадка стане найважливішою подією фізики XXI століття, яку можна прирівняти до найбільших відкриттів недалекого минулого, таких, як відкриття феномена розширення Всесвіту. Не виключено навіть, що станеться настільки радикальний розвиток теорії, що вона стане в один ряд зі створенням загальної теорії відносності, чи відкриттям кривизни простору-часу та зв'язку цієї кривизни із гравітаційними силами. Сучасні науковці знаходяться на початку шляху, і розмова про темну енергію – це можливість зазирнути до «лабораторії» фізиків у той час, коли їх робота йде повним ходом.

З теоретичної точки зору обидві ідеї – і неевклідового простору, і темної енергії – виглядали вкрай неправдоподібними. І якби не наявні факти, дана проблема залишалася б на тому самому рівні розвитку.

Досліджуючи проблему кривизни тривимірного простору, ми бачимо, що у процесі розширення Всесвіту простір розгладжується, його кривизна зменшується. Якщо кривизна відрізняється від нуля зараз, то в минулому вона була більше, ніж сьогодні. Однак щільність енергії (маси) матерії зменшується при розширенні Всесвіту ще швидше. Це означає, що в минулому відносна частка кривизни в параметрі Хаббла була дуже малою, а головною, з великим запасом, була частка матерії. Для того, щоб нині розширення Всесвіту на $2/3$ забезпечувалося кривизною, необхідно «підігнати» значення радіуса кривизни простору в минулому з фантастичною точністю – через 1 секунду після Великого вибуху він повинен був дорівнювати одній мільярдній частці від тодішнього розміру спостережуваного Всесвіту, не більше й не менше! Без такої підгонки кривизна сьогодні була б або на багато порядків більшою, або на багато порядків меншою, ніж необхідно для пояснення спостережень.

Навіть якщо відмежуватися від гіпотези про те, що недостатня частка у сучасному параметрі Хаббла забезпечується саме кривизною простору, проблема кривизни все одно залишається: у будь-якому випадку необхідно, щоб кривизна була надзвичайно мала на ранніх стадіях, інакше вона була б занадто велика сьогодні. Ця проблема була одним з головних міркувань, що призвели до появи уявлень про інфляційну стадію еволюції Всесвіту. Згідно з інфляційною теорією, запропонованою А. Старобінським і незалежно А. Гутом і яка склалася завдяки роботам А. Лінде, А. Албрехта і П. Стейнхардта, Всесвіт на початковому етапі своєї еволюції пройшов через стадію надзвичайно швидкого, експоненціального розширення (роздування, інфляції). Після закінчення цієї стадії Всесвіт розігрівся до дуже високої температури, і настала епоха гарячого Великого вибуху.

Хоча інфляційна стадія тривала, швидше за все, малу частку секунди, за цей час Всесвіт розширився настільки, що його розмір став набагато більшим за розмір тієї частини, яку ми бачимо сьогодні. Для нас важливо, що в результаті інфляційного розтягування простору його радіус кривизни впав практично до нульового значення. Таким чином, інфляційна теорія приводить до прогнозу, що простір сучасного Всесвіту з достатнім ступенем точності евклідовий. Це, звичайно, йде врозріз з гіпотезою про те, що Всесвіт розширюється сьогодні на 2/3 завдяки кривизні.

Аналогічним чином формується ідея темної енергії. Розглядаючи різні гіпотези її природи слід сформулювати таке зауваження. Незалежно від того, що являє собою темна енергія, її щільність може бути охарактеризована єдиним параметром розмірності енергії. Для відповідності даних, які спостерігаються, значення цього параметра – енергетичного масштабу темної енергії – має приблизно дорівнювати 0.002 електронвольт. Водночас, відомі фундаментальні взаємодії – сильне, слабе, електромагнітне і гравітаційне – характеризуються своїми енергетичними масштабами. Найменший з них відноситься до сильних (ядерних) взаємодій і становить близько 200 мільйонів електронвольт. Виходить нестикування в 100 мільярдів разів! І найгірше те, що цьому нестикуванню, і взагалі надзвичайно малій величині темної енергії, дуже важко знайти пояснення; наприклад, інфляційна теорія, яка так добре справляється з проблемою кривизни, у цьому питанні абсолютно неієздатна.

