

РОЗМІРКОВУЮЧИ ПРО ВСЕСВІТ

Ми живемо в незвичайному й чудовому Всесвіті. Потрібна неабияка уява, щоб оцінити його вік, розміри, шаленість і навіть красу. Місце, яке посідають у цьому безмежному космосі люди, може здатися мізерним. А проте ми намагаємося зрозуміти, як увесь цей світ влаштований і яке наше місце в ньому.

Кілька десятиліть тому відомий науковець (дехто каже, що це був Бертран Рассел) виступав із публічною лекцією з астрономії. Він розповідав, що Земля обертається навколо Сонця, а воно, своєю чергою, навколо центра великого зоряного скупчення, що зветься нашою Галактикою.

Скінчилася лекція, і маленька літня дама, що сиділа в задніх рядах, підвелась і заявила:

— Нарозказували ви нам сім мішків гречаної вовни. Насправді світ — це пласка плита, що лежить на спині велетенської черепахи.

Самовдоволено посміхнувшись, науковець запитав:

— А на чому стоїть черепаха?

— Ви страшенно розумний, юначе, страшенно, — відказала літня дама. — Вона стоїть на іншій черепасі, і так без кінця!

Сьогодні більшість людей посміялися б із такої картини Всесвіту — нескінченної черепашачої вежі. Але що змушує нас думати, ніби ми знаємо краще? Забудьте на хвилину те, що ви знаєте — або ж думаєте, що знаєте, — про космос. Зведіть очі до нічного неба. Якої ви думки про всі ці світні точки? А що, коли це крихітні вогники? Нам важко здогадатися, що воно насправді, бо дійсність ця надто далека від нашого щоденного досвіду.

Якщо ви часто спостерігаєте за нічним небом, то, певно, помічали в сутінках геть над обрієм невловиму іскорку світла. Це Меркурій — планета, що різче відрізняється від нашої. Доба на Меркурії триває дві третини його року. На сонячному боці температура сягає понад 400 °С, а пізно вночі падає майже до –200 °С. Утім, хоч би як відрізнявся Меркурій від нашої планети, іще важче уявити звичайну зорю — велетенське горно, яке спалює щомиті мільйони тонн речовини й розігріте в центрі до десятків мільйонів градусів.

Інша річ, яку важко збагнути, — це відстані до планет і зір. Давні китайці будували кам'яні башти, щоб розгледіти їх краще. Цілком природно вважати, що зорі й планети розташовані набагато ближче, ніж насправді, адже в щоденному житті ми ніколи не стикаємося з величезними космічними відстанями. Відстані ці такі великі, що безглуздо виражати їх у звичних одиницях — метрах або кілометрах. Натомість використовують світлові роки (світловий рік — шлях, який світло проходить за рік). За секунду промінь світла долає 300 000 кілометрів, тож світловий рік — це неабияка відстань. Найближчу до нас

(після Сонця) зорю — Проксиму Центавра — відділяє від Землі близько чотирьох світлових років. Це так далеко, що найшвидший із космічних кораблів, проекти яких нині розробляють, летів би до неї з десятків тисяч років.

Ще в давнину люди намагалися збагнути природу Всесвіту, але їм не допомагали в цьому різні науки, зокрема математика. Сьогодні в нас є потужні інструменти: аналітичні, такі як математика й науковий метод пізнання, і технічні, зокрема комп'ютери й телескопи. За їхньою допомогою науковці зібрали до купи силу-силенну знань про космос. Але що ми насправді знаємо про Всесвіт і як ми це дізналися? Звідки він з'явився? У якому напрямку розвивається? Чи мав Усесвіт початок, а якщо мав, що було до нього? Яка природа часу? Чи дійде він колись кінця? Чи можна повернутися назад у часі? Нещодавні прориви у фізиці, зроблені почасти завдяки новим технологіям, пропонують відповіді на деякі з давніх запитань. Можливо, коли-небудь ці відповіді стануть так само очевидними, як те, що Земля обертається навколо Сонця, чи, може, такими ж сміховинними, як вежа з черепах. Тільки час (яким би він не був) це покаже.

