

## Ako vytvoriť obývateľnú planétu

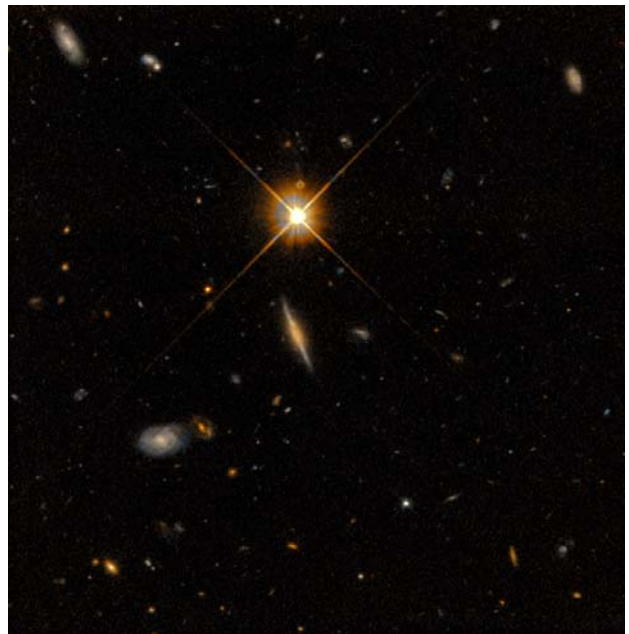
Súčasná podoba vesmíru je výsledkom vývoja, ktorý sa začal pred približne 15 miliardami rokov. Len malá časť tejto ohromne dlhej doby je charakterizovaná aj prítomnosťou živých organizmov na našej Zemi a temer nepatrnému zlomku z tohto času zvykneme hovoriť obdobie ľudskej civilizácie. Čo o vzniku vesmíru, Slnčnej sústavy a našej Zeme vlastne vieme? Vieme prečo sme tu? Vieme či sme vo vesmíre sami alebo podobné bytosti existujú aj niekde inde? Má Zem zvláštne postavenie vo vesmíre? Aby sme na tieto a mnohé iné (menej základné a ľahšie) otázky mohli odpovedať musíme v prvom rade pochopiť aké sú základné podmienky pre vznik planét ako je naša Zem, pre vznik živých organizmov a neskôr civilizácie.

Aj napriek ohromnému pokroku v ľudskom poznaní, naše odpovede na mnohé základné a zdanlivo jednoduché otázky sú dnes len o málo jasnejšie ako odpovede našich predkov. Táto skutočnosť má viacero príčin. Dve pravdepodobne najvážnejšie sú vnútorná komplikovanosť procesu poznávania vývoja vesmíru, ktorá sa prejavuje v tom, že zodpovedanie jednej otázky vedie k položeniu si ďalších nových, často krát ešte komplikovanejších. Druhou je skutočnosť že ľudstvo v podstate vynakladá veľmi málo prostriedkov na pochopenie vzniku a vývoja vesmíru, v porovnaní napríklad s investíciami do sebazničenia. Aj napriek týmto skutočnostiam však mnohé o vzniku a vývoji vesmíru vieme, čo značne obmedzuje priestor na rôzne špekulácie.

