

УДК 524.83

Б.Ю. ЖИЛЯЄВ

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України  
вул. Академіка Заболотного, 27, Київ, 03680, Україна

## ТАМ, ЗА ГОРИЗОНТОМ (ПАРАЛЕЛЬНІ ВСЕСВІТИ)

---

*Мультивсесвіт — гіпотетичне різноманіття всесвітів, що існують реально, включаючи й той, у якому перебуваємо ми. Різні гіпотези дають різні уявлення про природу і структуру Мультивсесвіту, про зв'язки між всесвітами, що входять до його складу. Автор пропонованої статті намагається просто й доступно пояснити читачам сутність множинності всесвітів.*

*Ключові слова: Мультивсесвіт, Планківська ера, брани.*

### ВСЕ З НІЧОГО

*Ми не можемо бачити Всесвіт цілком. Тільки ту його частину, яку встигло пробігти світло за час, названий віком Всесвіту, близько 14 млрд років. Те, що знаходиться далі, нам не відоме. Як влаштований Всесвіт у цілому — предмет здогадок, припущень, спекуляцій. Наше знання про Всесвіт нагадує знання про Землю в доколумбову епоху. Давні географи, укладаючи карти, малювали їх до відомої їм межі, а на краях писали: «Далі уявляй чудовиська». Ми бачимо не Всесвіт, ми бачимо Метагалактику, крихітну частину Всесвіту. За межею видимого нами може бути що завгодно — інша матерія, інші закони, інша метрика, простори з більшим чи меншим числом вимірів, ніж наш, двовимірний час, на відміну від нашого одновимірного. Словом, те, що й не снилося Алісі в Країні чудес, вигаданий математиком Льюїсом Керроллом... Розмірковування на цю тему навели англійського драматурга Джона Бойнтонна Прістлі на таку думку: «Все, що створено уявою, має існувати десь у Всесвіті». Оскільки наша уява, на відміну від нас, може подорожувати там, де ми ніколи не були.*

Відповідно до одного з розв'язків М-теорії, наш Всесвіт — 4-вимірна куля, що плаває в одинадцяти вимірах. В інших семи вимірах можуть плавати інші кулі. Одна з гіпотез стверджує, що найближча до нашого Всесвіту куля може перебувати на відстані міліметра від нас. Тільки цей міліметр треба відкласти в іншому вимірі.

Спочатку спробуємо уявити собі те, що ще не було Всесвітом, ще не сформувалося і ще не мало назви. Цю мить історії називають **Планківською ерою**, попередником Великого вибуху. Густина потенційної енергії  $\sim 10^{94}$  г·см<sup>-3</sup>, замість звичних у нашому світі одиниць — кілометра й секунди — характерні (планківські) масштаби відстані —  $10^{-33}$  см і часу —  $10^{-43}$  с. Ще не було звичного нам 4-вимірного простору-часу, рухом субстрату не керували ні закони загальної теорії відносності (ЗТВ) Ейнштейна, ні закони Ньютона. У цьому світі тотально панували закони квантової фізики. Було те, що образно назвали **просторово-часовою піною**. В цій «піні» не було того, що математики й фізики називають **метрикою**, тобто відстаней і проміжків часу. В такій ситуації виміряти відстань або зафіксувати момент часу було б безнадійною справою через колосальні

флуктуації показань вимірjувальних приладів. А це означає, що не можна було сказати, що і де в «піні» знаходиться, коли відбувається.

У Планківську еру причинний горизонт обмежувався планківським масштабом відстані  $10^{-33}$  см. Це означає, що уявний спостерігач не міг знати, що знаходиться за горизонтом. Світ (всесвіт) планківського спостерігача обмежувався крихітним островцем розміром  $10^{-33}$  см. Все, що перебувало за причинним горизонтом, ніяк не впливало на планківського спостерігача. У цьому світі ще не було елементарних частинок, якщо врахувати, що радіус електрона дорівнює  $\sim 3 \cdot 10^{-13}$  см, тобто на двадцять порядків більше.

У Планківську еру, згідно з М-теорією, з'явилися перші мешканці — струни. Ці утвори мали планківський розмір і складну топологію, описувану десятьма просторовими і одним часовим вимірами. Саме властивості струн визначили весь спектр елементарних частинок і характер основних фізичних взаємодій — гравітаційної, слабкої, сильної та електромагнітної. Кожна планківська комірка могла стати зародком майбутнього всесвіту. Дивовижним чином властивості струн і майбутніх всесвітів виявилися поєднаними родинними зв'язками, закладеними в них у Планківську еру. Яким бути майбутньому всесвіту, цілковито залежало від властивостей і будови струн.

