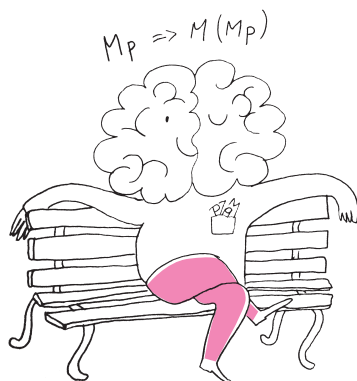


## Prosto z nieba: Co z tego, że świeci Słońce?

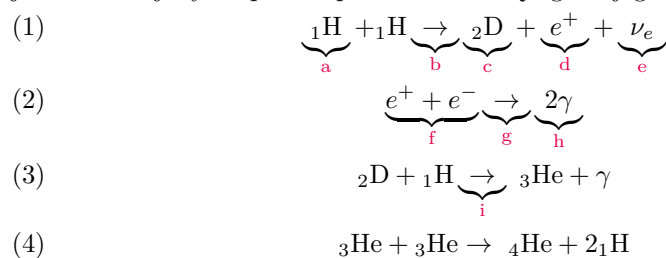
W jaki sposób Słońce wytwarza ogromną ilość energii niezbędnej do podtrzymania życia na Ziemi? Począwszy od pierwszej połowy XIX wieku pytanie to było nie lada wyzwaniem dla astronomów i fizyków teoretycznych, którzy spierali się o to gorąco z geologami i biologami ewolucyjnymi, a problemem pogodzenia wieku Słońca i Ziemi zajmowali się najznamienitsi fizycy epoki. Dziewiętnastowieczni fizycy uważali, że źródłem energii słonecznej jest grawitacja. W wykładzie z 1854 roku Hermann von Helmholtz zaproponował model, w którym energia Słońca pochodzi z grawitacyjnego kurczenia się (i związanego z tym rozgrzewania) dużej masy – czyli konwersję energii grawitacyjnej na ciepło; podobne hipotezy stawiali nieco wcześniej Julius von Mayer i John James Waterston. William Thomson, lord Kelvin, oszacował wiek Słońca – a zatem też i Ziemi – w następujący sposób. Obliczył energię grawitacyjną Słońca i podzielił wynik przez tempo, w jakim promieniuje ono energię, co daje czas życia rzędu zaledwie 30 milionów lat. Dla porównania, drugi co do atrakcyjności pomysł, czyli produkcja energii dzięki reakcjom chemicznym (np. spalaniu węgla), daje znacząco gorszy wynik – czas rzędu tysięcy lat.

Całkowita energia potencjalna (dla uproszczenia, jednorodnej) kuli o masie  $M$  i promieniu  $R$  to  $U = -3GM^2/(5R)$ . W przypadku Słońca  $U_{\odot} \simeq 4 \cdot 10^{41}$  J. Jasność Słońca, czyli moc emitowanego promieniowania, to  $L_{\odot} \simeq 4 \cdot 10^{26}$  W. Dzielnik  $U_{\odot}/L_{\odot}$  dostajemy prawie dokładnie 30 milionów lat.



Podczas gdy fizycy koncentrowali się na pochodzeniu promieniowania, biologowie i geolodzy rozważali jego wpływ na procesy zachodzące na Ziemi i związane z tym skale czasowe. W 1859 roku Karol Darwin w pierwszym wydaniu swojego dzieła *O powstawaniu gatunków przez dobór naturalny* dokonał zgrubnego oszacowania wieku Ziemi na podstawie obserwacji w dolinie Weald na południu Anglii. Uzyskał wiek Ziemi około 300 milionów lat – zupełnie wystarczający, by dobór naturalny wytworzył obserwowaną różnorodność gatunków istniejących na Ziemi, ale jednocześnie drastycznie niezgodny z obliczeniami Kelvina.

Dziś wiemy, że Kelvin się mylił, a geolodzy i biologowie mieli rację. Różne pomiary, m.in. radioaktywne datowanie meteorytów, wykazują, że wiek Słońca i Układu Słonecznego to około 4,6 miliarda lat. Tę „niewielką” pomyłkę można jednak wybaczyć – w tamtych czasach nie wiedziano o innych, bardziej efektywnych metodach produkcji energii, czyli o możliwości przekształcania masy w energię w reakcjach jądrowych. Odkrywczy tej nowej dziedziny – fizyki jądrowej – to Wilhelm Roentgen (promieniowanie X, 1895 r.), Henri Becquerel (naturalna radioaktywność soli uranu, 1896 r.), Maria Skłodowska-Curie i Pierre Curie (szczegółowe badania spontanicznej radioaktywności pierwiastków i dowód na to, że promieniowanie pochodzi wprost z atomów, a nie z oddziaływania między nimi), Ernest Rutherford (podwaliny fizyki jądrowej). Przełom w zrozumieniu, jak działa Słońce, dokonał się w około 40 lat. Poniżej jedna z wersji cyklu proton-proton zachodzącego w jego wnętrzu:



Cykl kończy się wyprodukowaniem 26,73 MeV energii, z których przeważającą większość doceniamy później na Ziemi.

Zatrzymajmy się na chwilę w tym miejscu, żeby docenić także, ile ciekawej wiedzy znajduje się w tych równaniach. Dowiadujemy się z nich o: **a** jądrach atomowych, **b** reakcjach jądrowych, **c** istnieniu izotopów, **d** antymaterii, **e** oddziaływaniach słabych, **f** cząstkach przenoszących ładunek elektryczny, **g** zamianie materii na promieniowanie, **h** fotonach gamma, **i** transmutacji; czyli spełnieniu snów alchemików starających się przez stulecia zamienić jedne pierwiastki w inne.

Inspirowane noblowskim wykładem Johna Bahcalla i wykładem TED Davida Deutchta pt. *A new way to explain explanation*.

Michał BEJGER