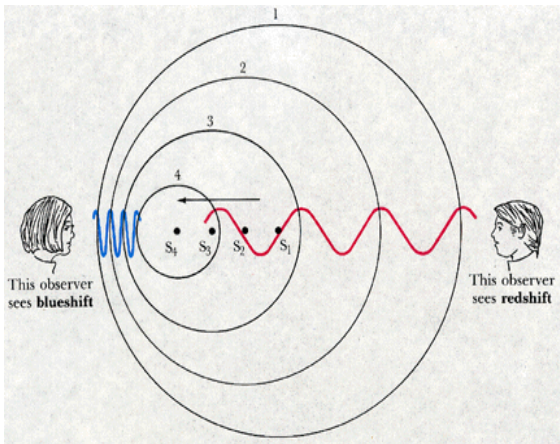
Zem (Obr. 1) je jednou z deviatich planét Slnčnej sústavy, ktoré spolu s menšími objektmi obiehajú okolo Slnka. Slnko je jedna zo 100 miliárd hviezd obsiahnutých v Mliečnej ceste - našej špirálovej galaxii. Galaxie (Obr. 2) sú základné jednotky, na ktoré je rozdelený celý vesmír. Podobne ako miliardy iných galaxií aj naša galaxia sa pohybuje veľkou rýchlosťou vzhľadom na ostatné vesmírne objekty a to od momentu, kedy bola vytvorená pri Veľkom tresku. Informáciu o rýchlosti vzdľavovania sa objektov vo vesmíre sa získava z merania posuvu spektra ich žiarenia smerom k červenej farbe (Obr. 3). Veľkosť posuvu je veľmi presne korelovaná so vzdialenosťou, čo umožnilo stanoviť moment veľkého tresku, pred 15 miliardami rokov. Ďalšími experimentálnymi faktami, ktoré potvrdzujú správnosť hypotézy o kreovaní vesmíru vo Veľkom Tresku sú žiarenie kozmického pozadia a zhoda pozorovanej koncentrácie vodíka s predpoveďami modelu Veľkého Tresku.



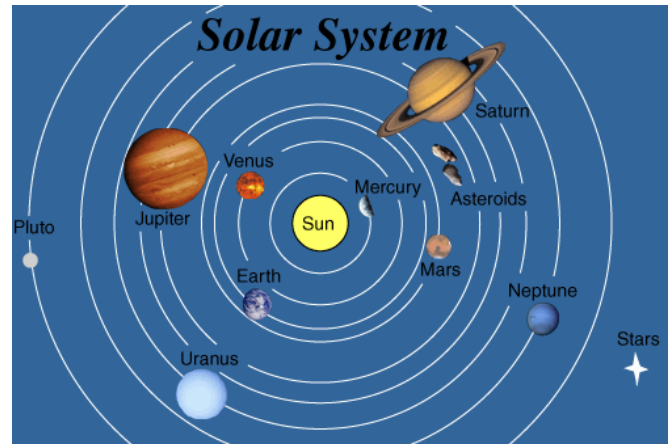
Obr.1 Pohľad na Zem z vesmíru



Obr.2 Galaxie – základ štruktúry vesmíru



Obr. 3. Princíp merania rýchlosti pohybujúcich sa objektov. Väčší posuv k červenej farbe znamená väčšiu rýchlosť vzdáľovania sa.

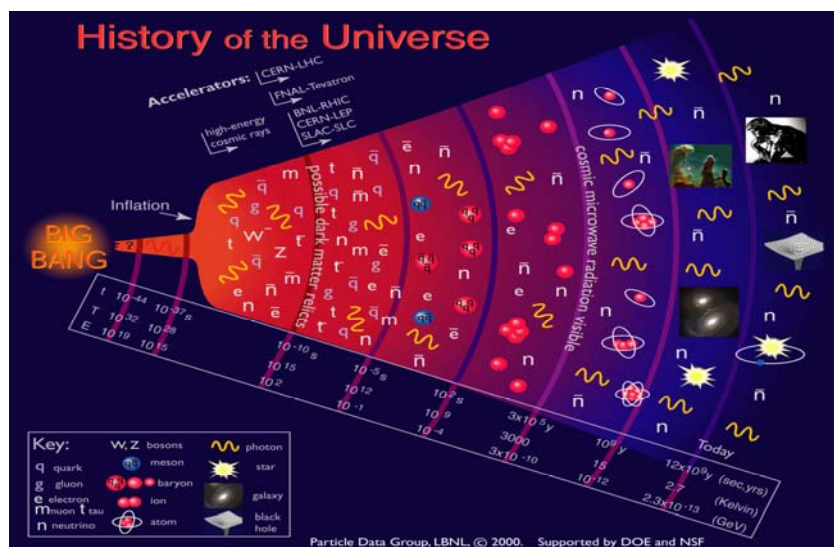


Obr. 4 Schéma Slnecnej sústavy

Počas neskoršieho vývoja vesmíru okolo mnohých miliárd hviezd vznikli planetárne systémy (Obr. 4). Aj keď planéty s charakteristikami podobnými Zemi sú zriedkavé, je len málo pravdepodobné, že Zem je jedinečná. Iné pre život rovnako vhodné planéty s veľkou pravdepodobnosťou existujú.