Незважаючи на незбагненну планківську густину ( $10^{94}$  г·см<sup>-3</sup>), субстрат просторово-часової піни називають вакуумом. Щоправда, з обережності про нього часто говорять «псевдовакуум». Відповідно до квантової теорії поля, порожній простір (вакуум) не є порожнім. Він наповнений квантовими флуктуаціями всіх видів фізичних полів, як відомих, так і невідомих, тих, які фізикам ще належить відкрити. Саме з цього субстрату виокремилися і сформувалися майбутні фрагменти світів — космічні струни, монополі, текстири та цілі світи різних розмірностей і топологій — брани. І серед них наш Всесвіт — 3D-брана.

## КВАНТОВІ ВСЕСВІТИ ЕВЕРЕТТА

*Х'ю Еверетт III (Hugh Everett III) — американський учений, один із засновників квантової космології. В середині 50-х років, за часів студентства у Принстонському університеті, він висунув ідею множинності світів. За Х. Евереттом, Всесвіт — вектор стану Всесвіту — має безліч відгалужень, з яких лише одне може бути пізнане якимось конкретним спостерігачем, хоча решта так само реальні. Йому належить афоризм: «Everything that is possible happens» («Все, що можливо, трапляється»).*

Усі згодні з тим, що в процесі народження Всесвіту панували закони квантової фізики. В самій основі квантової теорії закладено ймовірнісний опис. У квантовій механіці рух системи (наприклад, електрона в атомі), а точніше, будь-який перехід із одного стану в інший відбувається не з точною визначеністю, а лише з деякою ймовірністю. Квантова теорія в принципі не може вказати, в який із можливих станів перейде система. Все, що вона може, — це оцінити ймовірність переходів у той чи інший стан. Однак щоб зробити такі оцінки, теорії потрібно знати всі можливі стани системи (**базис**). Після цього всі розрахунки, пов'язані з системою, стають справою техніки. Прикладом базису є сукупність фігур на шахівниці або карт у колоді. Ясно, що гра буде неможливою, якщо не задано базис. Шахова або картярська партія можуть розіграватися лише у своєму базисі.

У квантовій теорії кожний квантовий стан описується так званою **хвильовою функцією**. Хвильова функція в ігровому варіанті є партією, а можливі розклади і ходи — базисом.

Щойно народжений, у потенційному стані, як і будь-яка квантова система, Всесвіт міг бути описаний своєю хвильовою функцією. При цьому виникає вкрай складне питання про базис. Це питання поставлено, але не вирішено. Інтуїтивно ясно, що число можливих станів, у яких Всесвіт міг перебувати і в які міг переходити, має бути великим. Воно може бути зліченим (подібно до

ряду цілих чисел), а може бути неперервним або комбінованим. Зазвичай квантові стани асоціюються з енергією. Наприклад, в атомі енергетичні стани утворюють дискретний спектр. Переходи атома з одного стану в інший супроводжуються випромінюванням або поглинанням енергії в певній спектральній лінії. Набір усіх спектральних ліній атома пов'язаний із квантово-механічним базисом атома конкретного хімічного елемента. І в цьому базисі реалізуються хвильові функції атома.

Проте є істотна відмінність між атомом і Всесвітом. З атомами можна проводити експерименти. Можна висунути гіпотезу, виконати розрахунок, порівняти результати з даними експерименту. Зі Всесвітом це, на жаль, зробити неможливо.

Хвильова функція Всесвіту — це термін, уведений американським фізиком Х'ю Евереттом у його докторській дисертації в Принстонському університеті в 1957 р. Теорія хвильової функції Всесвіту є ключовою концепцією в інтерпретації багатьох всесвітів з позиції квантової фізики.

Реальність хвильової функції Всесвіту досі залишається предметом широких дебатів, а саме, чи є вона фундаментальною фізичною властивістю, що відповідає своїй власній природі, чи епіфеноменом невідомого нам процесу. Останнім часом її розглядають як певну ймовірнісну модель, яку можуть підтвердити майбутні спостереження.