Через труднощі з інтерпретацією темної енергії більш популярною впродовж тривалого часу була та точка зору, що за сучасний темп розширення Всесвіту відповідальна все ж просторова кривизна. Багато хто (хоча й далеко не всі) з фізиків ніяк не могли сприйняти всерйоз можливість того, що темна енергія дійсно існує, і вважали просторову кривизну «меншим з двох зол». Питання, як завжди, було вирішено експериментом.

Перелом настав у 1998–1999 роках, коли дві групи із США, одна під керівництвом А. Райсса і Б. Шмідта, а інша – С. Перлмуттера, повідомили про результати спостережень віддалених наднових типу 1а. З цих спостережень випливало, що наш Всесвіт розширюється з прискоренням. Така властивість цілком узгоджується з уявленням про темну енергію, тоді як неевклідовий простір до прискореного розширення не призводить. Тим самим було зроблено однозначний вибір на користь темної енергії, а гіпотеза про неевклідовий тривимірний простір було відкинута, оскільки на рубежі XX–XXI століть в експериментах BOOMERANG [5] і MAXIMA [6] остаточно було доведено, що неевклідовий тривимірний простір, якщо він і є, не відіграє істотної ролі в розширенні Всесвіту. Це було здійснено шляхом вимірювання властивостей реліктового випромінювання. Існуючі результати означають, що кривизна простору вносить надмалу частку (менше 1 %) у параметр Хаббла. Темп розширення Всесвіту на 70 % зумовлений нині саме темною енергією.

Тому на сьогодні виникає одне з найголовніших питань: що собою можуть являти такі гіпотетичні субстанції, як «темна матерія» чи «темна енергія» ?

Темна матерія, очевидно, складається з нових, невідомих часток [2]. Ці частинки мають бути стабільними або мати час життя, який можна порівняти з віком сучасного Всесвіту. Таких часток немає в Стандартній моделі, так що вже саме уявлення про темну матерію потребує виходу за її межі.

Частинки «темної матерії» мають ті самі властивості по відношенню до гравітаційних взаємодій, що і звичайні частинки; вони здатні збиратися в згустки (гало галактики і галактичні скупчення) і формувати гравітаційні потенціали. Значну роль відіграє «темна матерія» у формуванні структур Всесвіту – галактик, їхніх скупчень тощо. З результатів дослідження цих структур, як і з вивчення анізотропії і поляризації мікрохвильового реліктового випромінювання, випливає, що частинки «темної матерії» були нерелятивістськими на доволі ранніх етапах еволюції Всесвіту, що, швидше за все, пов'язано з достатньо великою величиною їх маси. Водночас, частинки темної матерії не мають електричного заряду і взагалі надзвичайно слабо взаємодіють з речовиною, інакше вони були б уже зареєстровані в експериментах з їх прямого пошуку.

Найпростішим, а тому і найбільш привабливим, механізмом генерації «темної матерії» у Всесвіті є наступний. За температур раннього Всесвіту, порівнянних з масою частинок темної матерії, інтенсивно відбувалися процеси парного народження і анігіляції цих частинок, так що їх концентрація була велика і близька до рівноважної. За зниження температури концентрація часток «темної матерії» падала внаслідок процесів анігіляції і за рахунок розширення Всесвіту. А згодом концентрація стала настільки малою, що процеси парної анігіляції припинилися, і з тих пір щільність числа частинок темної матерії зменшувалася тільки через розширення Всесвіту.

Серед гіпотетичних кандидатів на роль частинок темної матерії можна назвати: стабільні нейтральні важкі частки WIMP (нейтраліно), аксіон, гравітіно, надмасивні частинки і т.д.), проте в більшості сценаріїв необхідну щільність маси темної матерії у Всесвіті вдається отримати лише за допомогою підгонки параметрів моделі. Підкреслимо, що в кожному разі механізми генерації «темної матерії» і асиметрії між речовиною і антиречовиною у Всесвіті зовсім різні.

Характеризуючи «темну енергію» можемо зауважити, що її гравітаційні властивості дуже відрізняються від властивостей інших форм енергії [8]. «Темна енергія» не збирається в згустки, вона рівномірно «розлита» у Всесвіті. Щільність темної енергії дуже слабо змінюється або взагалі не змінюється з часом, тоді як щільність будь-яких частинок відносно швидко зменшується через розширення Всесвіту. Наявність темної енергії призводить до прискореного розширення Всесвіту, так що можна умовно сказати, що темна енергія формує антигравітацію.

