

2 Від Великого вибуху до сьогодні

Після початку завжди передбачається — і є обов'язковим — кінець.

Енн Лекі, «Правосуддя на допомогу»

Я **обожнюю** історії про подорожі в часі. У фізиці машин часу легко знайти дрібні недоліки і можна багато вказувати на те, скільки в цих історіях парадоксів. Але є щось дуже приємне в ідеї, що, можливо, колись ми придумаємо фокус, із яким зможемо втрутитись зі своїми знаннями в минуле і майбутнє; що зуміємо зійти з цього потягу під назвою «тепер», який втратив керування й неблаганно несеться вперед до невідомої долі. Лінійний час так зв'язує руки! Це ж просто марнотратство. Чому ми маємо навіки втрачати весь цей час і всі ці можливості просто через те, що стрілка на годиннику пересунулась на кілька градусів? Ми звикли до постійних утисків від часу, але це не означає, що вони нам подобаються.

На щастя, космологія може допомогти. Не в практичному сенсі, звісно, — ми все ж таки говоримо про відносно езотеричний напрямок фізики, який вам ніяк не зарадить, якщо ви вчора забули в потязі парасольку. Радше в тому сенсі, що ваше життя лишить-ся таким самим, але абсолютно все довкола зміниться назавжди.

Для космологів минуле — не втрачена царина, до якої вже ніяк не дістатись. Це реальне місце, ділянка космосу, за якою можна спостерігати. У минулому ми проводимо більшість робочого дня. Ми можемо, не виходячи з-за столу, подивитися, як розгортались астрономічні події мільйони чи навіть мільярди років тому. І річ не в тому, що космологія знає якийсь фокус — просто така властивість Всесвіту, у якому ми живемо.

Усе зводиться до факту, що світло проходить певну відстань за певний час. Швидкість його велика — десь 300 мільйонів метрів за секунду — але все ж воно не долає відстані в момент. Коли ви вмикаєте ліхтарик, світло, що йде від нього, проходить десь 30 сантиметрів за наносекунду і, відбиваючись від того, на що ви світите, летить до вас із приблизно такою самою швидкістю. По суті, коли ви на щось дивитесь, то зображення, яке ви бачите — тобто світло, яке відбиває об'єкт і яке доходить до ваших очей, — уже трішки втрачає новизну. Людина, яка сидить в іншому куточку кафе, перебуває відносно вас на кілька наносекунд у минулому — це пояснює, чому в неї такий ностальгійний вираз обличчя й такий немодний одяг. Коли ви дивитесь на Місяць — ви бачите його версію трішки більш ніж секундної давності. А зірки на небі взагалі далеко в минулому, від кількох років до тисячоліть.



Рис. 1: Аберацийний час (час, за який світло долає відстань). Ми інколи виражаємо відстань у світлових секундах, світлових хвилинах і світлових роках, тому що так зрозуміліше, скільки часу знадобилося світлу, щоб дійти до нас від об'єкта, і відповідно — наскільки далеко в минуле ми заглядаємо. (Усі ілюстрації в цій книжці будуть не в масштабі!)

Ви, мабуть, уже знали, що світло отак запізнюється. Але це відкриває неймовірні можливості. Це означає, що ми, астрономи, можемо подивитись на небо й побачити, як відбувалась еволюція Всесвіту від ранніх років до сьогодні. Ми використовуємо в астрономії поняття «світловий рік» не тому, що це величезна відстань (десь 9,5 трильйона кілометрів), і тому це зручно, а й тому, що так ми розуміємо, скільки років світло йшло від об'єкта, на який дивимось. Зірка на відстані 10 світлових років для нас перебуває на 10 років у минулому. Галактика на віддалі 10 мільярдів світлових

років — відповідно на 10 мільярдів років у минулому. Позаяк нашому Всесвіту всього 13,8 мільярда років, то в галактиці на відстані 10 мільярдів світлових років ми можемо побачити, яким він був у молодості. У певному сенсі, дивитися в космос рівнозначно тому, щоб заглядати у власне минуле.

Тут є важливий нюанс, і з мого боку буде негарно про нього не згадати. Побачити *наше* минуле технічно неможливо. Оскільки світло ми бачимо із затримкою, то що на більшій відстані від нас перебуває об'єкт, то далі він у минулому. Це співвідношення дуже строге: ми не можемо побачити ані своє минуле, ані віддалені галактики в тому вигляді, у якому вони є сьогодні. Що на більшій відстані перебуває об'єкт — то далі він стоятиме на таймлайні космосу.

