

Розділ 1

Вік Землі й Сонячної системи. Абсолютний і відносний вік. Геохронологічна шкала



Насамперед, варто відзначити, що для вчених сама по собі постановка питання про вік Землі була колись досить революційною, тому що «вік» передбачає наявність «дати народження». Звичайно, у кожній релігії якесь божество створює Землю з усіма істотами, що її населяють, із первісного Хаосу, але європейська наука успадкувала від античних філософів-матеріалістів принципово інше бачення світу. Для неї Земля завжди була невід'ємною частиною того самого Всесвіту, який «єдиний, нескінченний і непорушний... Він не народжується й не знищується... Він не може зменшуватися й збільшуватися» (Джордано Бруно). Але ось наприкінці доби Середньовіччя астрономи відкривають існування так званих нових зірок: з'ясувалося, що небеса не є абсолютно незмінними, як люди споконвіку вважали! Отже, у принципі можливі й найбільш рішучі (з погляду людства) з усіх можливих змін: початок і кінець існування Землі та видимої частини Всесвіту. А якщо так, то чи не можна спробувати встановити, коли був цей початок і яким буде кінець, — не вдаючись за допомогою до міфології (шість днів творіння, Сутінки богів тощо)?

Слід зазначити, що людей спочатку зацікавив вік не Землі як небесного тіла, а саме населеної Землі — як сказали б зараз, *біосфери*. Однак ясно, що, визначивши час виникнення життя, ми тим самим одержимо мінімальний термін існування і самої планети. А оскільки джерелом життя на Землі цілком справедливо вважають енергію Сонця, то вік нашого світила, у свою чергу, дає нам максимальний термін існування біосфери.

А встановити час існування Сонця — після того як були відкриті закони збереження речовини та енергії — здавалося фізикам доволі простим завданням. Сонце постійно випромінює енергію в простір, назад нічого не повертається, отже, кількість енергії в Сонячній системі має постійно убувати. Найбільш енергетично виграшний процес (із тих, що були відомі до ХХ століття) —

спалювання кам'яного вугілля; тепло та світло при цьому виникають унаслідок хімічної реакції $C + O_2 \rightarrow CO_2 + Q$. Оскільки нам відомі й величина Q_1 (кількість енергії, випромінюваної Сонцем за одиницю часу), і маса Сонця (вона була приблизно обчислена ще в XVII столітті), то розрахувати сумарний час існування вугільного багаття такого розміру можна буквально однією дією. Ось тут і з'ясувалося, що воно має згоріти вщент усього-на-всього за півтори тисячі років. Звичайно, існують речовини більш енергоємні за вугілля, але це не вирішує проблему: розрахунковий час існування Сонця все одно виявляється меншим за шість тисяч років, тобто меншим за час існування людської цивілізації. Звісно, це абсурд.

Треба було знайти джерело, яке живить своєю енергією Сонце,— інакше закон збереження енергії взагалі втрачав свою чинність. І от у 1853 році Г. Гельмгольцу вдалося запропонувати цілком прийнятну для того часу *гіпотезу*. Він припустив, що Сонце постійно стискається — його верхні шари під власною вагою ніби падають на нижні, а їхня потенційна енергія при цьому убуває (адже маса шарів постійна, а висота їхнього «підйому» над центром Сонця зменшується); саме «утратна» потенційна енергія верхніх шарів і виділяється у вигляді тепла та світла. Виникає запитання: яка швидкість цього стискання потрібна для того, щоб забезпечити нинішню світність Сонця? Відповідь така: зовсім невелика — за 250 років (тобто за весь час існування сучасної астрономії) усього-на-всього 37 км; для порівняння: нинішній діаметр Сонця — майже 1,5 млн км. Очевидно, що такі зміни діаметра жодними вимірювальними приладами не фіксуються.

Ця гіпотеза мала й один наслідок, котрий прямо стосується віку Землі. Якщо вважати, що світність Сонця (а відповідно, швидкість його стискання) колись була приблизно така сама, як зараз, то, згідно з розрахунками Гельмгольца, 18 млн років тому діаметр світила мав перевищувати нинішній діаметр орбіти Землі. Відтак, наша планета не може бути старшою за ці 18 млн років. Фізиків така цифра цілком задовольнила, і вони гадали, що питання про граничний вік Землі можна вважати вичерпаним, та от геологи повстали проти такого датування найрішучішим чином.