РОЗВИТОК КАРТИНИ СВІТУ

Хоча навіть у добу Христофора Колумба багато хто вважав, що Земля пласка (і сьогодні дехто досі дотримується цієї думки), сучасна астрономія сягає корінням у часи давніх греків. Десь 340 року до нашої ери давньогрецький філософ Аристотель написав твір «*Про небо*», у якому навів вагомі аргументи на користь того, що Земля являє собою радше сферу, аніж пласку плиту.

Одним з аргументів стали затемнення Місяця. Аристотель зрозумів, що їх спричиняє Земля, яка, проходячи між Сонцем і Місяцем, затінює останній. Учений зауважив, що тінь Землі завжди кругла. Так і має бути, якщо Земля — сфера, а не плаский диск. Якби Земля мала форму диска, її тінь була б круглою не завжди, а тільки в ті моменти, коли Сонце опиняється точно над центром диска. В інших випадках тінь видовжувалася б, перетворюючись на еліпс (видовжене коло).

Мали греки й інший аргумент на користь того, що Земля кругла. Якби вона була пласкою, то корабель, який наближається, спочатку здавався б крихітною, невиразною цяточкою на обрії. Із його наближенням можна було б краще розгледіти деталі: вітрила, корпус та ін. Однак усе відбувається інакше. Коли судно з'являється на обрії,

перше, що ви бачите, — це вітрила. Тільки потім в очі впадає корпус. Та обставина, що щогли, які підносяться над корпусом, першими з'являються з-за обрїю, свідчить про те, що Земля має форму кулі.



Корабель з'являється з-за обрїю

Давні греки приділяли значну увагу спостереженням за нічним небом. Протягом кількох століть до Аристотеля вже відстежували переміщення небесних світил. Було відзначено, що серед тисяч видимих зір, які рухалися разом, п'ять (не враховуючи Місяця) пересувалися у свій, особливий спосіб. Іноді вони відхилялися від звичайного напрямку зі сходу на захід і «задкували». Ці світила назвали словом «планета», що в перекладі з грецької означає «блукачка». Давні греки спостерігали тільки п'ять планет: Меркурій, Венеру, Марс, Юпітер і Сатурн, адже лише їх можна побачити неозброєним оком. Сьогодні ми знаємо, чому планети рухаються по дивних траєкторіях. Якщо зорі майже не рухаються порівняно з нашою Сонячною системою, то планети обертаються навколо Сонця, тож їхній шлях нічним небом куди складніший за рух далеких зір.

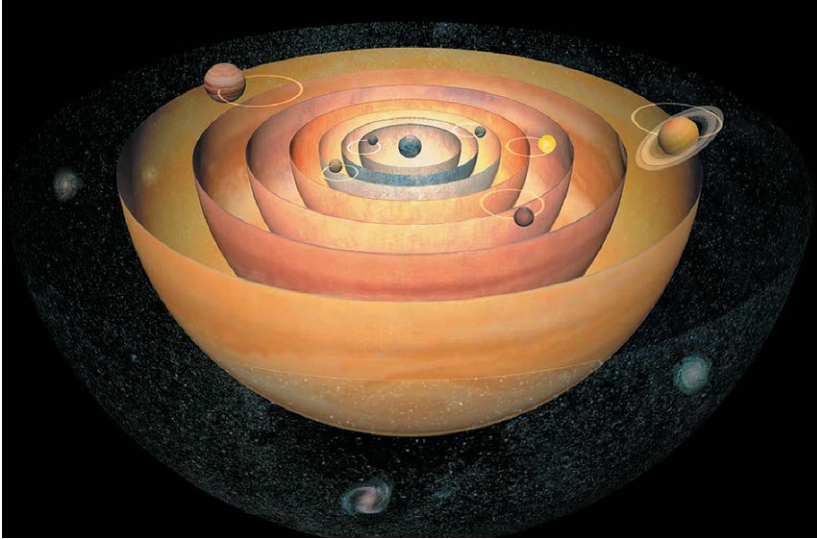
Аристотель вважав, що Земля нерухома, а Сонце, Місяць, планети й зорі обертаються навколо неї по колових орбітах. Він вірив у це, припускаючи з містичних причин, що Земля — центр Усесвіту, а коловий рух найдосконаліший. У II столітті нашої ери інший грецький учений, Птолемей, розвинув цю ідею, побудувавши довершену модель небесних сфер. Птолемей був захопленим дослідником. «Коли я вивчаю собі на втіху, як міриади зір простують по своїх колах, — писав він, — то земля западається під моїми ногами».