Можливі форми темної енергії і їх прояв в космологічних спостереженнях обговорюються нині доволі широко. Одна з можливостей полягає в тому, що темна енергія – це енергія вакууму (або космологічна постійна, що одне і те саме, принаймні при сучасному розумінні проблеми).

Альтернативою вакууму може служити нове надслабке поле, однорідне у Всесвіті (точніше, у видимій її частині). Прискорене розширення Всесвіту могло б у принципі пояснюватися і тим, що закони гравітації модифікуються на надвеликих відстанях.

Проблема «темної енергії» (її ще називають проблемою космологічної постійної) має два аспекти. По-перше, з точки зору фізики частинок можна було б очікувати, що різні взаємодії дають вклади в енергію вакууму, величини яких визначаються характерними енергетичними масштабами цих взаємодій. Слід зазначити, що цей аспект проблеми обговорювався задовго до появи спостережних даних, що свідчать про ненульове значення щільності темної енергії [4, 11]: він був би притаманним і за відсутності темної енергії у Всесвіті. Зокрема, було запропоновано механізми, що приводять до релаксації космологічної постійної до нуля або майже до нуля. Ці механізми виглядають, утім, доволі екзотичними; крім того, реалізуватися вони могли [9, 10] тільки на стадіях еволюції Всесвіту, що передували всім відомим космологічним епохам і навіть епосі роздування (інфляції), що робить експериментальну перевірку цих ідей безнадійним завданням.

Другий аспект проблеми темної енергії полягає в тому, що у фізиці часток немає настільки малого енергетичного масштабу, як 10^{-3} еВ. У більшості гіпотез про носія темної енергії цей масштаб доводиться вводити «вручну»; пов'язати його з відомими масштабами надзвичайно важко, якщо взагалі можливо. Таким чином, цей аспект проблеми в певному сенсі аналогічний проблемі калібрувальної ієрархії, проте, на відміну від останньої, хоч якого конкретного рішення тут поки не запропоновано.

Підсумовуючи вищезазначене, можна сказати, що у фізиці часток, і в космології багато фундаментальних фактів виглядають сьогодні як такі, що суперечать критеріям природності. З одного боку, однорідні параметри теорії елементарних частинок виявляються рознесеними на багато порядків величини: одним з прикладів тут служать енергетичні масштаби, що характеризують різні взаємодії і темну енергію; інший приклад – безрозмірні константи, що визначають маси кварків і заряджених лептонів. З іншого боку, різномірні характеристики Всесвіту, наприклад, щільність темної матерії і щільність звичайної речовини, виявляються однаковими, незважаючи на ймовірно різні, механізми їх генерації в ранньому Всесвіті. Окремо стоїть проблема космологічної постійної (енергії вакууму), яка залишається невирішеною протягом декількох десятиків років, незважаючи на всі зусилля теоретиків.

Зрозуміло, що найпривабливішою є можливість того, коли кожен з цих фактів має своє динамічне пояснення. Більшість із них потребує розширення відомих уявлень про фізику частинок, доступного експериментальній перевірці в недалекому майбутньому, в першу чергу, на LHC. З такої точки зору треба очікувати відкриття цілих пластів «нової фізики» найближчими роками.

Існує можливість того, що Всесвіт насправді набагато більший, ніж та його частина, яка спостерігається нині, і що в різних областях Всесві-

ту, які значно більші за ту частину, яку ми можемо спостерігати, параметри, які ми вважаємо фундаментальними, мають неоднакові значення (можливо, різні й самі фізичні закони в нинішньому розумінні цього терміна). На таку можливість вказують, наприклад, моделі «вічної» інфляції [7] або уявлення про «ландшафтні» теорії струн [3].

Згідно з першою моделлю, у Всесвіті є величезне (можливо, нескінченне) число областей з різноманітним ефективним віком, власною космологічною історією і різним сучасним станом; частина з них, як і раніше, знаходиться на інфляційній стадії, частина, навпаки, сколлапсувала; якщо фундаментальні параметри можуть залежати від часу (хай на часових масштабах, що значно перевищують масштаб, який ми вважаємо віком нашої частини Всесвіту), то в цих областях вони дійсно приймають різні значення. У другому випадку йдеться про численність майже вироджених вакуумів теорії струн, які можуть реалізуватися в багатьох областях Всесвіту і мати не тільки різні значення фундаментальних параметрів, а й відрізнятися за калібрувальними групами та набором елементарних часток тощо. Можна згадати і про картину дочірніх всесвітів [1], у якій є нескінченне число всесвітів із відмінними значеннями фундаментальних параметрів.