То як узагалі ми можемо дізнатися щось корисне про власне минуле, якщо в змозі бачити тільки минуле якоїсь іншої галактики — події, які відбувались у давню давнину й у далекій далечині? Відповідь на це запитання зводиться до принципу, який для космології настільки ключовий, що так і називається: «космологічний принцип». Простими словами він звучить так: по суті, Всесвіт усюди однаковий. Очевидно, що в масштабі людства це не працює — для нас усе-таки трішки важливо, де ми є: на поверхні Землі, у глибокому космосі чи в центрі Сонця. Але у величезних астрономічних масштабах, де цілісінькі галактики можуть вважатися окремими нецікавими крапочками, Всесвіт однаковий, куди не глянь, і весь зроблений з одного й того самого¹. Ця ідея міцно пов'язана з принципом Коперника — поняттям, яке Миколай Коперник сформулював у XVI столітті та яке спочатку сприймалося як ересь: ми — не «особлива» частина космосу, а просто звичайна крапка, на якій життя легко могло з'явитися випадково. Тож коли ми дивимось на галактику на відстані мільярда світлових років і бачимо її такою, якою вона була мільярд років тому, у Всесвіті, що на мільярд років молодший від нашого зараз, — ми

¹ У науковій фантастиці обожнюють це ігнорувати. В одній із перших серій фільму «Зоряний шлях: Наступне покоління» герої випадково пролітають за кілька секунд відстань у мільярд світлових років і потрапляють у таку собі прірву, повну мерехтливої загадкової блакитної енергії. Якби така існувала, ми б точно побачили її в телескопи.

можемо бути цілком упевнені, що *тут* мільярд років тому умови були приблизно такі самі. Насправді до певної міри це можна перевірити шляхом спостережень. Дослідження розташування галактик у космосі показали, що одноманітність, яка витікає з космологічного принципу, зберігається в усьому Всесвіті (принаймні там, куди ми дивились).

Висновок тут такий: якщо ми хочемо більше дізнатися про Всесвіт і умови, у яких сформувалася наша рідна галактика Чумацький Шлях, усе, що треба зробити, — *подивитися на щось, розташоване дуже далеко*.

Це означає також, що в космології немає чіткої концепції поняття «зараз». Точніше, ваше «зараз» прив'язане безпосередньо до вас, до того, де ви перебуваєте і що робите¹. Яке значення буде у фразі «ота наднова зараз вибухає», якщо світло ми бачимо зараз і споглядати за вибухом зірки можемо в цю мить, але те світло йшло до нас мільйони років? По суті, процес, який ми спостерігаємо, — уже далеко в минулому, але що відбувається з тією зіркою, яка вибухнула, у нашому «зараз», ми побачити не можемо і не зможемо ще мільйони років. Тобто для нас її «зараз» — не теперішнє, а майбутнє.

Коли ми розглядаємо Всесвіт у *просторі-часі* — це така собі комплексна універсальна система, у якій простір має три осі, до яких додається четверта, тобто час — минуле й майбутнє перетворюються для нас на точки, розкидані по одній і тій самій тканині, що тягнеться від народження космосу до самого його кінця. Подія, яка для нас — у майбутньому, для людини в іншій точці цієї тканини може бути далеко в минулому. А світло (чи будь-яка інша інформація) від події, яку ми не побачимо ще тисячу років, уже «зараз» летить до нас крізь простір-час. Коли відбулася ця подія — у минулому, майбутньому чи там і там одночасно? Усе залежить від того, як на це подивитись.

Якщо ви звикли мислити категоріями тривимірного світу — у вас зараз, мабуть, ламається мозок². Але для астрономів обмеженість

¹ За це дяка відносності. Спеціальна теорія відносності говорить, що час минає для нас повільніше, коли ми швидко рухаємось, загальна — що він сповільнюється, коли ми близько до масивного тіла.

² Коли Док Браун у фільмі «Назад у майбутнє» сказав: «Ти не мислиш чотиривимірно!» — він говорив до вас.

швидкості світла — фантастично корисний інструмент. Так ми можемо дізнатись, що відбувалося в космосі в далекому минулому не за самими лише натяками — слідами й залишками тих подій, а безпосередньо зазирнути в минуле й поспостерігати, як із часом змінювався стан справ. Ми можемо подивитись на Всесвіт, коли йому було всього три мільярди роки — побачити період ренесансу формування зірок, коли галактики аж розпирало від світла (а може, і філософії та мистецтва), і поспостерігати, як це світло блякло в міру того, як минали ери. Ми можемо зазирнути навіть ще далі й побачити, як вирує матерія в надмасивних чорних дірах у Всесвіті, якому менш як 500 мільйонів років — у час, коли світло зірок тільки починало пронизувати морок між галактиками.