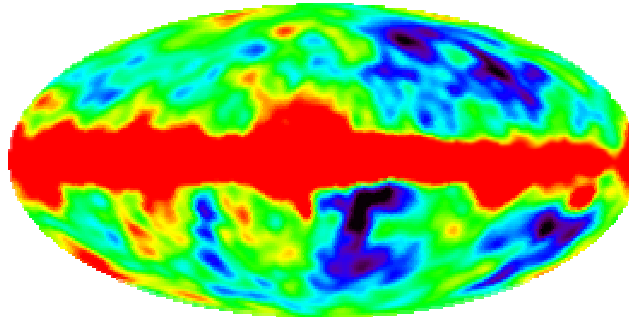
Pre vierohodnosť ľubovoľného modelu teórie vzniku a vývoja obývatel'ných planét sú podstatné experimentálne fakty, ako tieto vzájomne súvisia a ako sa stávajú základom určitých hypotéz. Niektoré z modelov sú pomerne široko akceptované a jednoznačné, v iných prípadoch sú neúplné a umožňujú viacero konkurujúcich si vysvetlení. V prednáške bola jednoznačne demonštrovaná živosť a aktuálnosť výskumu v tejto oblasti.

V súčasnosti jednoznačne najpreferovanejším modelom vzniku vesmíru je model Veľkého tresku. Tento model poskytuje experimentálne potvrdené informácie o formovaní sa vesmírnych objektov od najelementárnejších častíc až po komplikované vesmírne megaštruktúry. Takisto nám poskytuje informáciu o časovom vývoji jednotlivých štruktúr (Obr. 5).



Obr. 5 Stručná história vesmíru.

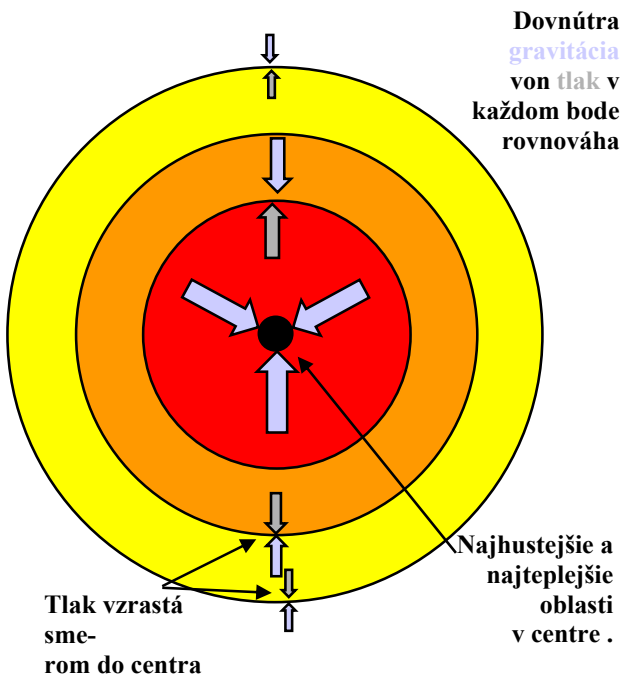
Teória Veľkého tresku je jednoznačne potvrdzovaná hlavne tromi experimentálnymi faktami: rozpínanie sa vesmíru, žiarenie kozmického pozadia a koncentrácia vodíka a hélia v kozme. Na základe merania rýchlosti vzdľavovania sa objektov vo vesmíre a určovania ich vzdialenosti, vzchádzajúc z Hubblovho zákona (rýchlosť = hubbleva konštanta krát vzdialenosť) bol určený vek vesmíru na 15 miliárd rokov. Reliktové žiarenie kozmického pozadia (Obr. 6) poskytuje údaje konzistentné s meraniami rýchlosti rozpínania sa vesmíru.