У моделі Птолемея Землю оточували вісім обертових сфер. Кожна наступна сфера була більша за попередню — щось на кшталт російської матрьошки. Земля перебувала в центрі. Що саме лежить за межами останньої сфери, ніколи не уточнювали, але це, безперечно, було недосяжним для людського погляду. Тому найдальшу сферу вважали чимось на кшталт кордону, вмістищем Усесвіту. Зорі нібито займали на ній фіксовані місця, тож за обертання цієї сфери вони рухалися небом разом, зберігаючи взаємне розташування, що ми й спостерігаємо. На внутрішніх сферах розташовувалися планети. На відміну від зір, вони не були жорстко закріплені, а рухалися щодо своїх сфер по невеликих колах, які називалися епіциклами. Це обертання разом з обертанням планетних сфер і робило рух планет відносно Землі таким складним.

У такий спосіб Птолемей спромігся пояснити, чому спостережувані шляхи планет на зоряному небі значно складніші, ніж прості кола.

Модель Птолемея дозволяла досить точно передбачати місце світил на небі. Але для цього вченому довелося припустити, що інколи Місяць, долаючи свій шлях, підходить до Землі удвічі ближче, ніж в інший час. А це означає, що часом він, далєбі, здається удвічі більшим! Птолемей знав

про цей недолік своєї системи, і все ж вона здобула широке, хай і не загальне визнання. Християнська церква вирішила, що ця картина світу відповідає Святому Письму, бо ж має неабияку перевагу: вона залишала достатньо місця для раю й пекла за межами сфери непорушних зір.



Модель Птолемея

Однак 1514 року польський священник Миколай Коперник запропонував іншу модель. (Спочатку, імовірно, боячись, що його затаврують як еретика, учений поширював свою теорію анонімно.) Революційна ідея Коперника полягала в тому, що не всі небесні тіла мають обертатися навколо Землі. Він стверджував, що Земля й планети обертаються по колових орбітах навколо нерухомого Сонця, розташованого в центрі Сонячної системи. Подібно до моделі Птолемея теорія Коперника працювала добре, проте не зовсім відповідала спостереженням. Її відносна простота порівняно з моделлю Птолемея, здавалося б, обіцяла швидкий успіх. Утім, сплигло майже століття, перш ніж цю теорію сприйняли серйозно. Два астрономи —

німець Йоганн Кеплер та італієць Галілео Галілей — відкрито підтримали вчення Коперника.

1609 року Галілей почав спостерігати нічне небо за допомогою винайденого власноруч телескопа. Поглянувши на Юпітер, він зауважив, що навколо цієї планети кружляє кілька малих супутників. Це значило, що не всі небесні тіла обертаються навколо Землі, як вважали Аристотель і Птолемей. Водночас Кеплер удосконалив теорію Коперника, припустивши, що планети рухаються не по колах, а по еліпсах. Завдяки такій корективі передбачення цієї теорії збіглися зі спостереженнями. Відкриття Галілея й Кеплера завдали смертельних ударів Птолемеєвій моделі.