З новими космічними телескопами ми скоро зможемо побачити одні з перших галактик, що утворилися в космосі — ті, що з'явилися, коли Всесвіту було всього кілька сотень мільйонів років. Але якщо ті галактики були першими — то що буде, якщо зазирнути ще далі?

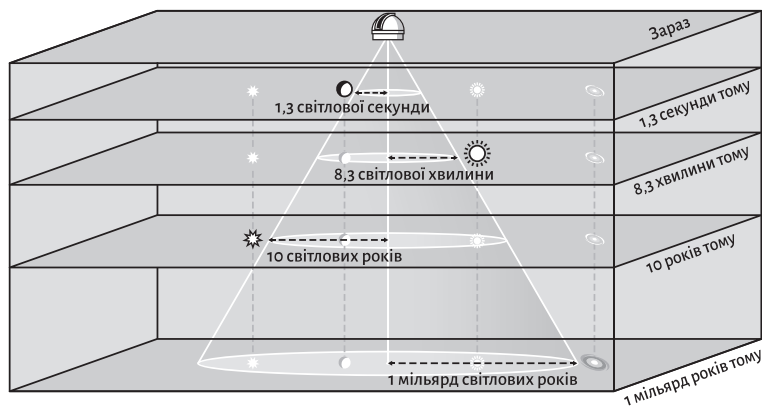


Рис. 2: Рух світла через простір-час. На цій ілюстрації світло рухається вперед і вгору, і ми бачимо тільки два виміри простору, а не три. Розташування чотирьох об'єктів із незмінним положенням у просторі накреслено вертикальними лініями, які позначають їхнє розташування в різні періоди. «Конус світла» — ділянка минулого, яку ми можемо бачити з обсерваторії. Вона охоплює все, що перебуває від нас досить близько і відповідно світло від чого встигло до нас долетіти. Ми можемо побачити галактику на відстані мільярда світлових років у тому вигляді, у якому вона була мільярд років тому, але не можемо бачити, як вона виглядає «зараз», тому що «теперішня» версія тієї галактики розташована за межами нашого конуса світла.

Чи можемо ми побачити таке далеке минуле, де ще не було галактик? Такі плани в нас є. Сьогодні створюються радіотелескопи, з якими ми, можливо, углядимо матеріал, із якого утворилися перші галактики — тут нам допоможе на диво ефективна взаємодія світла й водню. Якщо ми зможемо безпосередньо подивитись на водень — матеріал, який одного дня перетвориться на зірки й галактики, — ми станемо свідками формування найперших у Всесвіті структур.

Але що, як ми зазирнемо ще далі? Що, як ми побачимо часи до появи зірок, галактик, водню? Ми можемо побачити сам Великий вибух?

Так. Можемо.

Побачити Великий вибух

Великий вибух часто уявляють як власне вибух — різкий спалах світла, займання матерії, процес, що почався з однієї точки й роздмухався до масштабів Всесвіту. Усе було не так. Великий вибух — не вибух усередині Всесвіту, а розширення його самого. І стався він не в одній точці, а в усіх одночасно. Усі точки простору, які сьогодні є у Всесвіті — і точка на краю віддаленої галактики, і ділянка міжгалактичного простору на такій же відстані в протилежному напрямку, і палата, де ви народились, — на початку часів були розташовані так близько, що могли торкнутись одна одної. А потім в один момент усі вони на неймовірній швидкості розлетілися в різні боки.

Логіка теорії Великого вибуху цілком проста. Всесвіт розширюється — ми бачимо, що відстані між галактиками з часом більшають, — а отже, у минулому ця відстань була меншою. Можемо провести мисленневий експеримент: відмотати процес розширення, який ми бачимо, на мільярди років назад, аж поки не дійдемо до моменту, коли відстань між галактиками мала бути нульовою. Виходить, видима частина Всесвіту — усе, що ми бачимо сьогодні — колись була меншою, щільнішою, гарячішою. Але видима частина Всесвіту — це лише та частина космосу, яку ми можемо спостерігати сьогодні. Ми знаємо, що він простягається значно ширше. Взагалі, виходячи з наших знань, цілком можливо — може, навіть імовірно — що Всесвіт нескінченний. А це означає, що на початку він теж був нескінченним. Просто набагато щільнішим.

Це уявити непросто. З нескінченностями тут завжди складнощі. Що це таке — нескінченний простір? Як він може розширюватися? Як він може ставати *нескінченнішим*?