Висновки. Розглядаючи тенденції формування нової парадгми світоосягнення в сучасній фундаментальній науці, ми можемо з упевненістю говорити, що сучасна наука стоїть на початку формування новітньої картини світу, яка буде формуватися поза межами сусного розуміння фізики елементарних часток та Стандартної моделі зокрема. Це дасть змогу осягнути сутність устрою нашого Всесвіту з абсолютно нових позицій наукового пошуку.

Список літератури

1. Лаврелашвили Г. В. *Письма в ЖЭТФ* 46 134 (1987) / Г. В. Лаврелашвили, В. А. Рубаков, П. Г. Тиняков ; Lavrelashvili G. V., Rubakov V. A., Tinyakov P. G. *Nucl. Phys. B* **299** 757 (1988).
2. Bottino A. "Dark matter and its particle candidates" / A. Bottino, N. Fornengo // hep-ph/9904469.
3. Bousso R, J. *High Energy Phys.* / R. Bousso, J. Polchinski // (JHEP06) 006 (2000); hep-th/0004134.
4. Dolgov A D, Zeldovich Ya B *Rev. Mod. Phys.* 53 1 (1981)
5. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://en.wikipedia.org/wiki/BOOMERanG_experiment
6. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://en.wikipedia.org/wiki/Millimeter_Anisotropy_eXperiment_IMaging_Array
7. Linde A. "Inflation, quantum cosmology and the anthropic principle", in *Science and Ultimate Reality: Quantum Theory, Cosmology, and Complexity* (Eds J D Barrow, P C W Davies, C L Harper (Jr)) (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2004); hep-th/0211048
8. Sahni A., Starobinsky A. *Int. J. Mod. Phys. 1)* 9 373 (2000); astro-ph/ 9904398; Weinberg S "The cosmological constant problems", astro-ph/0005265; Padmanabhan T *Phys Rep.* 380 233 (2003); hep-th/ 0212290; Peebles P J E, Ratra B *Rev. Mod. Phys.* 75 559 (2003); astro-ph/0207347

9. Steinhardt P. J., Turok N *Science* 312 1180 (2006); astro-ph/0605173
10. Rubakov V. A. *Phys. Rev. D* **61** 061501 (2000); hep-ph/9911305
11. Weinberg S. *Rev. Mod. Phys.* **61** 1 (1989)

Проанализированы тенденции развития фундаментальной науки XXI века, в которой происходит грандиозный научный и мировоззренческий переворот, не уступающий по масштабу большой коперниканской революции. Открытие темной материи и темной энергии кардинально меняет общее представление о тотальности физической Вселенной..

Фундаментальная наука, парадигма, мировоззрение, темная материя, темная энергия.

In fundamental science of XXI century a grand scientific and philosophical revolution takes place and the scale of it is equal to great Copernican revolution. The discovery of dark substance and dark energy drastically alter the overall picture of the totality of the physical universe.

Fundamental science, paradigm, world understanding, dark substance, dark energy.

УДК 004: 001.8

РОЛЬ GRID-КОМП'ЮТИНГУ У РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ НАУКИ

А. Ю. Самарський, кандидат філософських наук

Розкрито вплив Grid-технологій на формування сучасного наукового мислення. Проаналізовано концепцію мережевої науки, вплив комп'ютерних технологій на розвиток науки, історичні перспективи їх взаємодії.

E-science, grid-комп'ютинг, нелінійність, наука, мережа.

У XXI ст. науку не можна уявити без Grid-комп'ютингу. Технічні засоби, зокрема системи розподілених обчислень, стали важливим фактором в фундаментальній науці. І очевидним це стало лише на межі тисячоліть. Досліджуючи нелінійний вплив наукової діяльності на світ, більшість вчених та філософів науки XX ст. не брало до уваги технічний фактор у сьогоdnішньому розумінні, концентруючи свою увагу на підходах та методології у фундаментальній науці. Наразі ж, питання про те, що над чим домінує – наука над технікою чи техніка над наукою, потребує окремого висвітлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дану проблематику розробляли науковці Джордж Персіваль, Грег Лі, Гордон Фрейзер, Юрген Пошел, І. Фостер, К. Кесселман, С. Туке.