

MATEJ ČIERNIK

ZÁZRAK, ŽE SME TU

VESMÍR - ZEM



ENIGMA

Obsah

Úvodom

5

Vesmír

6

Počiatky objavov

6

Vypočítaná história vesmíru

11

Stavba vesmíru

14

Vesmír od počiatku až dodnes

17

Budúcnosť vesmíru

22

Zem

25

História vzniku

25

Čo máme pod nohami

27

Atmosféra

32

Podnebie a rieky v oceánoch

37

Čo nás na Zemi môže postihnúť

41

Úvodom

Táto kniha určite nie je vedeckou publikáciou, je to len kniha o vede a trochu o jej histórii. Pokúsil som sa o veľmi zjednodušený a stručný súhrn vedomostí o tom, ako sa vlastne mohlo stať, že my všetci ľudia sme vôbec na svete, a to práve na tejto nepatrnej planéte s priemerom asi 12 000 kilometrov, obiehajúcej okolo úplne nenápadnej a bežnej hviezdy uprostred nezmerateľného vesmíru. Nie som polyhistor, ja len zbieram a sumarizujem názory múdrych ľudí, ktorých úsudku a argumentom verím. Je pozoruhodné, že napriek tomu, že sú predstaviteľmi rôznych, niekedy veľmi vzdialených vedných odborov, ich názory nie sú v rozpore. Spoločne, niekedy veľmi jednoznačne, ale inokedy len hmlisto vysvetľujú podstatu toho, čo každý deň pozorujeme na vlastné oči a niekedy môžeme aj ohmatať vlastnými rukami. Iste, nové poznatky časom menia pohľad na svet okolo nás, tak, ako sa to deje už stáročia, a niekedy tak rýchlo, že ťažko zachytiť a vyhodnotiť tie najnovšie. Ďalší problém vzniká pri ich podaní bez nadbytku odborných výrazov, použitia obrázkov, grafov a matematických vzorcov. Napriek tomu verím, že v ďalšom texte nie sú prílišné zjednodušenia, chyby, skreslenia či nezrozumiteľnosti, pri najmenšom nie v základných veciach.

Vesmír

Počiatky objavov

Ak porovnávam, v čom sa dostali starovekí učenci najďalej, zdá sa mi, že okrem matematikov toho zistili najviac práve hvezdári. Koniec – koncov, pre svoje pozorovania mali celkom slušné podmienky v porovnaní s tým, čo mohli vidieť ich nasledovníci v strednej a severnej Európe. V okolí Stredozemného mora, ako aj v oblasti afrických a ázijských stepí a púští je väčšinu roka jasné počasie a hoci noci sú chladné, predsa len nehrozí počas nočného pozorovania hviezd zmrznutie. Traduje sa dokonca – nevedno, či je to pravda – že taký veľký astronóm, akým nesporne bol Mikuláš Koperník, v celom živote nemal to šťastie pozorovať planétu najbližšiu k Slnku, Merkúr. Pravdou je, že túto planétu možno pozorovať len niekoľko dní v roku, tesne pred východom a po západe Slnka, a podmienkou nie je len jasná obloha, ale aj veľmi čistý, suchý vzduch – niečo, čo sa v severnejších oblastiach Európy po niekoľko dní, kedy je Merkúr v priaznivom postavení na rannej alebo večernej oblohe, nemusí pošťastíť aj celé roky...

V odpovedi na otázku, čo je príčinou bytia nás a vecí, ktoré sú okolo nás, síce učenci starovekých civilizácií príliš nepokročili, no predsa sa dovtípili niekoľko vecí, ktoré však nanešťastie museli byť po vyše tisícročí znovu objavené.