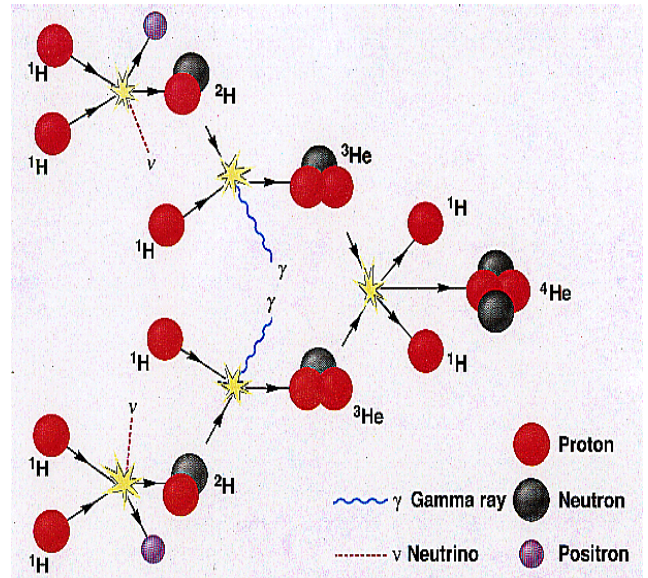
Obr. 6. Teplota oblohy 2.7279-2.7281 Kelvin. Modrá je 2.7279 K a červená je 2.7281 K

V počiatočnom štádiu, krátko po veľkom tresku (menej ako stotisícina sekundy) vesmír pozostával len z elementárnych častíc, medzi ktorými už začali pôsobiť silné, elektromagnetické, slabé a gravitačné sily, ktoré sa vyvinuli z jedinej Higgsovej sily, ktorú existovala v čase do  $10^{-37}$  sekundy. Celý vesmír pozostáva len z troch generácií leptónov (elektromagneticky a slabo interagujúcich častíc), z troch generácií kvarkov, antičastíc týchto dvoch skupín. Interakcie medzi nimi sprostredkovávajú fotón (elektromagnetické), 8 gluónov (silné), 3 intermediálne bozóny  $W^\pm$ ,  $Z^0$  (slabé) a doposiaľ neobjavený gravitón (gravitačné). V čase dlhšom ako jedna stotisícina po Veľkom tresku sa začali kvarky viazať do nukleónov, ktoré neskôr vytvárali ióny a neskôr z nich vznikli neutrálne atómy. (asi po 300 000 rokov po veľkom tresku). V tomto období vesmír pozostával len z vodíka. Pôsobením gravitačných síl a vďaka nehomogenitám, ktoré vo vesmíre existovali sa začala vytvárať megaštruktúra vesmíru. Gravitačné sily spôsobili nahustenie vodíka v určitých oblastiach vesmíru a stlačili ho na veľmi vysoké hustoty, čím došlo k jeho zahriatiu na veľmi vysoké teploty (približne 10 miliónov Kelvinov). Kinetická energia iónov pri takejto teplote je dostatočná na to aby bola prekonaná odpudivá elektrostatická bariéra, ktorá bráni jadrom priblížiť sa na vzdialenosť dosahu jadrových síl, aby tak mohlo dôjsť k fúzii zrážajúcich sa jadier. Fúzia je zdrojom energie pre hviezdy a tie sú zdrojom všetkých prvkov vo vesmíre ťažších ako vodík, t.j. hélium, lítium až po železo. Podmienkou fúzie je okrem vysokej teploty aj dostatočná hustota atómových jadier, aby bola vysoká pravdepodobnosť ich zrážky. Hviezda je systém, ktorý keď má byť stabilný, musí byť v rovnováhe medzi gravitačnými silami, ktoré ju stláčajú a silou, ktorá sa ju snaží roztrhnúť (Obr. 7). Ak sa plyn vo hviezde dostatočne stlačí, v centre hviezdy začne horieť vodík, vzniká “popol” – hélium (Obr. 8). Koncentrácia vodíka klesá, postupne je vodíka nedostatok, fúzia sa spomalí, hviezda chladne, začnú opäť prevažovať gravitačné sily a tlak stúpa. Hviezda sa začne zmršťovať a centrálna teplota začne znova narastať. Nakoniec teplota dosiahne ~100 miliónov Kelvinov, čo vedie k zapáleniu horenia hélia, z ktorého vzniká uhlík. Celkovo možno postup fúzie a teda syntézu ťažších prvkov zhrnúť do nasledovných krokov: vodík zhorí na hélium, hélium zhorí na uhlík a kyslík, uhlík a kyslík zhoria na kremík, kremík zhorí na železo a ďalej fúzia nepokračuje. Po zhorení paliva v každom štádiu teplota a hustota vzrastú a fúzia pokračuje. V každom štádiu sa “popol” stane palivom pre nasledujúce štádium. Dostatočne ťažká hviezda - končí ako supernova.