Боюсь, тут я вам не допоможу.

Осягнути нескінченний простір обмеженим мозком геть непросто. Можу лише сказати, що в математиці й фізиці є логічні способи працювати з нескінченністю, з якими мозок не ламається. Як космологиня, я виходжу з основної передумови, що Всесвіт можна описати математикою, і якщо розрахунки збігаються й допомагають розв'язувати нові задачі — мені все підходить¹. Або, точніше, якщо обчислення збігаються та при цьому працює й трішки інше припущення (наприклад, що Всесвіт не *зовсім* нескінченний, але настільки великий, що ми точно ніколи не побачимо його країв), але воно ніяк не впливає ані на процес роботи, ані на вимірювання, — ми можемо вибрати те припущення, з яким буде простіше працювати. Отже, Всесвіт нескінченний. Із цим можна працювати.

У будь-якому випадку, говорячи про теорію Великого вибуху, насправді ми кажемо ось що: на основі наших спостережень за поточним розширенням і його історією можна зробити висновок, що в певний момент часу Всесвіт повсюди був набагато гарячішим і щільнішим, ніж сьогодні². Інколи його ще називають «гарячим Всесвітом» — коли говорять про весь період, коли Всесвіт був у дуже ущільненому й гарячому стані. Ми тепер знаємо, що це період приблизно від 0 до 380 000 року³.

¹ Я трохи недбало про це тут кажу, хоча момент насправді важливий. Поки що ми у фізиці переважно описуємо Всесвіт за допомогою математичних конструкцій, які називаємо «моделями», а потім за допомогою експериментів і спостережень перевіряємо й допрацьовуємо ці моделі, поки не знайдемо таку, яка відповідатиме спостереженням краще за всі інші. Після цього ми намагаємося власну модель зламати. Справа тут не в тому, що ми вважаємо, ніби математика — фундаментальна річ для Всесвіту. Просто схоже, що іншого логічного і зрозумілого способу з ним працювати немає.

² «У всьому Всесвіті було гаряче й щільно, а потім десь 14 мільярдів років тому почалося розширення...» Так, гурт *Varenapaked Ladies* усе зрозумів правильно: слова на початку пісні на титрах серіалу «Теорія Великого вибуху» насправді досить добре описують саму теорію.

³ Звісно, усе це було до того, як узагалі придумали роки, бо не з'явилися ще планети, які б літали по орбіті навколо зірки, що є необхідною умовою для утворення оди-

Ми навіть можемо квантифікувати, що таке «дуже ущільнений і гарячий стан», і простежити історію від прохолодного приємного космосу, який подарувала доля нам сьогоднішнім, до пекла, як у розжареному казані, де все доходить до таких екстремальних показників, що наше розуміння законів фізики розбивається вщент.

Але це не просто теоретична вправа. Одна річ — математично екстраполювати розширення й логічно вивести, що температури були вищими, а тиск — більшим. Інша — побачити цей пеклесвіт¹ на власні очі.

Реліктове випромінювання

Історія про те, як ми перестали думати про Великий вибух, а натомість побачили його — класична історія про випадкові відкриття в космології. У 1965 році фізик на ім'я Джим Піблс, що працював у Принстоні, робив обчислення, відмотуючи назад розширення космосу, і дійшов приголомшливого висновку: випромінювання від Великого вибуху досі має бути в космосі. Ба більше — його можна зафіксувати. Він обчислив очікувану частоту й інтенсивність цього випромінювання та об'єднався з колегами Робертом Дікке й Девідом Вілкінсоном задля створення інструменту, яким його можна буде виміряти. Вони не знали, але саме тоді, зовсім поруч, у лабораторії Белла двоє астрономів, яких звали Арно Пензіас і Роберт Вільсон, готувалися зробити щось астрономічне з мікрохвильовим датчиком, який раніше використовувався з комерційною метою. (Мікрохвилі — це просто один із типів світла в електромагнітному спектрі. У них більша частота, ніж у радіохвиль, але менша, ніж в інфрачервоних чи хвиль видимого світла). Коли Пензіас і Вільсон, яких узагалі не цікавило комерційне застосування, але дуже цікавило вивчення неба, калібрували інструмент для дослідження, вони помітили, що антена передає зайвий шум. Вочевидь, коли попередні дослідники використовували телескоп, вони ловили радіосигнали, які відлітали від стратостатів — той шум їм

ниці часу. Але ми можемо взяти свої одиниці, екстраполювати на минуле й просто припустити, що всі ті секунди складаються в роки, а потім виразити їх у цифрах, щоб було зручно.