Справа в тому, що геологія на той час уже накопичила величезну кількість *емпіричних* даних про будову поверхневих шарів планети й про процеси, які відбуваються на ній (наприклад про рух гірських льодовиків, водну *ерозію* тощо). У 1830 році Ч. Лайель, виходячи з того, що геологічні процеси (насамперед накопичення

осадків) у минулому мали відбуватися приблизно з тією самою швидкістю, що й зараз (**принцип актуалізму***), підрахував, що час, необхідний для утворення одних тільки доступних для прямого вивчення осадових товщ, має становити кілька сотень мільйонів років. Розрахунки Лайеля ґрунтувалися на гігантському фактичному матеріалі й здавалися геологам та біологам набагато більш близькими до істини, ніж Гельмгольцеві 18 млн років. Однак логіка Гельмгольца теж здавалася незаперечною — із законом збереження енергії особливо не посперечаєшся... Для того щоб узяла гору точка зору геологів (а правильною, як тепер відомо, виявилась якраз вона), необхідно було знайти інше джерело енергії для Сонця замість гравітаційного стискання.

У 1896 році А. Беккерель відкрив явище **радіоактивності**. Радіоактивність виявилась одним із типів ядерних реакцій — змін у комбінаціях протонів і нейтронів, які складають атомне ядро; при цих реакціях виділяється незмірно більше енергії, ніж при будь-яких інших хімічних перетвореннях. У 1905 році А. Ейнштейн установив, що в ядерних реакціях масу можна розглядати як надзвичайно концентровану форму енергії, і вивів свою знамениту формулу їхньої еквівалентності: $E = mc^2$, де c — швидкість світла. Величина c^2 надзвичайно велика, а тому навіть незначна кількість маси *еквівалентна* величезній кількості енергії: 1 г маси = 21,5 млрд ккал (стільки енергії виділиться, якщо спалити 2,5 млн літрів бензину). Коли припустити, що Сонце отримує енергію за рахунок ядерних реакцій (яких саме — поки що не має значення, оскільки Ейнштейнова формула справедлива для них усіх), то для забезпечення його нинішньої світності необхідно витратити 4600 т речовини за секунду.

Чи багато це? Просто мізер: розрахунки показують, що зміна тяжіння Сонця, яка відбувається при цьому, призведе до збільшення часу обертання Землі навколо світила — тобто подовження земного року — усього на 1 секунду за 15 млн років, що, зрозуміло, не можна встановити жодними вимірами. Таким чином, проблема майже невичерпного джерела енергії для Сонця була вирішена, і тепер уже ніщо заважало прийняти геологічну оцінку віку Землі — «не менше кількох сотень мільйонів років».

Однак відкриття радіоактивності мало й іще один наслідок: це явище саме по собі дозволило створити новий метод визначення

* Докладніше див. у додатку до розділу 1.

віку планети, незрівнянно точніший за всі попередні. Суть його полягає ось у чому. Відомо, що атом урану нестабільний: він випускає енергію, потоки частинок і згодом перетворюється на атом свинцю — стійкого елемента, який зазнає подальших перетворень. Природа цього типу реакцій така, що швидкість ядерного розпаду абсолютно постійна й жодні зовнішні чинники (температура, тиск) на неї не впливають. Виходить, якщо експериментально визначити темп цих змін за короткий проміжок часу, то його можна цілком точно передбачити й для більш тривалого проміжку. Отже, було встановлено, що в будь-якій порції урану (точніше — *ізотопу* ^{238}U) половина атомів, які його складають, перетвориться на свинець за 4,5 млрд років; відповідно, через 9 млрд років урану залишиться $1/2$ від $1/2$, тобто чверть, і т. д. Строк 4,5 млрд років називають періодом напіврозпаду ^{238}U .

