

1)

Chemická Zem

VZNIK PLANÉTY



NA ZAČIATKU BOLA... nuž... štipka, smietka, škvrnka, nepochopiteľne malá, ale zároveň s nepredstaviteľnou hustotou. Nebola to lokalizovateľná koncentrácia látok v obrovskej prázdnote vesmíru. To *bol* vesmír. Kde sa vzal, to nikto netuší.

Rovnako záhadné je aj to, čo – ak vôbec niečo – prišlo predtým, no asi pred 13,8 miliardami rokov sa toto prapôvodné jadro vesmíru začalo rapídne rozširovať – až nastal „Veľký tresk“, ktorý rozpútal nesmierny vonkajší príliv energie a hmoty. Nie horniny a minerály našej každodennej existencie, ani atómy, z ktorých sú zložené horniny, vzduch a voda. Na úsvite vesmíru tvorili hmotu kvarky, leptóny a gluóny, kuriózne usporiadanie subatomárnych častíc, ktoré napokon splynuli do atómov.

Naše chápanie vesmíru a jeho histórie pramení do značnej miery z najpomínuteľnejšieho zo zdrojov: zo svetla. Svetielkujúce špendlíky, ktoré sformovali nočnú oblohu, sa môžu javiť ako nepravdepodobné historické knihy, avšak pochopiť, ako sa vyvinul vesmír, nám pomáhajú dve vlastnosti svetla. Po prvé, intenzita rôznych vlnových dĺžok prichádzajúceho žiarenia ukazuje na zloženie jeho zdroja. Naše oči dokážu zachytiť len úzky rozsah vlnových dĺžok, ale hviezdy a iné nebeské telesá vyžarujú a pohlcujú široké spektrum žiarenia, od rádiových a mikrovln až po röntgenové a gama lúče, z ktorých každý vypovedá vlastný príbeh. A čo je dôležité, svetlo sa vo vesmíre riadi presným rýchlostným obmedzením: 299 792 458 metrov za sekundu. Slnéčné svetlo je

vyžarované osem minút a dvadsať sekúnd predtým, ako ho vidíme. Svetlo, ktoré zaznamenávame z hviezd a ďalších telies, bolo z najvzdialenejších objektov vyžiarené oveľa, oveľa skôr. To je to, čo robí z našej hviezdnej oblohy knihu nebeských dejín.

Po oblohe rovnomerne rozptýlené mikrovlny vypovedajú o Veľkom tresku a jeho bezprostredných následkoch, pričom žiarenie prvej generácie hviezd, ktoré sa sformovali niekoľko stotisíc rokov po začiatku času, sa k nám ešte len dostáva. Ako vznikli tieto prvé hviezdy? Všetko to súvisí s gravitáciou, architektkou vesmíru. Gravitácia popisuje príťažlivosť medzi rôznymi objektmi, pričom jej sila je určená hmotnosťou objektov a vzdialenosťou medzi nimi. Keď sa atómy sformovali v ranom rozpínaní sa vesmíre, gravitácia ich začala ťahať k sebe. Lokálne zhluky rástli, zosilňovali svoj gravitačný ťah, až napokon skolabovali do horúcich hustých gúl, takých horúcich a takých hustých, že vodíkové jadrá splynuli a vytvorili hélium, čím uvoľnili svetlo a teplo. V takýchto podmienkach sa zrodí hviezda. Veľké, horúce a krátkodobé, tieto prvé hviezdy určovali smer všetkého, čo prišlo neskôr, vrátane nás.