Сутність інтерпретації хвильової функції Всесвіту, яку дав Х. Еверетт, можна стисло викласти так. У процесі ембріональної еволюції в епоху Великого вибуху з певною ймовірністю відбувся деякий квантовий перехід, який актуалізував наш Всесвіт. У квантовій фізиці таку подію називають колапсом хвильової функції. Х. Еверетт стверджує, що всі інші можливі, але не здійснені варіанти переходів, альтернативні історії і ф'ючерси є не менш реальними. Як і у випадку з нашим Всесвітом, кожен із можливих переходів також реалізував свій фізичний «світ», або «всесвіт».

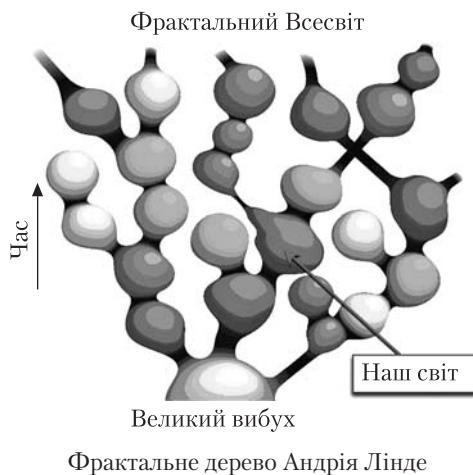
Відповідно до інтерпретації багатьох світів, даної Х. Евереттом, кожний квантовий перехід, пов'язаний з народженням нового світу, є точкою галуження. Решта світів розміщені на різних гілках Всесвіту. Всі вони однаково реальні. Вони не можуть взаємодіяти один з одним. Тому будь-який реальний спостерігач може перебувати тільки в одному з них. Такі світи подібні до зірок, що знаходяться в різних галактиках, — живуть кожний своїм життям, не відаючи про подібних до себе, не знаючи ні їхнього числа, ні місця.

В оригінальній інтерпретації хвильової функції Всесвіту, яку дав Х. Еверетт, кожний можливий квантовий перехід є реальністю у своєму власному світі, у своїй власній історії. Грубо кажучи, є дуже велика (можливо, нескінченна) кількість всесвітів і все, що могло б потенційно відбутися з нами в нашому минулому, але не відбулося, трапилося в інших всесвітах. Так вважав Х. Еверетт.

#### ВИРОБНИЦТВО ВСЕСВІТІВ У ФРАКТАЛЬНОМУ МУЛЬТИВСЕСВІТІ АНДРІЯ ЛІНДЕ

*Андрій Лінде — професор фізики в Стенфордському університеті. Один з авторів теорії інфляційного Мультивсесвіту, в якій припускається, що Всесвіт може складатися з багатьох всесвітів з різними властивостями.*

В основі ідеї Мультивсесвіту лежить інфляційне поле, заповнене квантовими флуктуаціями. Місце дії — **просторово-часова піна**. Інфляція в нашому контексті означає «роздування». Ці флуктуації можуть впливати одна на одну, створюючи високий рівень інфляції в ділянці піків. У ділянках з меншою інтенсивністю флуктуацій можливе утворення стабільного всесвіту, який може «вислизнути», виділитися із загального поля в окремий світ. Ділянки з високою активністю продовжують роздуватися, виробляти нову тканину Мультивсесвіту, яка у свою чергу зазнає власних квантових флуктуацій, що й робить Мультивсесвіт нескінченним



виробником всесвітів. А. Лінде описує це як фрактальний (самоподібний) процес. «Вислизнулий» світ можна уподібнити до новонародженої дитини, що покинула материнське лоно. Як і дитина, він втрачає пам'ять про своє ембріональне минуле, свій ембріональний період, йому стають недоступні видіння минулого, пов'язаного з «піною». Всю інформацію про це минуле буде зруйновано, оскільки годинника до того моменту практично не було, за його допомогою не можна було вимірювати час, він з'явився лише після народження. А тепер звернімося до деталей цього сценарію.

Всі події розгортаються в просторі, де панують стани матерії Планківської ери. Густина енергії близька до планківської  $\sim 10^{94}$  г·см<sup>-3</sup> (густина чорних дір), характерні розміри й часи — це планківські масштаби відстані й часу.

