

Ile lat ma Ziemia?

Dr Lidia GOETTIG



Na pytanie, kiedy powstał otaczający ich świat, ludzie starali się odpowiedzieć od początków swych dziejów. Dopiero jednak metoda datowania promieniotwórczego, rozwinięta w tym stuleciu, umożliwiła wyznaczenie wieku Ziemi na drodze doświadczalnej z dokładnością do paru procent.

Pierwsze teorie kosmologiczne utożsamiały narodziny Ziemi z powstaniem Wszechświata, a pierwsze oceny wieku Ziemi, choć zupełnie fałszywe, były podawane z ogromną dokładnością. Na przykład Majowie wierzyli, że Wszechświat, który miał według nich cyklicznie powstawać i ulegać zagładzie, został ostatnio odtworzony na nowo w roku 3114 p.n.e. W pierwszym wieku naszej ery w Chinach przyjmowano, że okres trwania Wszechświata wynosi 23 639 040 lat. Największą jednak dokładnością poszczycić się mógł w połowie siedemnastego wieku arcybiskup Ussher, który na podstawie Biblii wykonał obliczenia, z których wynikało, że akt stworzenia Wszechświata miał miejsce 26 października roku 4004 p.n.e. o godz. 9 rano w Mezopotamii.

Michał W. Łomonosow (połowa XVIII w.) był jednym z pierwszych, którzy wskazali na to, iż Ziemia mogła powstać niezależnie od reszty świata i oszacował wiek Ziemi na kilkaset tysięcy lat. W roku 1779 hrabia de Buffon próbował wyznaczyć wiek Ziemi na drodze doświadczalnej. Badając na małym modelu tempo ochładzania się Ziemi od pierwotnego stanu gorącego stwierdził, iż Ziemia liczy sobie około 75 tysięcy lat. W tym czasie przeważał jednak powszechnie pogląd, iż Ziemia jest znacznie starsza. Średniowieczne teorie katastroficzne ustąpiły bowiem miejsca skrajnemu uniformitarianizmowi, według którego tempo zmian i rola czynników przyrodniczych nie ulegały nigdy zmianie w przeszłości i są takie jak w chwili obecnej. Prowadziło to do uznania wieczności Ziemi. Stanowisko takie prezentowali w geologii m.in. James Hutton i Charles Lyell. Na podstawie analizy skał i gleby, w których zaczęto wyróżniać regularne warstwy, próbowali oni szacować czas trwania różnych okresów geologicznych, ale nie znajdowali, jak pisał Hutton w swojej książce *Theory of the Earth (Teoria Ziemi, 1795 r)*, „ani śladów początku, ani zapowiedzi końca”.

Tezę o wieczności Ziemi odrzucił stanowczo fizyk z Glasgow William Thomson (późniejszy lord Kelvin) i w roku 1862 opublikował wyniki swoich obliczeń wieku Ziemi. Uważał on, jak i wielu innych fizyków jemu współczesnych, że na początku Ziemia była w stanie ciekłym, następnie powierzchnia jej ostygła i utwardziła się, ale rdzeń ciągle jeszcze pozostaje gorący. Thomson obliczył więc, jak długo Ziemia musiała stygnąć, aby osiągnąć stan obecny. Założył on, że jedynym źródłem ciepła (poza niewielkim wkładem od grzania Słońca) było ściskanie grawitacyjne, a promieniowanie prowadziło do utraty ciepła. W rezultacie ocenił wiek Ziemi na 20–40 mln lat, w każdym bądź razie mniej niż 100 mln lat.

Wyniki Thomsona zaszokowały biologów i geologów. Nie mogli się oni pogodzić z tak znacznym ograniczeniem dotychczasowej skali czasu. Charles Darwin uważał, że złożone organizmy wymagały o wiele więcej niż 40 mln lat, aby osiągnąć obecny stan ewolucyjny. Ale również i inne próby rachunkowego oszacowania wieku Ziemi podjęte w tym czasie potwierdzały wynik Kelvina. Ocenę 100 mln lat otrzymali: amerykański astronom Simon Newcomb i fizyk niemiecki Herman von Helmholtz na podstawie obliczeń czasu potrzebnego na to, aby obłok pyłu międzygwiazdowego skurczył się grawitacyjnie do rozmiarów Słońca. George M. Darwin (syn Charlesa), astronom z Cambridge, otrzymał wyniki zgodne z oceną Kelvina rozważając z kolei efekty działania tarcia przyprływowego.