Hmota generovaná Veľkým treskom pozostávala väčšinou z atómov vodíka, najjednoduchšieho z prvkov, spolu s trochou deutéria (vodík s pridaným neutrónom) a hélia. Vytvorilo sa tiež malé množstvo lítia spolu s ešte menším množstvom ďalších ľahkých prvkov. Iného veľa nebolo. V skutočnosti tam však bolo aj čosi ďalšie, hoci to nevieme celkom presne odhadnúť. V 50. rokoch 20. storočia začali astronómovia na výpočet gravitačnej príťažlivosti v hlbokom vesmíre používať pohyby hviezd a galaxií (zoskupenie

hviezd, plynu a prachu, ktoré drží pohromade, opäť ako inak, gravitácia). Keď ale spočítali hmotnosť všetkých známych objektov na oblohe, zistili, že to nekorešponduje s ich pozorovaniami. Tam vonku muselo byť aj niečo iné, niečo, čo reaguje s normálnou hmotou pomocou gravitácie, ale nereaguje so svetlom. A to niečo astronómovia nazvali temnou hmotou. Astronómovia sa síce snažia prísť na to, čo by temná hmota mohla byť, ale nikto si nie je istý. Ešte záhadnejšia je temná energia, ktorej objasnenie je na vysvetlenie fungovania vesmíru považované za nevyhnutné. Predpokladá sa, že temná hmota spolu s temnou energiou, ako záhadné zložky, ktoré nedokážeme detegovať, ale o ktorých sa predpokladá, že hrali hlavnú úlohu pri formovaní vesmíru, tvoria asi 95 % všetkého, čo existuje. Stále sa máme čo učiť.

Vráťme sa k tradičnej hmote. S nástupom veku hviezd bol vesmír studeným rozptýleným koktailom (prevažne) atómov vodíka. Prvé hviezdy generovali viac hélia, ale nič, z čoho by ste stvorili Zem (pozrite tabuľku na ďalšej strane). Odkiaľ sa vzalo železo, kremík a kyslík, potrebné na vznik našej planéty? A čo uhlík, dusík, fosfor a ďalšie prvky, ktoré tvoria naše telo? Tieto a všetky ďalšie prvky pochádzajú z nasledujúcich generácií hviezd, zlievarní atómov, ktoré jedného dňa sformovali našu planétu. Pri vysokých teplotách a tlakoch sa vo veľkých hviezdach zlúčili ľahké prvky a premenili sa na uhlík, kyslík, kremík a vápnik, zatiaľ čo železo, zlato, urán a ďalšie ťažké prvky vznikli pri obrovských hviezdnych explóziách nazývaných supernovy. Tvár, ktorú vidíte v zrkadle, môže byť stará desaťročia, no pochádza z prvkov, ktoré sa pred miliardami rokov vytvorili v starodávnych hviezdach.

ZLOŽENIE PRVKOV ZEME A ŽIVOTA

(percentuálne, podľa hmotnosti)

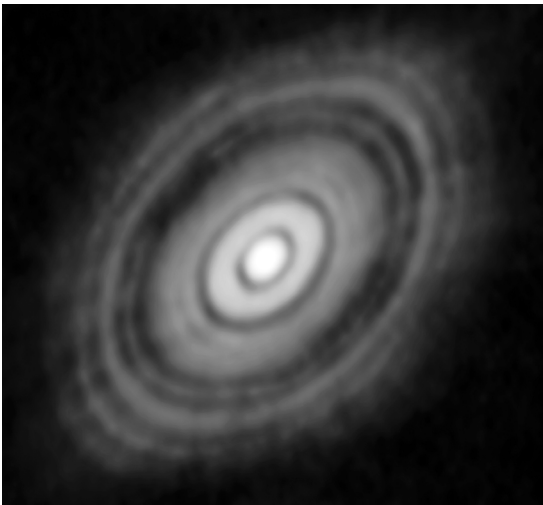
Zem	
železo	33
kyslík	31
kremík	19
horčík	13
nikel	1,9
vápnik	0,9
hliník	0,9
ostatné	0,3
Bunky v ľudskom tele:	
kyslík	65
uhlík	18
vodík	10
dusík	3
vápnik	1,5
fosfor	1
ostatné	1,5

Nezmernosťou času sa hviezdy formovali a zanikali, pričom každým cyklom narastala škála prvkov dnes nahromadených na Zemi i v živote samotnom. Galaxie splynuli a vznikli čierne diery

(oblasti také husté, že z nich neunikne žiadne svetlo), pomaly formujú vesmír, ktorý pozorujeme dnes.