¹ Я щойно придумала це слово й дуже собою пишаюсь.

не заважав, і вони його проігнорували. Але зараз усе робилося заради науки, і необхідно було усунути проблему. Куди б вони не направляли детектор — шум не зникав, і працювати з ним було надзвичайно незручно, з якого боку не глянь.

Шум і завади під час фази калібрування телескопів на етапі спостережень трапляються часто, і причин, чому вони з'являються, багато. Десь міг обірватися дріт, чи з радіопередавача поруч могли йти поміхи, а то й механічна дрібничка могла стати причиною. (Наприклад, нещодавно в радіоастрономії загадкові сплески випромінювання, які зафіксував телескоп в обсерваторії Паркса, виявилися випромінюванням від надто старанної мікрохвильовки на кухні самої обсерваторії). Пензіас і Вільсон обстежили кожен сантиметр детектора й навіть припустили, що шум виник через те, що кілька голубів звили в антені гніздо¹. Але що б вони не робили — шум не зникав, і вони так і не змогли знайти, що може бути причиною. Тож довелося розглядати можливість, що він справді йде з космосу — причому одразу звідусіль. Але що це могло бути? Якби він ішов від планет чи Сонця, то його було б чутно тільки в певний час і з певних напрямків. Навіть випромінювання з усєї галактики Чумацький Шлях було б не таке однорідне.

На сцену виходить команда Принстона. Тільки обхідним шляхом.

Тут невеличкий відступ. Обчислення Піблса свідчили: якщо Всесвіт на ранніх етапах існування був цілковито гарячим, то тепер ми маємо просто купатись у рештках випромінювання. Ось як він мислив. Якщо зазирнути далі в космос — це те саме, що зазирнути далі в минуле, і якщо в далекому минулому був період, коли Всесвіт був суцільною величезною вогняною кулею, то має бути можливість зазирнути так далеко, що побачиш частину Всесвіту, яка *досі горить*. Або підійдемо з іншого боку: якщо 13,8 мільярд років тому цілий (і, можливо, нескінченний) Всесвіт був розжарений і випромінював радіацію, то десь дуже далеко має бути така його частинка, випромінювання від якої долітає до нас тільки сьогодні — бо весь цей час воно летіло крізь космос, що охолоджувався й розширювався. Якщо зазирати досить далеко, то в який бік не

¹ На жаль, розслідування в цьому напрямку погано закінчилося для ні в чому не винних голубів.

глянь — удалечині побачиш палахкий Всесвіт. Ми не дивимось на частини *простору*, які чимось відрізняються від нашої — нам радше важливий *час*, коли весь простір був у вогні.

Отже, це фонове випромінювання має йти звідусіль. І це мусять працювати, де б ми не були, тому що завжди можна зазирнути досить далеко й побачити вогняну фазу космосу. З цим зв'язком швидкості світла й подорожей у часі все це дістається даром. Кожна точка простору — центр власної сфери з часом, який стає все глибшим, з оболонкою з вогню.

Піблс це зрозумів і, як зазвичай роблять усі фізики, розповів про свої висновки, від яких вибухає мозок, колегам. Він навіть роздав сигнальний екземпляр праці, де описував, що вони з командою планують зробити, щоб зафіксувати це випромінювання. Потім чутки подолали відстань у 60 кілометрів до лабораторії Белла — для цього знадобилися ще два фізики, літак і Пуерто-Рико.

Кен Тернер прилетів послухати лекцію Піблса, сховався на екскурсію в обсерваторію Аресібо, а коли летів додому, завів розмову з колегою-астрономом Бернардом Бурком про те, як було б круто зафіксувати це випромінювання від Великого вибуху. Коли Бурк після приземлення прийшов на роботу, йому зателефонував Пензіас із якогось іншого, не пов'язаного з роботою питання, і під час бесіди сплила розмова з літака¹. Можу припустити, що в цей момент у Пензіаса трішки підкосилися ноги — тепер він знав, що вони з Вільсоном щойно стали першими людьми, які *побачили реальний Великий вибух*.

Він пару днів подумав, поговорив із колегою, а тоді зателефонував Роберту Дікке, який тут же повернувся до Піблса й Вілкінсона і сказав: «Нас випередили».