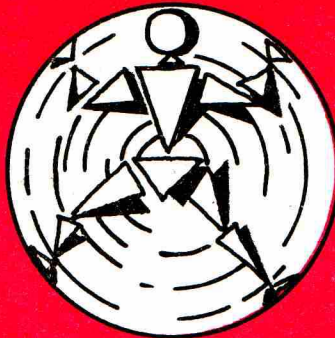
Z czasem geolodzy zaczęli się więc przekonywać do tych wyników znajdując nawet dla nich potwierdzenie doświadczalne. W roku 1868 Archibald Geikie, geolog szkocki, na podstawie badania tempa erozji wywnioskował, iż Ziemia nie ma więcej niż 100 mln lat. W roku 1899 John Joly z Uniwersytetu w Dublinie zaproponował nową technikę geologiczną wyznaczania wieku Ziemi na podstawie stopnia zasolenia oceanów. Założył on mianowicie, że zasolenie wynika w całości z rozpuszczenia mineralnych osadów i że może ono tylko rosnąć z upływem czasu. Również i z tych badań wynikała ocena podobna: 80–90 mln lat. Tak więc, pod koniec dziewiętnastego wieku ugruntował się pogląd oparty zarówno na wynikach badań teoretycznych, jak i doświadczalnych, iż Ziemia powstała jakieś 100 mln lat wcześniej.

Następne słowo miało już należeć do fizyki jądrowej. Ten nowy dział fizyki narodził się w 1896 r. razem z odkryciem promieniotwórczości przez A. Henriego Becquerela. Konsekwencje tego odkrycia dla geologii były ogromne. Po pierwsze, kiedy w roku 1903 George Darwin i John Joly doszli do wniosku, że promieniotwórczość jest częściowo przynajmniej odpowiedzialna za ciepło Ziemi, stało się jasne, że wyniki obliczeń Kelvina, który pominął ten efekt, muszą być zaniżone. Po drugie, odkrycie to już wkrótce zrewolucjonizowało eksperymentalne techniki geologiczne oznaczania wieku skał. W ciągu kilku pierwszych lat naszego stulecia uświadomiono sobie, że obecność produktów rozpadu promieniotwórczego w skale świadczą może o jej wieku.



Rozwiązanie zadania M 575.

Najprostsza metoda konstrukcji wynika z następującego spostrzeżenia: oznaczmy przez S obrót o 60° wokół punktu p . Jeżeli teraz okręgi $S(O_1)$ i O_2 (lub $S^{-1}(O_1)$ i O_2) przecinają się w pewnym punkcie d , to trójkąt pd , gdzie $e = S^{-1}(d)$ (lub $e = S^{-1}(S^{-1}(d))$) jest równoboczny. Istotnie $|pd| = |pe|$ oraz $\angle dpe = 60^\circ$. Stąd, aby zbudować trójkąt, należy znaleźć obraz jednego z okręgów przy obrocie wokół punktu p o 60° lub o -60° .



Metoda promieniotwórczego datowania skał ma zasadniczą przewagę nad wszystkimi innymi metodami, a mianowicie można śmiało przyjąć, że prawdopodobieństwa rozpadów jądrowych nie zależą od warunków, które panowały na Ziemi w różnych stadiach jej rozwoju. Takie podejście nie ma uzasadnienia w przypadku metody opartej np. o pomiary zasolenia, gdzie wyniki zależą silnie od przyjętych założeń co do temperatury, opadów itp. Technika radioaktywnego datowania skał zapoczątkowali Ernest Rutherford i radiochemik Bertram B. Boltwood. W 1904 r. Rutherford zaproponował metodę opartą na badaniu zawartości helu (cząstki α emitowane w rozpadzie) w minerałach.

W 1905 r. Boltwood opracował metodę opartą na pomiarze stosunku ilości uranu do ołowiu (który jest produktem rozpadu uranu) i ocenił wiek posiadanych próbek na 92 do 570 mln lat. Wyniki te były obarczone poważnym błędem, wynikającym m.in. z wtedy jeszcze słabej znajomości czasu rozpadu uranu. Zasada metody promieniotwórczego datowania jest bardzo prosta. Przypuśćmy, że mamy początkowo w próbce pewną (nieznana) liczbę N_0 jąder izotopu promieniotwórczego, rozpadającego się z emisją jakiegoś promieniowania (może to być α , β lub γ). Mamy więc przemianę jąder wyjściowych w jądra – produkty przemiany, przy czym niech średni czas życia jąder wyjściowych wynosi τ (jest nam znany). Wynika stąd, że po czasie t pozostanie w próbce $N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ jąder wyjściowych i utworzy się $N' = N_0 - N$ jąder – produktów. Badając stosunek liczby jąder wyjściowych do produkowanych w danej próbce możemy więc określić wiek próbki, a mianowicie: $t = \tau \ln(1 + N'/N)$. Założyliśmy tutaj, że mamy do czynienia z najprostszym przypadkiem schematu rozpadu; tak w istocie wygląda rozpad jąder ^{87}Rb , ale inne izotopy promieniotwórcze, stosowane do oznaczania wieku, mają bardziej skomplikowane schematy rozpadu. Przedstawia to tabela.