V prvom rade zistili, že najmenej niektoré nebeské telesá, včítane Zeme, sú guľaté. Ak ide o Mesiac, nebol k tomu potrebný zvláštny dôvtip: zo spôsobu, ako je osvetlený Slnkom, je to dosť zrejmé. Ak nie je celkom jasné, o čom hovorím, urobte toto: Večer zhasnite svetlo, položte na stôl sviečku alebo lampu, nájdite loptu alebo hocičo guľaté a požiadajte niekoho, aby chytil nejakú loptu a prechádzal s ňou okolo stola so svetlom. Všimajte si osvetlenie lopty, hlavne rozhranie medzi svetlom a tieňom a zistíte, ako sa podobá Mesiacu v rôznych fázach. Stačí ešte trochu matematiky a je tu poznatok, že Mesiac a Slnko vykonávajú kruhový pohyb okolo Zeme.

Chýbalo však jednoduché vysvetlenie pohybu planét. Na klenbe nebeskej svietia tisíce nehybných hviezd, ktoré sú každú noc v rovnakej vzájomnej polohe, hoci raz ročne sa otočí celá hviezdna obloha voči Slnku. Preto vidíme iné súhvezdia na večernej oblohe v lete (vtedy ľahko nájdeme Veľký voz) a iné v zime (keď za iskrivej zimnej noci uvidíme charakteristické súhvezdie Orióna). Len päť objektov – planéty Merkúr, Venuša, Mars, Jupiter a Saturn – blúdi po hviezdnej oblohe po dosť zložitej dráhe, ktorej objasnenie muselo počkať do novoveku.

V každom prípade už starovekí astronómovia urobili objav, bez ktorého by sa Krištof Kolumbus nevydal na svoju historickú plavbu: že Zem je guľatá. Pre takýto názor mali hneď niekoľko vážnych dôvodov. Nebolo to len postupné vynáranie sa prichádzajúcich

lodí spoza obzoru. Ich všímaví navigátori si zaznamenali, že pri plavbe na juh ich známa hviezda Polárka klesá nižšie k obzoru. A konečne, robili si záznamy o zatmeniach Mesiaca Zemou. Zistili, že tieň Zeme na Mesiaci je vždy okrúhly- a takýto tieň vrhá len guľa. Keby Zem bola plochá, tieň by musel niekedy nadobúdať tvar elipsy alebo dokonca by musel byť čiarkovitý – a to sa nikdy nestalo. Napriek tomu, tisíročia pred Newtonovým objavom zákona gravitácie tu bola nevysvetliteľná záhada: prečo veci a bytosti z druhej strany Zeme kamsi nespadnú? Jasnej odpovede nebolo a kresťanskej cirkvi tiež viac vyhovovalo, ak pod Zemou bolo dosť miesta pre peklo a nad hviezdami pre nebo. Krištof Kolumbus však uveril starovekým učencom a odplával na západ. Dnes vieme, že okrem odvahy mal aj veľa šťastia, keď použil južnejšiu trasu na cestu tam a severnejšiu pre návrat. Severný rovníkový prúd a pasátové vetry ho hnali k Amerike tak spoľahlivo, že posádka v tom videla dielo nečistých síl a dožadovala sa návratu. Na spiatočnej ceste nevedomky využil Golfský prúd a prevládajúce západné vetry v tejto oblasti. A po objavení Ameriky a hlavne ceste okolo sveta Ferdinanda Magellana sa veci v geografii a astronómii rýchlo pohli vpred. Guľatý tvar Zeme bol nepochybne dokázaný a ďalšie objavy boli na spadnutie.

Kruhovú dráhu planét okolo Slnka, ako ich navrhol Mikuláš Koperník a najmä elipsovité, ktoré vypočítal Johann Kepler roku 1514 poskytovali jednoduché a elegantné vysvetlenie ich zložitého pohybu po hviezdnej oblohe. Akurát chýbali sily, ktoré by ich na tejto dráhe udržovali. Tie poskytol až roku 1687 Isaac Newton: zákon sily, zákon zotrvačnosti a zákon gravitácie vysvetlili všetko, čo hvezdári do tej doby pozorovali.