¹ Кілька років тому я випадково перестріла Бернарда Бурка в МПІ — я тоді про цю історію майже нічого не знала, хіба що частинку про голубів. Ми просто базикали, як це завжди роблять фізики, він розповідав про якусь роботу, яку він колись робив. Я не дуже розуміла, про що йдеться, аж поки в якийсь момент до мене не дійшло, що він говорить про телефонну розмову з тим самим Пензіасом і просто між іншим згадує, що той підштовхнув його до одного з найважливіших відкриттів в історії фізики. Щось подібне сталося зі мною й на конференції кілька років тому, коли я зустрілася з Томом Кібблом, який сформулював більшу частину теоретичної бази довкола бозона Хіггса. Мораль історії: слухайте заслужених професорів. Може бути, що вони тихенько перевернули з ніг на голову всю вашу галузь.

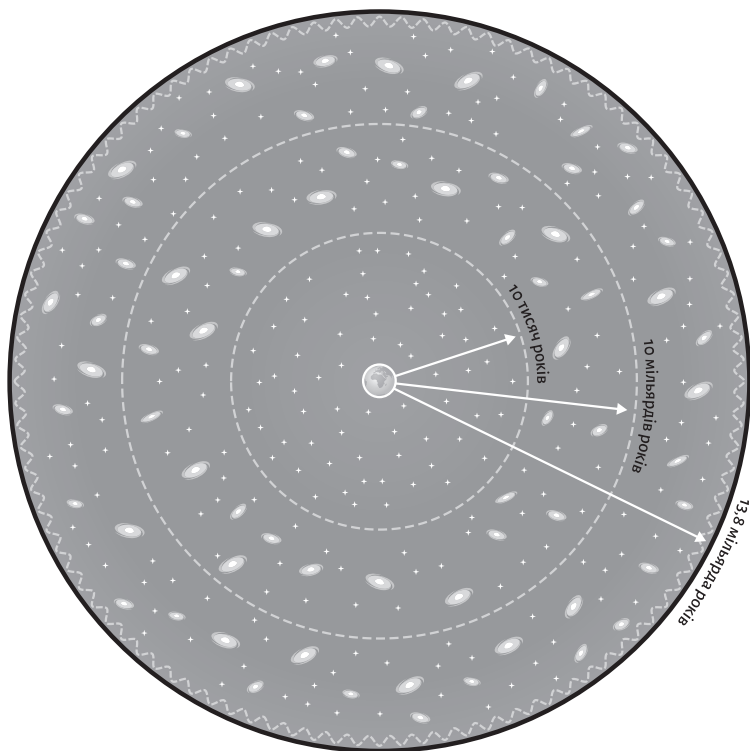


Рис. 3: Карикатурна карта видимого Всесвіту. З нашої виграшної позиції на Землі ми можемо бачити різні епохи минулого на різній відстані від нас. Ретроспективний час (кількість років до сьогодні) для кожної сфери довкола нас позначений на цьому рисунку. Заирнути ми, навіть у принципі, можемо тільки на таку віддаль, яка дорівнює відстані від Землі до точки, з якої вийшло світло в момент народження Всесвіту, що долітає до нас тепер. Так утворюється сфера навколо нас, яка називається видимим Всесвітом.

Так і було. Пензіас і Вільсон у 1978 році отримали Нобелівську премію за відкриття того, що стало відомим під назвою «космічне реліктове випромінювання»¹.

Реліктове випромінювання стало одним із найважливіших інструментів, що ми маємо для вивчення історії Всесвіту. Важко

¹ Поки я писала цю книжку, я дізналася, що Піблс у 2019 році отримав Нобелівську премію за теоретичну частину цього відкриття, окрім усього іншого. Тож зрештою все склалося по-справедливому. Тільки не для голубів.

переоцінити, наскільки воно важливе — і як астрономічні дані, і як технологічне досягнення. Тепер ми можемо бачити випромінювання гарячого Всесвіту ранніх етапів, аналізувати й співвідносити. Ось найперший висновок, який можна завдяки йому зробити: гіпотеза, що на початку свого існування Всесвіт був одним величезним розпаленим пеклом, від якого навсібіч розходився жар, повністю підтверджена.

Але звідки ми так точно знаємо, що це фонове випромінювання йде від стародавньої вогняної кулі, а не, скажімо, від якихось дивних зірок чи чогось подібного? Виявляється, у спектрі світла — у тому, наскільки воно яскраве чи тьмяне при замірах на різних частотах — можна знайти явний незаперечний доказ.

Скажімо, у вас є камін, і ви в нього тицяєте кочергою, аж поки вона не стане червоною. Це червоне сяйво — не властивість самого металу, а феномен, притаманний усім матеріалам за нагрівання (якщо вони не горять). Це сяйво називається тепловим випромінюванням, і його колір залежить лише від температури. Можливо таке, що предмет під час нагрівання стає синім, а проте температура в нього вища, ніж у червоного.