Хоча припущення про еліптичну форму орбіт дозволило вдосконалити модель Коперника, сам Кеплер сприймав це лише як тимчасову гіпотезу. Учений дотримувався упереджених умоглядних ідей щодо будови Всесвіту. Як й Аристотель, Кеплер вважав еліпси менш досконалими фігурами, ніж кола. Думкою про те, що планети рухаються по таких недосконалих орбітах, він гребував, тож не визнавав її остаточною істиною. Бентежило Кеплера й інше: уявлення про еліптичні орбіти не збігалося з його ідеєю про те, що планети обертаються навколо Сонця під дією магнітних сил. І хоча з тезою, що обертання планет зумовлене магнітними силами, Кеплер дав маху, слід визнати: він мав рацію, коли збагнув, що за рух небесних тіл відповідальна якась сила.

Правильне пояснення того, чому планети обертаються навколо Сонця, з'явилося набагато пізніше, 1687 року, коли Ісаак Ньютон опублікував свої «*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*»¹, певно найважливішу з будь-коли виданих праць у царині фізики. У «Principia» учений

¹ «Математичні першопричини натуральної філософії» (лат.). (Тут і далі прим. пер.)

сформулював закон, згідно з яким будь-яке нерухоме тіло залишається в спокої, поки цей стан не порушить якась сила, і описав, як під впливом сили тіло рухається або змінює свій рух.

Отже, чому ж планети рухаються по еліпсах навколо Сонця? Ньютон заявив, що за це відповідальна особлива сила, і стверджував, що вона ж змушує предмети падати на Землю замість залишатися в спокої, коли ми випускаємо їх із рук. Він назвав цю силу гравітацією. (До Ньютона англійське слово *gravity* означало серйозність, а також властивість предметів бути важкими.) Окрім того, учений розробив математичний апарат, що дозволив кількісно описати, як реагують тіла на дію сил, що притягують їх, як гравітація, і розв'язав отримані рівняння. Таким чином, він зміг довести, що тяжіння Сонця змушує Землю й інші планети рухатися по еліптичних орбітах, точнісінько як напроорокував Кеплер! Ньютон проголосив, що його закони застосовні до всього у Всесвіті — від яблука, яке падає з дерева, до зір і планет. Уперше в історії рух планет було пояснено дією тих самих законів, які визначають рух на Землі, і так був покладений початок сучасній фізиці та астрономії.

Коли було знехтувано Птолемеєві сфери, не залишалось жодної причини думати, буцімто Всесвіт має природні межі (окреслені найдалшою сферою). А оскільки положення зір здавалося незмінним, якщо не враховувати їхнього добового руху небом, спричиненого обертанням Землі навколо своєї осі, то природно було припустити, що зорі — це об'єкти, подібні до нашого Сонця, хіба що дуже-дуже далекі. Ми махнули рукою на думку, що тепер уже не тільки Земля, а й Сонце не могло претендувати на роль центра світу. Уся наша Сонячна система була не чим іншим, як звичайнісіньким об'єктом у Всесвіті.

СУТЬ НАУКОВИХ ТЕОРІЙ

Щоб говорити про природу Всесвіту й міркувати про те, чи має він початок або кінець, слід усвідомити, що таке наукова теорія. Виходитимемо з того наївного уявлення, що теорія — це просто модель Усесвіту або певної його частини, а також набір правил, які допомагають встановити зв'язок між абстрактними величинами й конкретними спостереженнями. Теорія існує тільки в наших головах і не має іншої реальності (що б це слово не означало). Будь-яка теорія гарна, якщо вона відповідає двом вимогам: точно описує великий масив спостережень на основі моделі, що містить лише кілька довільних елементів, і дозволяє робити точні передбачення щодо результатів подальших спостережень. Наприклад, Аристотель визнавав теорію Емпедокла, згідно з якою все складається з чотирьох елементів: землі, повітря, вогню й води. Це була досить проста теорія, але вона не дозволяла робити жодних певних передбачень. Теорія всесвітнього тяжіння Ньютона заснована на ще простішій моделі, згідно з якою тіла притягуються із силою, пропорційною їхнім масам та обернено пропорційною квадрату відстані між ними. Утім, ця теорія з високою точністю передбачає рух Сонця, Місяця й планет.