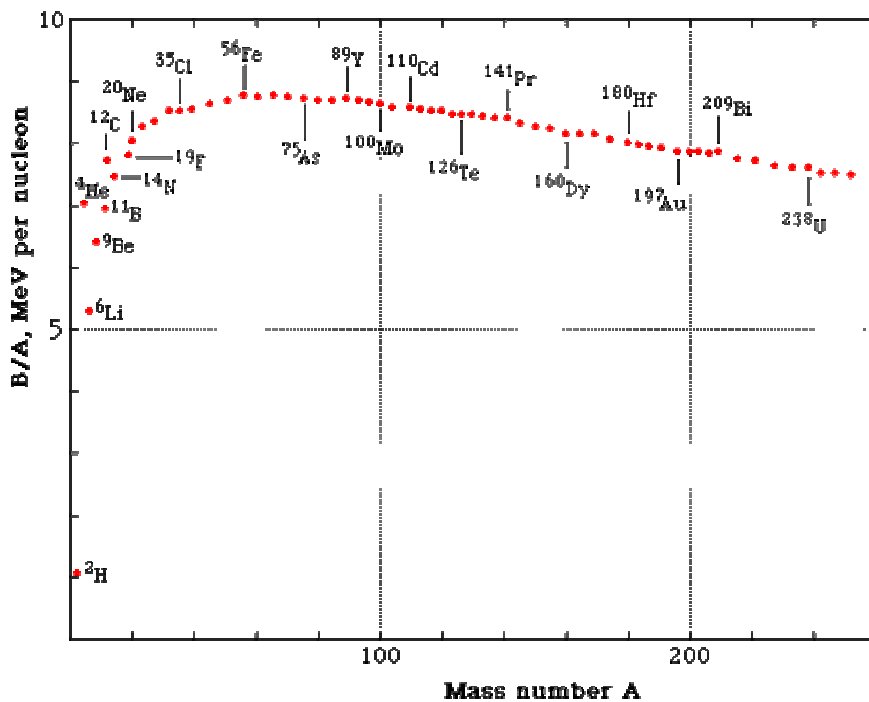


Obr. 7 Termonukleárna reakcia vo hviezdach



Obr. 8. Spaľovanie vodíka na hélium, čiže protón-protónový cyklus

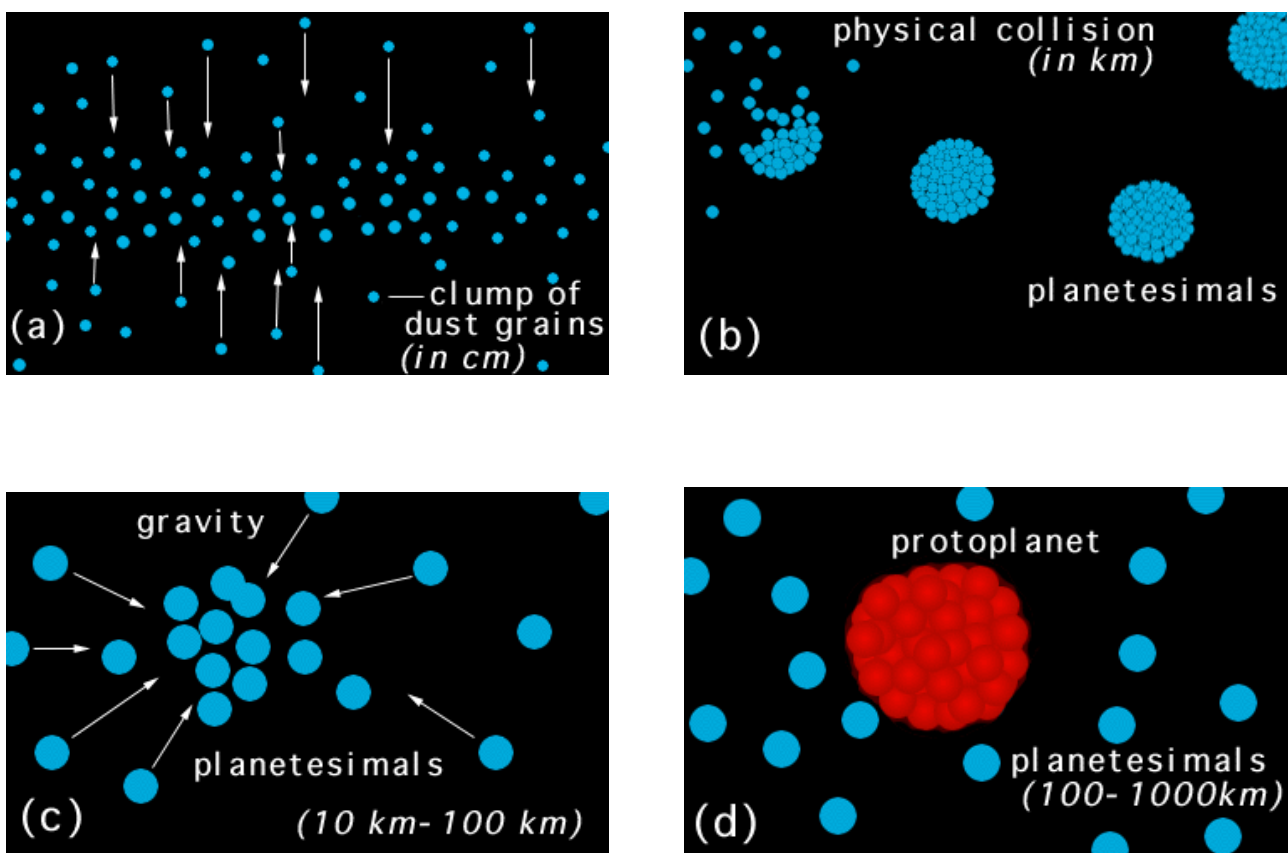
Pri výbuchu supernovy sú produkty fúzie vymrštené do okolia. Vznikajú nové hviezdy recyklujúce úlomky. Podobným spôsobom z jedného takého mraku vznikla aj naša Slnecná sústava. Na Zemi však možno nájsť aj prvky ťažšie ako železo. Tie nemôžu vzniknúť termonukleárnou syntézou, lebo je to energeticky nevýhodné (Obr. 9). Tieto sú kreované v okamihu výbuchu supernovy v r- a s- procesoch.