Аналіз поведінки флуктуацій показує, що за певних умов, які можуть випадково реалізуватися в умовах квантового хаосу, лінійний розмір конкретної флуктуації починає експоненційно швидко зростати. Такий процес швидкого розширення називають *інфляцією*. Розрахунки, виконані Лінде, свідчать про те, що навіть якщо початковий розмір інфляційного всесвіту був дуже малий (порядку планківської довжини  $10^{-33}$  см), після  $10^{-35}$  секунди інфляції всесвіт сягає велетенських розмірів —  $l \sim 10^{10^{12}}$  см. Це приво-

дить до того, що він стає практично плоским і однорідним на великих масштабах. Інфляція не пов'язана з рухом матерії; це геометричний ефект, зумовлений розширенням простору. Інфляція ділянок, заповнених флуктуаціями вакууму, формує величезні «острови» у первинному хаосі; розмір кожного такого «острова» може істотно перевищувати розмір спостережуваної частини Всесвіту ( $l \sim 10^{28}$  см).

Цікавою особливістю флуктуацій є те, що властивості вакуумів і пов'язаних з ними фізичних полів можуть бути різними в різних флуктуаціях (цей процес називають спонтанним порушенням симетрії); маси елементарних частинок і закони взаємодій в них не будуть однаковими. Це означає, що різні всесвіти або різні частини одного всесвіту можуть складатися з елементарних частинок з різними властивостями.

Андрій Лінде зазначив також, що хаотична інфляція може спричинювати локальні зміни числа просторових вимірів; у результаті топологічних флуктуацій можуть утворюватися всесвіти різної розмірності, наприклад з чотирма або більшою кількістю просторових вимірів, на відміну від нашого тривимірного Всесвіту.

Інфляційний сценарій допускає експоненційне розширення досить великих флуктуацій поля. Малі флуктуації не ростуть, вони осцилюють і згасають. Проте всередині достатньо сильної флуктуації виникає значна ймовірність утворення локальної ділянки, яка почне самостійно експоненційно розширюватися. Такий процес називають фрактальним. Фрактал — це нескінченно самоподібна геометрична фігура, кожний фрагмент якої повторює самого себе. Всесвіт починає нагадувати фрактальне дерево (див. рис.), що безперервно росте, і ростові цьому не видно ні кінця, ні краю.

Мала частина такого всесвіту може бути досить однорідною, подібно до малої ділянки листка, що росте на великому дереві. Однак якщо поглянути на таке дерево в цілому, то побачимо нескінченний фрактал.

## БРАННІ ВСЕСВІТИ

*Брана (від мембрана) — багатовимірна гіперповерхня, що виражається через просторовоподібні й часоподібні координати і слугує для модельного опису світів різної розмірності, у тому числі й нашого Всесвіту.*

Ідея додаткових вимірів простору-часу була запропонована на початку ХХ ст. Гуннаром Нордстремом (Gunnar Nordström) і на кілька років пізніше Теодором Калуцею (Theodor Franz Eduard Kaluza) й Оскаром Клейном (Oskar Klein). Т. Калуца та О. Клейн ввели в теорію додатковий четвертий просторовий вимір, причому зробили його компактним (згорнутим), набагато меншим за розмір атомного ядра.

Пізніші роботи в галузі, пов'язані з будовою елементарних частинок, — теорії струн та її продовженні, М-теорії — запропонували інший підхід до трактування згорнутих просторових вимірів. Згідно з ним, матеріальні частинки й деякі поля розміщуються на гіперповерхні, названій **браною** (мембраною), яка занурена у простір більшої розмірності (у найпростіших моделях розглядають простори з п'ятьма вимірами). Додаткові виміри в теоріях бран можуть мати нескінченний розмір. Таким чином, тривимірна брана плаває в багатовимірному просторі, утримуючи у своєму тривимірному просторі звичайну речовину і деякі поля. Важливо, що брана не може утримати гравітону, кванти гравітаційного поля та деякі частинки зі слабкою взаємодією. Саме ці частинки, як вважають, і можуть стати в майбутньому засобом виявлення та дослідження інших бран (всесвітів). Звідси випливає, що 3D-брани, занурені в багатовимірний простір, взаємодіють одна з одною через гравітацію.

Очевидно, слід поставити питання і про походження Всесвіту на брані. Теорії пропонують такий сценарій. Наша 3D-брана спонтанно виникає в порожньому багатовимірному (п'ятивимірному) просторі, що містить якесь поле зі сталою напруженістю. Надалі на новонародженій брані відбува-

ється описаний вище процес інфляції й розігрується стандартний космологічний сценарій.