Ako som už podotkol, starovekým učencom sa vo fyzike príliš nedarilo. Ich mená nesie množstvo matematických viet, ale z fyziky má zásadný význam hádam len Archimedov zákon. V mechanike uznávali z dnešného pohľadu nelogické Aristotelove názory, podľa ktorých je prirodzeným stavom telies pokoj a pohybujú sa, len ak na ne pôsobí sila. Príliš si zrejme nelámali hlavu ani nad popisom voľného pádu, keď uznávali názor, že ťažšie telesá padajú rýchlejšie, ako ľahšie. Tento názor vyvrátil (a Newtonovi poskytol dôležité podklady) až Galileo Galilei. Údajne zhadzoval rôzne ťažké predmety zo šikmej veže v Pise a meral čas, za ktorý dopadli na zem. Či je táto legenda pravdivá, nevedno, ale tak či onak, zistil, že zrýchlenie, ktoré spôsobuje zemská príťažlivosť, je nezávislé od hmotnosti telesa. (Za to, že papier padá pomalšie, ako kameň, môže odpor vzduchu. Vo vzduchoprázdne by padali presne rovnako rýchlo.)

Na rozdiel od dovedajších názorov, Newton uznal za prirodzený stav telies práve pohyb. Vo svojom prvom zákone pohybu, zákone zotrvačnosti hovorí, že teleso zotrúva v pokoji alebo v rovnomernom priamočiari pohybe v prípade, že naň nepôsobí nijaká sila. V pozemských podmienkach sa o platnosti tohto zákona ťažko presvedčiť, pretože akékoľvek teleso je brzdené odporom vzduchu a jeho priamočiara dráha je zakrivovaná zemskou príťažlivosťou. O niečo viac sa mu približujú podmienky v kozmickom priestore: odpor prostredia je zanedbateľný a v merítkach vesmíru je aj zakrivenie dráhy veľmi

malé. Napríklad rýchlosť Mesiaca na dráhe okolo Zeme sa mení veľmi pomaly a jej zakrivenie (vieme, že je elipsovité, veľmi približne kruhové) je tiež nepatrné: na jednom kilometri sa odchyli od priamky o zlomok milimetra. Dôsledky druhého zákona, zákona sily sú očividné: zrýchlenie pohybu je tým väčšie, čím väčšia sila naň pôsobí a naopak, tým menšie, čím je hmotnosť telesa väčšia. O tom sa ľahko presvedčíme, ak skúsime tlačíť rôzne naložený vozík po rovnej ceste.

Presvedčiť sa o platnosti Newtonovho gravitačného zákona už nie je tak jednoduché. Jeho objaviteľa údajne inšpiroval pád jablka zo stromu. Ale predstaviť si, že nielen Zem priťahuje jablko, ale aj jablko v skutočnosti, hoci veľmi nepatrne priťahuje Zem, na ktorú padá, je predsa trochu ťažšie. No pozorovania pohybu nebeských telies potvrdili, že gravitačná sila, ktorou sa dve telesá priťahujú, je priamo úmerná súčinu ich hmotností a nepriamo úmerná mocnine ich vzdialenosti. Zjednodušene a nepresne povedané, sila, ktorou sa dve telesá priťahujú, je tým väčšia, čím sú ťažšie a čím sú bližšie.

Isaac Newton veril, že vesmír je stacionárny a nekonečný. Keby sa do dôsledkov pridržiaval svojich zákonov a logiky, zrejme by už dve a pol storočia pred istým Edwinom Hubblem zistil, že vesmír sa musí buď rozpínať, alebo zmršťovať. Pretože všetky v ňom existujúce telesá sa vzájomne priťahujú, musia padať do spoločného ťažiska – ibaže by kedysi dávno dostali nejaký impulz, ktorý ich ťenie opačným smerom, od seba. Newton však svoju vieru v stály, statický vesmír vysvetlil (bohužiaľ nesprávne) tak, že za každým telesom v nekonečnom vesmíre nasleduje ďalšie, ešte vzdialenejšie, ktoré pôsobí príťažlivosťou smerom od stredu Vesmíru (ktorým sa mu javila naša slnečná sústava).