Будь-яка фізична теорія завжди умовна в тому розумінні, що вона є лише припущенням: *ви нізащо її не доведете.*

Скільки б разів результати експериментів не збігалися з прогнозами теорії, ви ніколи не зможете бути впевнені, що наступного разу між ними не виникне протиріччя. Водночас одне-єдине спостереження, що не збігається з прогнозами теорії, здатне її спростувати. Щоразу, коли результати нових експериментів узгоджуються з передбаченнями теорії, вона виживає й наша довіра до неї збільшується. Однак, якщо бодай одне спостереження суперечить теорії, ми повинні її відкинути чи переглянути. Принаймні передбачають, що так має бути, проте ви завжди можете засумніватися в компетентності того, хто здійснював спостереження.

На практиці нова теорія найчастіше є розвитком попередньої. Наприклад, вельми точні спостереження за планетою Меркурій виявили невеликі розбіжності між її реальним рухом і тим, що передбачає теорія всесвітнього тяжіння Ньютона. Загальна теорія відносності Ейнштейна дещо відхиляється від теорії Ньютона. Те, що передбачення Ейнштейна, на відміну від ньютонівських, збіглися зі спостереженнями, стало одним із найважливіших підтверджень нової теорії. Проте ми досі використовуємо теорію Ньютона для практичних завдань, адже відмінності між її прогнозами й передбаченнями загальної теорії відносності вельми незначні. (До того ж теорія Ньютона має велику перевагу: працювати з нею набагато простіше, ніж із теорією Ейнштейна!)

Кінцева мета науки полягає в тому, щоб запропонувати єдину теорію, яка описує весь Усесвіт. Однак на практиці науковці ділять це завдання на дві частини. Першу частину становлять закони, що описують, як Усесвіт змінюється з часом. (Якщо ми знаємо стан Усесвіту в певний момент часу, то ці фізичні закони повідають нам, яким буде його стан згодом.) До другої частини належать питання, що стосуються первісного стану Всесвіту. Деякі люди переконані,

що наука має займатися тільки першою частиною, а питання про початковий стан відносять до царини метафізики чи релігії. Вони кажуть, що Бог, відзначаючись всемогутністю, міг би дати початок Усесвіту, якби йому заманулося. Може, це й справді так, але тоді Всевишній міг також змусити Всесвіт формуватися хтозна-як. Однак, схоже, Творець звелів йому розвиватися достоту за певними законами. Тому чи не розумніше було б припустити, що якісь закони керували й початковим станом Усесвіту?

Виявляється, дуже важко винайти теорію, що описує весь Усесвіт. Натомість ми розбиваємо завдання на частини й створюємо безліч часткових теорій. Кожна з них описує й передбачає деякий обмежений клас спостережень, нехтуючи впливом інших величин або подаючи їх у вигляді простих наборів чисел. Можливо, цей підхід зовсім неправильний. Якщо все у Всесвіті фундаментально залежить одне від одного, то, може, годі дійти абсолютно розв'язання, досліджуючи частини проблеми окремо. Утім у минулому саме цей спосіб дозволив досягнути певного успіху. Класичний приклад — та ж таки теорія Ньютона, яка говорить нам, що гравітаційна взаємодія між двома тілами залежить тільки від однієї їхньої властивості — маси — і не бере до уваги те, з чого вони складаються. Тож нам не потрібна теорія внутрішньої будови Сонця й планет, аби розрахувати їхні орбіти.