Obr. 9 Väzbová energia prepočítaná na jeden nukleón, ktorá sa uvoľní pri vytvorení jadra s daným hmotnostným číslom z voľných nukleónov.

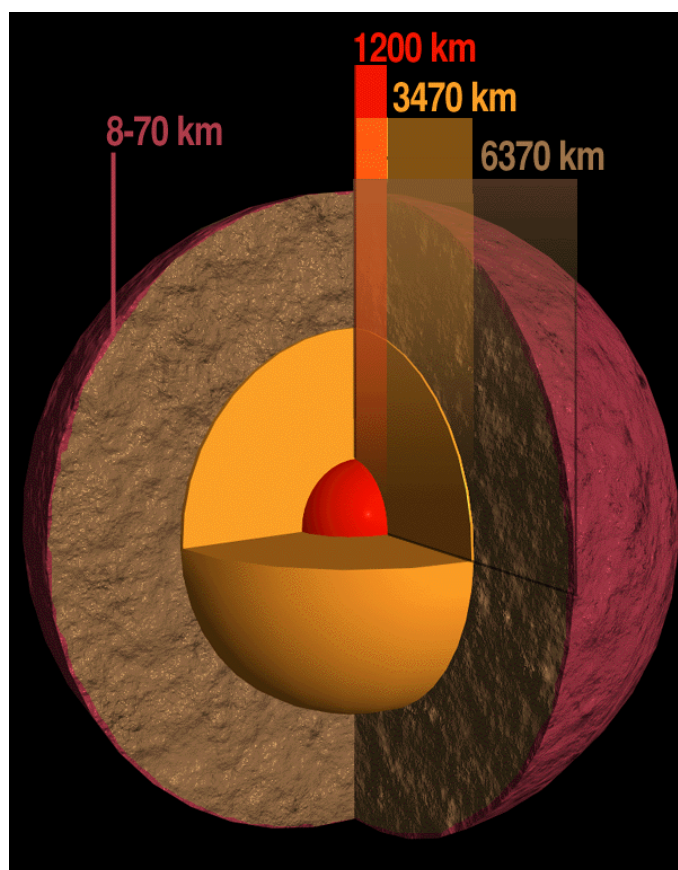
Oba tieto procesy nie sú nič iné ako záchyt neutrónov atómovými jadrami nasledovaný procesmi beta premeny. Rozdiel medzi r- a s- procesmi je len v tom, že v prípade r- procesov sa zachytí najskôr niekoľko neutrónov a až potom nasleduje beta rozpad, pričom v prípade s- procesov sa záchyty neutrónov a beta premeny pravidelne striedajú. V týchto procesoch boli vytvorené všetky ostatné prvky periodickej sústavy prvkov.

Z jedného z oblakov hmoty, ktorý bol vymrštený do priestoru v predchádzajúcom kolapse supernovy sa formovala aj naša Slnčná sústava. Termonukleárna reakcia, ktorá sa zapálila vo vnútri nášho Slnka spôsobila, že vo vnútornej časti Slnčnej sústavy zostali len pevné a ťažké materiály s vysokým bodom topenia a vyparovania, z ktorých vznikli kamenisté vnútorné planéty (Merkur, Venuša, Zem a Mars) a z plynov vznikli vonkajšie plynné planéty. Počas formovania sa Zem (Obr. 10), v jej vnútri bola zachytená aj časť vody, o čom svedčí zloženie vulkanických plynov, ktorých podstatnú časť tvorí práve vodná para (60 %). Zvyšná voda bola pravdepodobne dopravená na Zem kométami.



Obr.10 Schéma postupného rastu objektov v Slnčnej sústave.