My predstavujeme príbeh starý asi 4,6 miliárd rokov. Zameriavame sa na nenápadný mrak atómov vodíka spolu s malým množstvom plynu, ľadu a minerálnych zŕn v špirálovitom ramene nevýraznej galaxie nazývanej Mliečna cesta. Spočiatku bol mrak veľký, rozptýlený a studený (skutočne studený, s teplotami až -263 °C).

Pravdepodobne postrčený neďalekou supernovou sa tento mrak začal rútiť do oveľa menšej, hustejšej a horúcejšej hmloviny. Ako sa už inde vo vesmíre stalo miliardy ráz, gravitácia nakoniec vtiahla väčšiu časť mraku do horúcej hustej centrálnej hmoty – nášho Slnka. Väčšina vodíka hmloviny skončila v Slnku, ale ľad a minerálne zrná sa presunuli na disk, ktorý sa otáčal okolo našej rodiacej sa hviezdy a zhruba pripomínal prstence drobných častíc, ktoré dnes obklopujú Saturn (Obrázok 1). Sprvu bol disk



OBRÁZOK 1: Tento pozoruhodný záber zachytený *Atacama Large Millimeter Array* (Atakamská veľká milimetrová anténa sústava – ALMA) ukazuje HL Tauri – mladú hviezdu podobnú Slnku a jej protoplanetárny disk. Na obrázku zreteľné prstence a medzery zaznamenávajú vznikajúce planéty, ktoré zbavujú svoje obežné dráhy prachu a plynu. Naša slnečná sústava mohla pred 4,45 miliardami rokov vyzeráť veľmi podobne. *Odfotené rádioteleskopom ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/NASA/ESA.*

dostatočne horúci na to, aby sa odparili minerály a ľady, z ktorých sa vytvoril. V priebehu miliónoch rokov sa však začal ochladzovať, rýchlejšie na svojom vonkajšom okraji a pomalšie v blízkosti slnečného tepla.

Z každodenných skúseností vieme, že rôzne látky sa topia alebo kryštalizujú pri rôznych teplotách. Napríklad na zemskom povrchu sa voda mení na ľad pri 0°C , ale suchý ľad z oxidu uhličitého zamrzne pri oveľa nižších teplotách ($-78,5^{\circ}\text{C}$). Rovnakým spôsobom kryštalizujú minerály nachádzajúce sa v horninách z tavenín pri teplotách od stoviek do viac ako tisíc stupňov Celzia. Z tohto dôvodu pri ochladzovaní planetárneho disku skryštalizovali rôzne materiály na pevné látky v rôznych časoch a na rôznych miestach a to všetko v závislosti od príslušnej vzdialenosti od zdroja tepla. Najskôr sa vytvorili oxidy vápnika, hliníka a titánu, potom kovové železo, nikel a kobalt a až neskôr, mimo dosahu Slnka, sa pridala hranica mrazu, ľadov vody, oxidu uhličitého, oxidu uhoľnatého, metánu a amoniaku – materiálov oceánov, vzduchu a života. Kusy minerálov a ľadu sa zrazili a vytvorili väčšie častice a tie sa zlúčili do ešte väčších telies. V priebehu niekoľkých miliónoch rokov zostala na miestach, kde sa kedysi otáčal disk, iba hrstka veľkých sférických štruktúr. „Treťou skalou zo Slnka“ bola Zem, kamenná hmota obiehajúca okolo Slnka vo vzdialenosti asi 150 miliónoch kilometrov.

AKO PRESNE SA sformovala Zem a čo sa môžeme dozvedieť o jej počiatkoch? Ak svetlo zaznamenáva históriu vesmíru, príbeh našej