Такий процес спонтанного народження відомий у фізиці як виникнення пар елементарних частинок з вакууму за наявності сильного електричного або магнітного поля. Вважають, що «порожній» фізичний вакуум заповнений віртуальними парами частинок різноманітних видів. Ці пари в результаті квантових флуктуацій спонтанно з'являються на короткий час у просторі, а потім знову зникають. Якщо ж у просторі створити досить сильне електричне або магнітне поле, то частинки, що з'явилися, вже не зможуть злитися знову і віддаляються одна від одної, рухаючись у полях у різних напрямках (наприклад, електрон і позитрон). Зовні це виглядатиме як народження матерії з нічого. Насправді ж енергія поля народжує пари частинок, закон збереження енергії при цьому не порушується.

Виникає природне запитання, чи може спостерігач на брані знайти у своєму світі сліди наявності простору більшої розмірності, частиною якого є його брана? Це дуже непросте завдання, оскільки воно стосується досліджень еволюції гіпотетичного світу, що знаходиться за межами нашого Всесвіту. Сьогодні пошук слідів наявності йде в кількох напрямках. Один із них — пошук джерел темної матерії і темної енергії у Всесвіті.

Темна матерія є гіпотетичною формою матерії, яка не взаємодіє з електромагнітним випроміненням. За оцінками, її частка в масі нашого Всесвіту становить приблизно 22%. Її наявність можна виявити лише за створюваними нею гравітаційними ефектами. Ось яке пояснення дає феномену темної матерії у Всесвіті Мічіо Каку (Michio Kaku), американський фізик, професор теоретичної фізики Міського університету Нью-Йорка (City University of New York), автор книги «Паралельні світи».

*«Брани надають цілком імовірну, хоч і гіпотетичну відповідь на загадку темної речовини. Уявімо, що просто над нашим Всесвітом знаходиться паралельний світ. Будь-яка*

галактика в цьому паралельному всесвіті буде невидимою для нас. Однак гравітаційна взаємодія може існувати між всесвітами. Будь-яка велика галактика в цьому паралельному всесвіті притягувалася б через гіперпростір до галактики в нашому Всесвіті. Отже, вимірявши властивості наших галактик, ми б виявили, що їхнє гравітаційне притягання набагато більше, ніж очікувалося за законами Ньютона, оскільки на задньому плані ховається інша галактика, що знаходиться на сусідній брані. Таким чином, існування темної речовини може пояснюватися наявністю паралельного всесвіту».

«Легко загубитися в нескінченній множині всесвітів, теорії багатьох світів...» — пише далі Мічіо Каку. Всім відомо, що один Коран не заважає бути залятими ворогами шийтам і сунітам, а одна Біблія не об'єднує католиків і православних. Так і в строгій науці космології можна знайти діаметрально протилежні тлумачення одних і тих самих феноменів. І тут чималу роль відіграє той факт, що зі Всесвітом не можна проводити експерименти. Старий афоризм «експеримент — критерій істини» тут не спрацює. Напевне, ментальні міркування про Всесвіт завжди залишатимуться грою чистого розуму.

*Б.Е. Жиляев*

Главная астрономическая обсерватория  
Национальной академии наук Украины  
ул. Академика Заболотного, 27, Киев, 03680, Украина

TAM, ЗА ГОРИЗОНТОМ  
(ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВСЕЛЕННЫЕ)

Мультивселенная — гипотетическое многообразие существующих реально вселенных, включая и ту, в которой находимся мы. Различные гипотезы дают разные представления о природе и структуре Мультивселенной, о связях между вселенными, входящими в ее состав. Автор предлагаемой статьи пытается просто и доступно объяснить читателям сущность множественности вселенных.

*Ключевые слова:* Мультивселенная, Планковская эра, браны.

*B.E. Zhilyaev*

Main Astronomical Observatory  
of the National Academy of Sciences of Ukraine  
27 Akademika Zabolotnoho St., Kyiv, 03680, Ukraine

THERE, BELOW THE HORIZON  
(PARALLEL UNIVERSES)

The Multiuniverse is a hypothetic variety of really existing universes including the one where we are. Different hypotheses give different ideas about the nature and structure of Multiuniverse, about relations between universes comprising it. The author tries to explain to readers in easy to understand way the essence of multiplicity of universes.

*Keywords:* Multiuniverse, Planck era, brane.