Насправді, якби ви могли сприймати інфрачервоне світло, то постійно бачили б теплове випромінювання від людей, теплої їжі й нагрітих на сонці тротуарів. В інфрачервоного світла від теплового випромінювання людини низька частота, тому що ми набагато холодніші за відкритий вогонь, хіба що справи наші ну дуже кепські.

Однак колір, який ви бачите, — це ще не все світло. Усе, що виробляє світло (окрім лазерів), випромінює його одразу на багатьох частотах (або в багатьох кольорах). Колір, який ми бачимо, — це просто колір, де інтенсивність світла найбільша. (Ось чому так гаряче торкатись ламп розжарювання: більшість світла, яке вони дають, ми бачимо, але водночас велика частина виробляється в інфрачервоному спектрі, і тому лампочки стають гарячі). Для будь-якого теплового випромінювання, включно з тим, що йде від кочерг, людей і маленьких блакитних вогників на газовій плиті, інтенсивність світла точно так само змінюється з частотою. Світло певного кольору, залежно від температури, найяскравіше, а інші кольори в обидва боки спектра швидко стають бляклими. Якщо нанести на графік, як ця інтенсивність росте й падає відносно

частоти — можна отримати форму, яку ми називаємо кривою випромінювання абсолютно чорного тіла.

Точно таку саму криву ви побачите, якщо зробите обчислення будь-якого тіла, яке випромінює світло тому, що воно гаряче¹. І виявляється — якщо виміряти інтенсивність реліктового випромінювання, отримаєш найточнішу, найідеальнішу криву в природі. Єдине тому пояснення — факт, що колись увесь Всесвіт був надзвичайно гарячим.

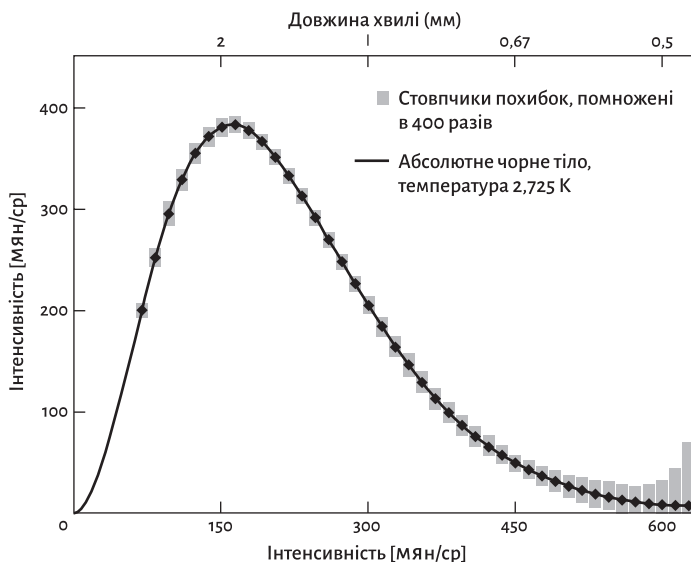


Рис. 4: Спектр абсолютно чорного тіла в реліктовому випромінюванні. Висота кривої показує інтенсивність випромінювання за заданої частоти або висоти хвилі. Точки даних показані через стовпчики похибок, які позначають неточність вимірювань, водночас розмір неточності збільшений у 400 разів, щоб вони не були повністю сховані за лінією. Такого спектра цілком можна очікувати від об'єкта, що випромінює світло температурою 2,725 К (-270°C).

¹ Термін «абсолютно чорне тіло» з'явився завдяки ідеї про об'єкт — «тіло», яке ідеально вбирає все світло й повертає його у вигляді тепла. Більшість об'єктів, звісно, роблять це неідеально: вони відбивають частину світла, а ще частину вбирають, але не перетворюють у тепло. Але більшість матеріалів за певного рівня нагрівання дадуть випромінювання, після обчислень якого можна буде отримати криву, схожу на випромінювання абсолютно чорного тіла.

За легендою, коли цей результат уперше показали на графіку під час промови на конференції, публіка зааплодувала. Звісно, почасти ентузіазм був викликаний тим, що це надзвичайно масштабні й точні вимірювання, які ідеально відповідають теорії (на таке завжди приємно дивитись).

Але я цілком певна, що ще вони аплодували тому, що зрозуміли: вони бачать великий вибух. Справді *бачать*. Я, наприклад, усе ще не оговталася від цього.