planéty rozprávajú horniny. Keď hl'adíte na *Grand Canyon* alebo žasnete nad vrcholmi lemujúcimi jazero *Louise*, prezeráte si prírodnú knižnicu histórie Zeme, vpísanej do kameňa. Usadeniny – ploché kamene, piesky či bahno z erózie skorších hornín, vápence vyzrážané z vodných más – sa rozšírili v riečnych nivách a na morskom dne, zaznamenávajúc fyzikálne, chemické a biologické vlastnosti povrchu planéty v čase a priestore svojho vzniku vrstvu po vrstve. Horniny vyvreté z roztavených materiálov hlboko vo vnútri Zeme – rovnako ako horniny metamorfované z pôvodných sedimentárnych alebo magmatických hornín pri zvýšenej teplote a tlaku hlboko v Zemi – nám hovoria o dynamickom vnútri našej planéty viac. Všetky tieto horniny ponúkajú veľký príbeh o vývoji Zeme od mladosti do dospelosti, o evolúcii života od baktérie po človeka a – azda najohromujúcejší príbeh zo všetkých – o spôsoboch, akými sa fyzikálna (neživá) a biologická Zem navzájom ovplyvňovali v čase. Aj po štyridsiatich rokoch pôsobenia ako geológ ma stále ohromujú útesy pozdĺž pobrežia *Dorsetu* v južnom Anglicku, ktoré mi umožňujú predstaviť si, akú podobu mala Zem pred 180 miliónmi rokov. Ešte pozoruhodnejšie, ako uvidíme, sú horniny, ktoré hovoria o Zemi a živote pred miliardami rokov.

Ak sa pozriete pozorne na impozantné vrcholy Skalnatých vrchov alebo Álp, môžete zaznamenať d'alší aspekt histórie Zeme. Ich tvary podobné zubom neodrážajú usadenie. Naopak, sformovali sa pod vplyvom erózie, fyzikálnych a chemických procesov, ktoré ošúchávajú horniny a vymazávajú ich príbehy. Zem jednou rukou píše svoju históriu a druhou ju maže a čím hlbšie v čase sa vraciame, tým je vymazaného viac. Naša planéta sa scelila pred asi

4,45 miliardami rokov, ale vek najstarších známych hornín Zeme sa datuje iba na zhruba 4 miliardy rokov. Staršie horniny určite existovali, ale boli oderodované či pochované a metamorfózou premenené na nepoznanie. Niektoré možno na odľahlých kanadských alebo sibírskych stráňach ešte stále čakajú na odhalenie, no prvých 600 miliónov rokov histórie Zeme predstavuje do veľkej miery temný vek našej planéty.

Ako môžeme rekonštruovať počiatok Zeme s absenciou historických záznamov? Ukázalo sa, že máme záložné kópie, uložené, takpovediac, mimo server. Horniny, na ktoré poukazujem, sú meteority, kamenní preživší z ranej slnečnej sústavy, ktoré občas padajú na Zem. Naša dôvera v to, že sa Zem a ďalšie planéty sformovali pred viac ako 4,5 miliardami rokov, pochádza z geologických „hodín“ zachytených v mineráloch, ktoré tvoria tieto špeciálne horniny (viac o datovaní histórie Zeme sa dočítate ďalej). Niektoré meteority (nazývané chondrity) pozostávajú zo zaoblených milimetrových granúl, tzv. chondrúl, o ktorých sa predpokladá, že uchovávajú tie drobné častice, ktoré sa zrazili, aby počas najskorších fáz formovania planéty vytvorili väčšie telesá (Obrázok 2). Tento názor podporujú dôkladné štúdie zloženia chondruly, obsahujúcej prvky, ako vápnik, hliník a titán, ktoré kondenzovali ako prvé, keď sa náš slnečný disk začal ochladzovať. Rovnako boli z ned'alekej supernovy vyvrhnuté aj vzácne zrná, ktoré neskôr zlikvidoval vznik slnečnej sústavy. Chondritické meteority nielenže uchovávajú priamy záznam o ranej slnečnej sústave, ale ich chemické zloženie naznačuje, že ony sú hlavným materiálom, z ktorého sa sformovala samotná Zem.