Jądro	Schemat rozpadu	Średni czas życia [10^9 lat]
rubid 87	$^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr} + \beta$	71,8
potas 40	$^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar}$ (wychwyt elektronu) $\rightarrow ^{40}\text{Ca} + \beta$	17,0 2,12
tor 232	$^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb} + 6\alpha + 4\beta$	20,05
uran 235	$^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb} + 7\alpha + 4\beta$	1,02
uran 238	$^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + 8\alpha + 6\beta$	6,49

Choć zasada prosta, w praktyce pojawiają się jednak problemy. Po pierwsze, ilości izotopów promieniotwórczych i ich produktów są zwykle bardzo małe – rzędu 0,0001%, z wyjątkiem rud uranowych. Pomiary tak małych ilości wymagają więc ogromnych dokładności. Wymagana jest też dokładna znajomość średnich czasów życia. Ale krytycznym czynnikiem wpływającym na dokładność wyniku jest możliwość, iż dany izotop (wyjściowy bądź będący produktem rozpadu) może być dostarczony lub usunięty ze skały w jakiś inny niż wynikający z rozpadu sposób. Na przykład ołów w skałach może pochodzić nie tylko z rozpadu uranu czy toru, ale mógł znajdować się w próbce od samego początku. Z kolei argon, będąc gazem, może uchodzić ze skały, jeśli zostanie ona dostatecznie podgrzana, tak więc wiek wyznaczony na podstawie stosunku potas–argon w rzeczywistości określa czas, jaki upłynął od ostatniego podgrzania skały.

Wiek najstarszych skał znalezionych na Ziemi oznaczono na około 3800 mln lat, przy czym, co ciekawe, znajdują się one w pobliżu środków kontynentów, a im dalej od środka, tym skały są młodsze. Rezultat powyższy określa dolną granicę wieku skorupy ziemskiej, ale niekoniecznie wyznacza moment narodzin Ziemi. Na podstawie badań meteorytów (zakładając, że miały one wspólny z Ziemią początek) oszacowano czas narodzin pierwotnej Ziemi na około 4600 mln lat temu. Wyniki datowania próbek gleby Księżyca wskazują, iż wiek Układu Słonecznego jest „nieco” dłuższy i wynosi około 4700 mln lat.

Na zakończenie warto sobie uświadomić skalę czasu. A więc, wyobraźmy sobie zamiast naszej Ziemi, liczącej 4600 mln lat, osobnika, który właśnie skończył 46 lat (to prostsze!) i w czasie przyjęcia urodzinowego sięga pamięcią wstecz. Okazuje się, że miał lat 11, gdy pojawiły się pierwsze żyjące organizmy – prymitywne bakterie. Pierwsze złożone organizmy powstały dopiero przed 8 laty. Dinozaury nadeszły około 2 lata temu i panowały przez półtora roku. Półtora tygodnia temu mały czelkoksztaltne przekształciły się w małpopodobnych ludzi, a jeszcze przed godziną obszar Europy Płn. i Wielkich Jezior w Ameryce Płn. pokrywały ostatnie lądolody. Mniej więcej trzy kwadransy upłynęły od chwili, gdy człowiek podjął pierwsze próby uprawy ziemi, a pół godziny temu narodziła się cywilizacja Sumerów w Mezopotamii. Rewolucja przemysłowa rozpoczęła się zaledwie przed minutą. Jeszcze 40 s temu Kelvin przekonywał jubilatą, iż ten liczy sobie tylko 1 rok, ale już od 21 s wszyscy są zgodni, że to jednak 46 urodziny. A więc wszystkiego najlepszego i STU LAT!



Rozwiązanie zadania M 576.

Niech A będzie podzbiorem zbioru $\{1, \dots, 10\}$. Wówczas przez $r(A)$ oznaczamy resztę z dzielenia liczby $\sum_{i \in A} a_i$ przez 1023. Liczby $r(A)$

mogą przyjmować wartości tylko ze zbioru $\{0, \dots, 1022\}$, natomiast jest ich tyle, ile podzbiorów zbioru dziesięcioelementowego, czyli $2^{10} = 1024$. Stąd, dla pewnych różnych zbiorów A i B , $r(A) = r(B)$.

Zdefiniujmy $\epsilon_i = 1$ dla $i \in A \setminus B$, $\epsilon_i = -1$ dla $i \in B \setminus A$ oraz $\epsilon_i = 0$ dla pozostałych i . Wtedy

$\sum_{i=1}^{10} \epsilon_i a_i = \sum_{i \in A} a_i - \sum_{i \in B} a_i$ jest podzielna

przez 1023. (Wszystkie ϵ_i nie mogą być równe 0, bo co najwyżej jeden spośród zbiorów A, B jest pusty, a $A \neq B$.)