Припустімо, ми маємо гірську породу, яка містить сполуки урану. Якщо вона залишається нероздробленою, то всі атоми свинцю (на які постійно перетворюються атоми урану) залишаються всередині породи, унаслідок чого уран усе більше й більше «забруднюється» свинцем. Оскільки, як ми пам'ятаємо, зовнішні чинники не впливають на швидкість цього процесу, рівень «забруднення» буде залежати тільки від часу, впродовж якого порода залишалася монолітною. Остання обставина досить важлива: у такий спосіб можна встановлювати час утворення вивержених порід, але не осадових — ті завжди зруйновані, й уран-свинцеве співвідношення в них незворотно порушене міграцією цих елементів у навколишнє середовище.

Визначати вік вивержених порід **уран-свинцевим методом** (згодом з'явилися **калій-аргоновий, рубідій-стронцієвий** та інші*) почали в 1907 році й уже невдовзі виявили граніти віком до 1 млрд років. У ході подальших пошуків цей «максимальний відомий вік» швидко зростає, аж поки не досяг 3,5 млрд років, після чого, незважаючи на всі зусилля, майже не збільшувався; найдавніші з відомих мінералів були знайдені нещодавно в Австралії та Канаді — 4,2 млрд років**. Значить, Земля аж ніяк не молодша за 4,2 млрд років. Але, може, вона ще старша, а породи з віком 7 або, скажімо, 20 млрд років просто поки що не знайдені? Судячи з усього, ні — і ось чому. Справа в тому, що вік усіх вивчених із цього погляду метеоритів становить 4,5—4,6 млрд років;

* Найточнішим продовжує залишатися уран-свинцевий метод — коли співвідношення цих елементів визначають у зернах мінералу циркон.

** Нещодавня (у 2000 році, знову ж таки в Австралії) знахідка мінералів віком 4,4 млрд років потребує підтвердження.

вік усіх гірських порід, зібраних у дев'яти районах Місяця американськими експедиціями «Аполлон» і радянськими автоматичними станціями «Луна», так само варіює від 4 до 4,5 млрд років. Усе це свідчить про те, що цифра 4,6 млрд років правильно віддзеркалює реальний вік не тільки Землі, а й усієї Сонячної системи.

Отже, фізики піднесли геологам воістину царський подарунок: відтепер стало можливим досить точно визначити час існування Землі й довжину різних періодів її історії (палеозою, мезозою тощо). Як же сприйняли це геологи? Спокійно, щоб не сказати — байдуже. Справа в тому, що до власне геологічних проблем усе це, як не дивно, не має прямого відношення.

Фізики мислять у категоріях абсолютного часу: для них важливо, коли саме відбулася певна подія, а головна проблема, яку вони при цьому вирішують, — це проблема годинника (адже уран, що розпадається, — це, по суті, хитро влаштований пісковий годинник). Однак цілком очевидно, що час існує незалежно від того, є в нас прилади для його вимірювання чи немає. У багатьох випадках для нас важлива лише черговість подій («це відбулося після... але до...»), тим часом як їхнє чітке датування куди менш важливе. Розповідаючи про якусь подію, часто кажуть не «о 15-й годині», а «після обіду»; не «20 березня», а «як тільки зійшов сніг»; не «в 1939 році», а «перед війною» — і в цьому є досить глибокий сенс. Будь-яка послідовність подій уже сама по собі є часом — відносним часом. Так ось, геологи завжди працювали у світі цього самого відносного часу. Точність, з якою ми можемо визначити розташування певної події на шкалі відносного часу, прямо залежить від її дрібності (тобто числа подій, які складають шкалу) і повноти (події мають розподілятися на шкалі більш-менш рівномірно, не залишаючи «порожнеч»). Тому геологи вбачали своє завдання не в пошуку «годин», а в тому, щоб удосконалювати в зазначених напрямках шкалу відносного часу — *палеонтологічний літопис* (це не метафора, а термін).

Є два фундаментальні принципи (фактично це аксіоми), якими користуються геологи при вивченні історії. Перший — **принцип Стено**, або **закон нашарування**: якщо один шар гірських порід лежить на іншому, то верхній шар утворився пізніше за нижній. Другий — **принцип Гекслі**, або **закон фауністичних і флористичних асоціацій**: шари, які містять викопні рештки одних і тих самих видів *тварин* і рослин, утворилися в один і той самий час. Перший принцип дозволяє встановити хронологічний порядок утворення гірських порід в одному місці, другий — синхронізувати між собою шари, що залягають у різних місцях (рис. 1, а).