V priebehu niekoľkých miliónov rokov sa väčšina kameňov a ľadu okolo nášho Slnka nahromadila do planét. Podľa zaužívanej predstavy sa prachové častice zlepili a vytvorili väčšie zrná, ktoré zase agregovali do ešte väčších telies, až nakoniec sformovali planetesimály – kilometrové kamenné bloky podobné mnohým asteroidom, ktoré sa dnes vyskytujú medzi obežnými dráhami Marsu a Jupitera. Alternatívna hypotéza tvrdí, že telesá podobné planéte sa hromadili priamo z častíc veľkosti okruhiakov. V každom



OBRÁZOK 2. Meteorit *Allende* – uhlíkatý chondrit, ktorý dopadol na Zem v roku 1969. Zaoblené zrná vo vnútri sú chondruly, kamenné sféroidy, ktoré sa vytvorili na začiatku histórie našej slnečnej sústavy a zoskupili sa do väčších telies, ktoré napokon vytvorili vnútorné planéty našej slnečnej sústavy, vrátane Zeme. Uhlíkaté chondrity obsahujú vodu aj organické molekuly, teda materiály, ktoré nakoniec skončili v našej atmosfére, oceánoch a biosfére. Mierkový blok má na každej strane veľkosť 1 centimeter. *Zdroj: Matteo Chinellato (cez Wiki, Creative Commons)*

prípade, keď sa hromadenie blížilo k vrcholu, zostalo len asi sto telies s veľkosťami od Mesiaca po Mars. Tie sa mali zraziť a vytvoriť tak planéty našej slnečnej sústavy. Jedna takáto kataklizma hlboko zasiahla náš budúci domov. Niekoľko desiatok miliónov rokov po tom, čo sa Zem zväčšila, narazilo do našej mladej planéty teleso veľkosti Marsu, ktoré vyvrhlo do vesmíru horniny a plyn. Veľká časť vyvrhnutého materiálu sa nakoniec spojila a vytvorila relatívne malú kamennú guľu pripútanú k trvalej obežnej dráhe okolo Zeme. Mesiac v splne, ktorého tajomstvá odhalili starostlivé štúdie lunárnych hornín, je možno inšpiráciou v poézii, no jeho vznik je spojený s veľkým násilím.

ZEM JE SKALNATÁ GUĽA s priemerom 12 746 kilometrov na rovníku. (Naša planéta v skutočnosti nie je celkom guľovitá. Vďaka svojej rotácii sa trochu vydúva na rovníku a sploštuje smerom k pólom.) Ak rozdelíte Zem na polovicu (čo sa v praxi neodporúča), uvidíte, že nie je homogénna, ale skôr sústredne vrstvená ako vajce uvarené natvrdo (Obrázok 3). „Žltok“ Zeme je jadro, horúce a husté vnútorné teleso, ktoré predstavuje asi tretinu hmotnosti celku. Jadro pozostáva najmä zo železa spolu s trochou niklu a asi 10 % ľahších prvkov, predpokladá sa, že vodík, kyslík, síra a/alebo dusík. Musíme sa uspokojiť s „predpokladom“, pretože, pri všetkej úcte k Julovi Vernovi, nikto nikdy nepodnikol cestu do stredu Zeme, aby získal vzorku. Vlny energie generované zemetraseniami fungujú podobne ako CT skenery v nemocniciach a podobnosti o tom, ako sú tieto vlny prenášané, odrážané, lámané

alebo absorbované planétou, odhaľujú rozmery a hustotu jadra. To si vyžaduje, aby jadro pozostávalo najmä, ale nie výlučne, zo železa. Laboratórne experimenty a výpočty naznačujú, že prímes ľahkých prvkov, ako sú tie vyššie uvedené, môže zodpovedať pozorovanej hustote, avšak presná povaha zmesi zostáva neznáma, pretože ani jedno zloženie neprináša jedinečné riešenie problému. Vnútorne jadro – guľa s priemerom 1226 kilometrov – je pevné, zatiaľ čo vonkajšie jadro (hrubé asi 2260 kilometrov) zostáva roztavené a pomaly sa pohybuje konvekciou, pričom teplejší a hustejší materiál klesá do stredu Zeme a chladnejšia, menej hustá hmota stúpa nahor. Tento pohyb vonkajšieho jadra generuje elektrické dynamo, ktorého výsledkom je magnetické pole Zeme. Možno na magnetické pole nemyslíte dennodenne, ale mali by ste byť vd'ační za to, že existuje. Toto pole chráni našu atmosféru pred slnečným vetrom (energetickým prúdom nabitých častíc vychádzajúcich zo Slnka), pričom užitočne smeruje strelku kompasu (približne) na sever.

