

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 невблаганно 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 лишиться 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 вмикаете 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: Аберційний 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 обоюдно ігнорують 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 років — 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?

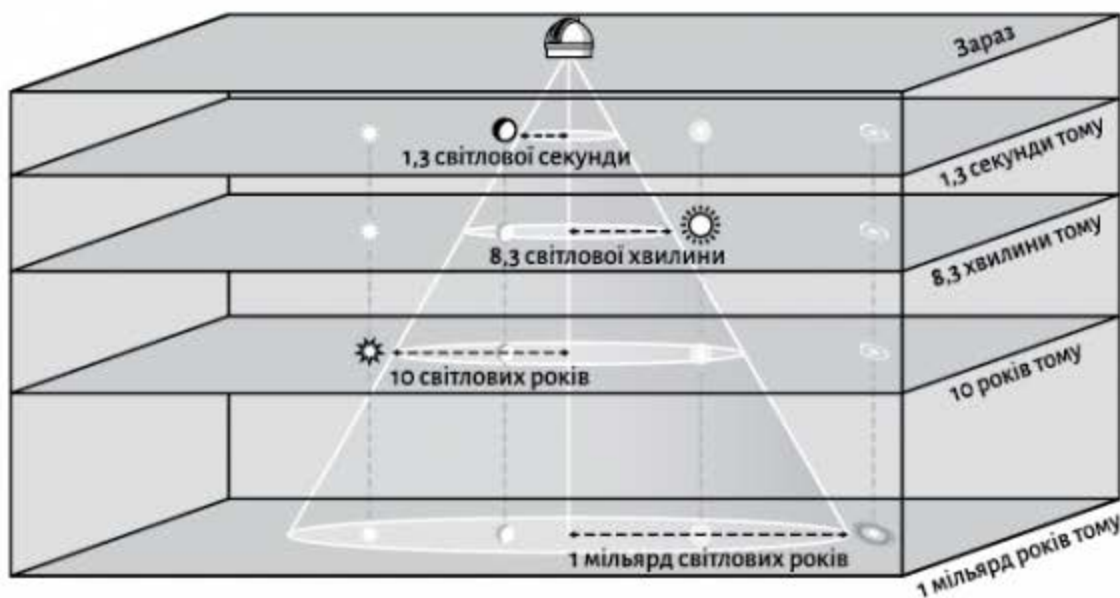


Рис. 2: Рух світла через простір-час. На цій ілюстрації світло рухається вперед і вгору, і ми бачимо тільки два виміри простору, а не три. Розташування чотирьох об'єктів із незмінним положенням у просторі накреслено вертикальними лініями, які позначають їхнє розташування в різні періоди. «Конус світла» — 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 заирнемо 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 мисленнєвий 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 *Varenaled 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 усієї 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 мільярда 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 МТІ — 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.