Pôvodná protozem bola roztavená v dôsledku energie uvoľnenej z gravitačného kolapsu, ako aj z rozpadu rádioaktívnych prvkov, ktoré boli v nej prítomné vo vyššej koncentrácii ako sú dnes. V dôsledku pôsobenia gravitačných síl materiál s veľkou hustotou (Nikel a Železo) sa skoncentroval v centre a ľahší materiál, roztavené kremičitany, zostal na povrchu. Zem postupne chladla a tuhla. V tomto procese došlo k diferenciácii vo vnútri Zeme, pričom sa vytvorilo zemské jadro, plášť a kôra (Obr. 11). Priemerná hustota Zeme je 5,5 g/cm<sup>3</sup>, aj napriek tomu, že Zem má vo vnútri mnoho zachytených plynov.



Obr. 11 Vnútorná štruktúra Zeme

Množstvo faktorov ovplyvňuje obývateľnosť planéty. Jednou zo základných podmienok života na planéte je prítomnosť vody v tekutom stave na jej povrchu. Aby táto podmienka mohla byť splnená muselo prebehnúť niekoľko procesov. Planéta musela zachytiť dostatok vody pri svojom formovaní sa. Voda zachytená vo vnútri planéty sa musela z jej vnútra dostať na povrch. V tomto procese rozhodujúcu úlohu zohrali určité vulkány. Voda uvoľnená na povrch sa z neho nesmela stratiť do okolia. Tu už vstupujú do hry také faktory ako sú rozmery Zeme (s nimi súvisí úniková rýchlosť molekúl plynov do vesmíru), vzdialenosť Slnko – Zem (súvisí s ňou energetický príkon na Zemi), či rýchlosť otáčania sa Zeme (zloženie atmosféry).

Tekutosť vody na povrchu súvisí s teplotou, ktorá zase silne závisí od vzdialenosti Zeme od Slnka, ale i od zloženia atmosféry. Keby Zem pohlcovala všetku energiu, ktorú dostáva od Slnka, zohriala by sa na približne -5 stupňov Celzia. Pri odraze 33 % prijímanej energie späť do vesmíru, by teplota Zeme poklesla na - 20 stupňov Celzia. Vďaka skleníkovému efektu, ktorý je spôsobený vodnými parami, kyslíčnikom uhličitým, metánom, kyslíčnikom dusičným v atmosfére je priemerná teplota zemského povrchu približne +10 stupňov Celzia. Pri tejto teplote je už voda na zemskom povrchu tekutá, čo umožňuje existenciu života.

Vyššie spomenuté parametre ovplyvňujú aj prítomnosť kyslíka v zemskej atmosfére. Kyslík vznikol v atmosfére v dôsledku rozkladu vody vo vyšších vrstvách atmosféry. Po rozklade vodík unikol do okolitého priestoru a kyslík zostal v atmosfére. Druhým zdrojom kyslíka boli zrejme algae, ktorých vek sa z fosílií odhaduje na zhruba 700 miliónov rokov.

Z uvedených charakteristík vyplýva, že podmienky vhodné pre život sú výsledkom veľmi jemnej a precíznej aplikácie fyzikálnych zákonov spájajúcich do jedného celku mikro- a makroobjekty s megaštruktúrou vesmíru.

V súčasnosti ľudstvo dospelo do štádia, kedy svojou činnosťou môže do značnej miery ovplyvniť vývoj najbližšieho vesmírneho okolia. Podstatný efekt na naše najbližšie okolie bude mať energetika. Ľudstvu určite nehrozí nedostatok energie, otázkou je len efektívnosť a čistota využívania toho, čo nám Slnko poskytuje. Spôsob získavania energie a hospodárenia s vodou bude zrejme mať podstatný dopad aj na vplyv ľudstva na zmenu klímy, ale zrejme aj na humánosť konania človeka. Technologický pokrok najmä v oblasti počítačov umožní ľudstvu kolonizáciu okolitého prostredia, veríme však, že z dôvodu záujmu a rozšírenia možnosti, nie z dôvodu nevyhnutnosti, lebo prostredie na Zemi bude neobývateľné v dôsledku neuváženej činnosti ľudstva. Prirodzený vývoj Zeme, Slnka a Mliečnej cesty nevytvára pre človeka v najbližšom období žiadne závažné hrozby.