Zemský plášť – bielo našo planetárneho vajíčka – obklopuje jadro. Plášť tvorí asi dve tretiny hmotnosti našej planéty a pozostáva hlavne z kremičitanov – minerálov bohatých na oxid kremičitý (SiO_2 – kremeň v čistej kryštalickej forme) – horčíka a menšieho množstva železa, vápnika a hliníka. Veľa z toho, čo vieme o plášti, pochádza opäť z analýzy zemetrasných vĺn, ozrejmenej laboratórnymi experimentmi. Z času na čas sa nám však Zem pripomína vynášaním kúskov plášťa na povrch. Obzvlášť pozoruhodnými poslami hlbokého vnútra sú diamanty. Tieto tvrdé kúsky čistého uhlíka, sformované v hĺbke najmenej 160 kilometrov, sa

dostávajú na povrch pomocou magmy, roztaveného zdroja lávy a ďalších vyvretých hornín. Marilyn Monroeová spievala o tom, že diamanty sú najlepšimi priateľmi dievčata, ale sú aj priateľmi geológov, pretože obsahujú drobné uzavreniny materiálu plášťa, ktoré je možné skúmať v laboratóriu.

Plášť je pevný, ale z dlhodobého hľadiska podlieha konvekcii (t. j. prúdeniu, pozn. red.). Presný trojrozmerný mechanizmus cirkulácie plášťa zostáva predmetom diskusií, rovnako ako otázka, či všetky časti plášťa generujú vulkanické horniny, ktoré stúpajú na povrch. Geológovia sa však zhodujú, že čiastočné tavenie plášťových hornín viedlo k vzniku najdostupnejšej vrstvy Zeme – kôry.

Táto tenká škrupina našej vajcovej analógie tvorí menej ako 1 % hmotnosti našej planéty a je jedinou vrstvou, ktorú môžeme bežne pozorovať a odoberať z nej vzorky, pričom nám poskytuje pozoruhodný stupeň poznania. Kontinenty sa skladajú z kôry obsahujúcej kremeň (SiO_2) a živcové minerály bohaté na sodík alebo draslík, ktoré sú typické pre žulu vo *White Mountains* v *New Hampshire* alebo v dramaticky obnaženom pohorí *Sierra Nevada* v Yosemiteckom národnom parku. Kôra pod oceánmi je iná a skladá sa z čadičových hornín, ako sú tie, ktoré vyvrhujú havajské sopky a ktoré obsahujú živcové minerály bohaté na vápnik alebo sodík, no žiaden kremeň. Kontinentálna kôra je hrubšia a menej hustá než kôra pod oceánmi, čo spôsobuje, že sa „vznáša“ nad oceánskou kôrou ako kocky ľadu v chladenom nápoji. Keďže voda sa hromadí na povrchu Zeme v topografických minimách, čadičová kôra leží hlavne na oceánskom dne.

Andrew H. Knoll

Stručná história Zeme

Štyri miliardy rokov v ôsmich kapitolách

Prvé slovenské vydanie.

Vydalo vydavateľstvo Lindeni v roku 2022

v spoločnosti Albatros Media Slovakia, s. r. o.,

so sídlom Mickiewiczova 9, Bratislava, Slovenská republika.

Číslo publikácie 2 461

Zodpovedná redaktorka Lucia Lenická

Z anglického originálu *A Brief History of Earth*, ktorý vyšiel

vo vydavateľstve Custom House v spoločnosti HarperCollins v roku 2021,

preložila Petra Rímska.

Jazyková korektúra Dominika Spáčová

Odborná korektúra Pavel Liščák

Sadzba Dagmar Hajdajová

Obálka Tomáš Krejčířík

Tlač FINIDR, s. r. o., Český Těšín

Cena uvedená výrobcom predstavuje nezáväznú odporúčanú spotrebiteľskú cenu.

Objednávky kníh:

www.albatrosmedia.sk

eshop@albatrosmedia.sk

tel.: 02/4445 2046


ALBATROS MEDIA