Крім того, що від реліктового випромінювання зриває дах, воно ще й дає нам неоціненну можливість дізнатися більше про Всесвіт на початку часів, про те, як він дорослішав і еволюціонував. У наступних розділах ми також побачимо, як реліктове випромінювання дало нам підказки, до чого все це йде.

І все одно, якщо зробити карту реліктового випромінювання з кольорами світла по небу, це матиме досить нудний вигляд: воно всюди *майже-майже* однакового кольору. Однак можна помітити й невеликі девіації, і вони хоча й зовсім крихітні, проте здатні багато чого розповісти. Коли астрономи підсилили контрастність, щоб побачити трішки більше різноманіття в кольорах, вони помітили, що реліктове випромінювання йде наче плямами — ніби хтось розмалював небо в жанрі абстрактного пуантилізму пензликком завбільшки з повний Місяць, як ми його бачимо із Землі. В одних місцях ці плями одного кольору, в інших — мішанина кольорів; десь вони червоніше, десь блакитніші¹. Ці варіації кольору показують місця, де розбурхана древня космічна плазма була трішки прохолодніша чи гарячіша через малесенькі зміни щільності — у кожній такої точки щільність змінюється не більш як на 1/100000. (Щоб уявити, як це, вилийте пляшку газіванки в басейн).

Якщо все добре порахувати, ми можемо зрозуміти, що саме утворюється з часом завдяки цим крихітним змінам щільності — як із мініатюрної точки за тисячоліття виростають цілі скупчення галактик. Гравітаційний колапс — потужна річ. Якщо у вас є трішки матерії, щільнішої за матерію довкола неї, вона притягуватиме

¹ Усе це — світло мікрохвильового спектра, тож «червоніший» — це колір мікрохвильового випромінювання на низьких частотах, а «блакитніший» — на вищих, але коли ми робимо карти, ми їх просто позначаємо червоним і блакитним, бо ну такі вже очі в людей.

до себе більше матерії звідти, де щільність не така висока, від чого буде рости контраст і тяжіння ставатиме ще сильнішим, і так далі. Багаті будуть багатіти, бідні — бідніти.

За допомогою комп'ютерних симуляцій можна за кілька секунд прокрутити перед очима мільярди років. Ми можемо спостерігати, як шматочок матерії, який був зовсім трішки щільнішим за сусідній, притягує до себе достатньо газів, щоб утворити першу у Всесвіті зірку. Ці зірки утворюють перші галактики, а ті — скупчення галактик, а потім усі разом перетворюють плямисте полотно реліктового випромінювання на те, що ми зараз називаємо космічним павутинням: змережані прожилками вузли, волокна й пустоти, серед яких, наче краплі роси на павутинні, сяють галактики.

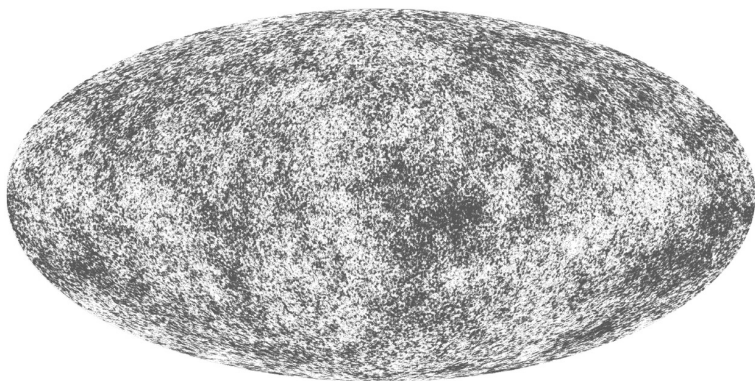


Рис. 5: Реліктове випромінювання. Це карта частот мікрохвиль на всьому небі в проекції Мольвейде (випромінювання з нашої галактики прибране). Темніші ділянки позначають трішки прохолодніше мікрохвильове випромінювання (з нижчою частотою, або червоніше), а світлі — трішки гарячіше (з вищою частотою, блакитніше). Вони відповідають частинам раннього Всесвіту, де щільність матерії супроти сусідніх ділянок була трішки більшою чи меншою — з різницею приблизно 1/100000.

Якщо порівняти результати такої симуляції з реальною картою космосу, де кожна галактика буде позначена крапочкою на гігантській 3D-мапі, вони будуть такими дивовижно подібними, що ви навряд чи зможете їх розрізнити.

Отже, Великий вибух був. Ми його бачили, ми його обчислили, фізика теж на нашому боці. Тепер сядьмо довкола теплого вогню космічного абсолютно чорного тіла й поговорімо, як зародився Всесвіт.