Сьогодні науковці описують Усесвіт у термінах двох основних часткових теорій — загальної теорії відносності та квантової механіки. Це найбільші досягнення розуму першої половини ХХ століття. Загальна теорія відносності описує дію гравітації й масштабну будову Всесвіту, тобто структуру в масштабах від кількох кілометрів до мільйона мільйонів мільйонів мільйонів (одиниця з двадцятьма чотирма нулями) кілометрів — розмірів

видимого Всесвіту. Квантова механіка, навпаки, має справу з у край малими масштабами на кшталт мільйонної частки від мільйонної частки сантиметра. Щоправда, відомо, що ці дві теорії несумісні: разом вони не можуть бути правильні. Одним із провідних завдань сучасної фізики й головною темою цієї книжки є пошук нової теорії — квантової теорії гравітації, — яка поєднала б у собі подані часткові. Поки що такої теорії немає, і, можливо, нам доведеться подолати ще довгий шлях до неї, але вже відомо чимало тих властивостей, які мають бути притаманні новому вченню. І ми покажемо далі, що вже знаємо чималу кількість передбачень, які повинна робити квантова теорія гравітації.



Від атомів до галактик

Якщо ви вірите, що Всесвіт не хаотичний, а підпорядкований певним законам, то має існувати можливість урешті-решт звести різні часткові теорії в одну повну, яка опише все у Всесвіті. Проте в пошуках закінченої

загальної теорії криється фундаментальний парадокс. Сформульовані вище принципи створення наукових теорій передбачають, що ми раціональні істоти, здатні спостерігати Всесвіт у різні способи й робити логічні висновки з того, що бачимо. У такому разі логічно припустити, що ми могли б підбиратися дедалі ближче до законів, які керують нашим Усесвітом. І якби справді існувала повна об'єднана теорія, вона, можливо, визначила б наші власні дії. А значить, і результати наших пошуків самої об'єднаної теорії! І чому вона повинна зумовлювати те, що ми зробимо правильні висновки зі спостереженого? Чи не може виявитися, що з таким самим успіхом ми зробимо неправильні висновки? Або взагалі не зробимо жодних?

Єдина відповідь, яку можна дати на ці запитання, ґрунтується на принципі природного відбору Дарвіна. У будь-якій популяції самовідтворювальних організмів неминучі варіації в генетичному матеріалі й вихованні різних особин. Ці відмінності означають, що деякі індивідууми здатні судити про навколишній світ точніше за інших і відповідно діяти. Такі особистості матимуть нащадків, а отже, їхня поведінка й спосіб мислення домінуватимуть. Певна річ, те, що ми називаємо інтелектом і науковим мисленням, у минулому давало переваги в боротьбі за виживання. Не зовсім зрозуміло, однак, чи дає це такі переваги сьогодні. Наші наукові відкриття здатні знищити всіх нас, і, навіть якщо цього не станеться, повна об'єднана теорія не збільшить наші шанси на виживання. Однак, якщо Всесвіт розвивався за певними законами, ми могли б очікувати, що здатність до мислення, якою нагородив нас природний відбір, прислужиться в пошуках повної об'єднаної теорії, а отже, не приведе нас до помилкових висновків.

Оскільки часткові теорії, які ми вже маємо, достатні для того, щоб робити точні передбачення у всіх ситуаціях,

окрім найбільш екстремальних, то пошук остаточної теорії Всесвіту, схоже, важко виправдати міркуваннями практичної користі. (Варто, утім, зазначити, що такі аргументи могли використовувати й проти теорії відносності та квантової механіки, а вони дали нам ядерну енергію й революцію у сфері мікроелектроніки!) Тож відкриття повної об'єднаної теорії може й не сприяти виживанню людського роду. Воно може навіть не позначитися на нашому способі життя. Але відтоді, як зародилася цивілізація, люди відмовляються вважати явища позбавленими взаємозв'язків і незрозумілими. Вони прагнуть збагнути, що лежить в основі всієї світобудови. Сьогодні ми досі намагаємося дізнатися, звідки та яким чином з'явилися в цьому світі. Фундаментальний потяг людства до знання — достатня підстава для продовження пошуків. І наша мета — щонайменше повний опис Усе-світу, у якому ми живемо.