Newtonove zákony fungovali vynikajúco. Až tak vynikajúco, že umožnili predpovedať možnosť výskytu objektov, ktoré boli predpokladané a objavené oveľa neskôr a dnes ich nazývame čiernymi dierami. Z gravitačného zákona možno vypočítať tzv. únikovú rýchlosť pre každé nebeské teleso. Ak vrháme z kolmo z povrchu Zeme do priestoru nejaké teleso (napríklad kameň), za nejakú chvíľu ho gravitácia zastaví a dopadne naspäť. Ak mu však udelíme veľmi vysokú rýchlosť, gravitácia ho nedokáže zastaviť a teleso sa bude od Zeme navždy vzdalovať. Prakticky sa táto rýchlosť dá dosiahnuť len pomocou kozmickej rakety. Na povrchu Zeme má hodnotu 11,2 km/s a označuje sa ako druhá kozmická rýchlosť. Pre menšie planéty a Mesiac je úniková rýchlosť úmerne ich hmotnosti menšia, na únik z oblasti gravitačného pôsobenia planétok (asteroidov) s priemerom niekoľkých kilometrov dokonca postačuje aj rýchlosť hodeného kameňa. Pre Slnko a veľké planéty, ako Jupiter je zas podstatne vyššia. Na konci 18. storočia napadla najmenej dvoch učených mužov, pomerne neznámeho anglického vedca a kňaza Johna Mitchella a slávneho francúzskeho matematika Pierra Laplacea podobná myšlienka: čo by sa stalo so svetlom, ktoré opúšťa veľké teleso s veľmi silnou gravitáciou? Vtedy bola uznávaná predstava, že svetlo je tvorené časticami, ktoré sa pohybujú vysokou rýchlosťou. Avšak ak by ani táto vysoká rýchlosť nebola vyššia, ako úniková, nestačila by na prekonanie

Počiatky objavov

gravitácie veľmi hmotnej hviezdy a jej svetlo by nedokázalo „odletieť“ z jej okolia do vesmíru. V dôsledku toho by takúto hviezdu nikto nemohol uvidieť, videl by len čiernu tmu, z ktorej by pôsobila silná gravitácia. Niečo takého bolo ešte ďalších dvesto rokov nad predstavivosť vedeckej komunity, ktorá takéto a podobné úvahy radšej potichu ignorovala... O možnosť spoznať históriu vesmíru zakopol aj ďalší geniálny vedec, Albert Einstein, pri formulácii všeobecnej teórie relativity. Natolko však veril v teóriu stacionárneho, nemenného a večného vesmíru, že svoje rovnice upravil tak, aby jej vyhovovali – vložil do nich tzv. kozmologický člen.

A tak jeden z najvýznamnejších objavov v celej histórii vedy čakal na amerického astronóma Edwina Hubblea. Tento pán, pôvodným povoláním právnik, sa vlastne venoval výskumu hmlovín. Na začiatku 20. storočia už bolo známe, že všetky hviezdy, viditeľné na oblohe sú viac alebo menej podobné Slnku a sú súčasťou obrovského zoskupenia, Galaxie. Zo Zeme je najhustejšia časť tohto zoskupenia v tvare obrovskej plochej špirály pozorovateľná ako hmlistý, matne svietiaci pás, tiahnuci sa oblohou a pozorovateľný počas veľmi jasnej, bezmesačnej letnej noci skoro priamo nad hlavou. No okrem objektov, patriacich do našej slnečnej sústavy (Slnka, planét, ich mesiacov, komét...) a Galaxie (hviezd) boli ďalekohľadmi pozorovateľné ešte útvary, o ktorých sa len v tom čase zistilo, čo sú zač. Boli to hmloviny. Pôvodne boli považované za mraky plynu vnútri Galaxie, až roku 1924 Hubble potvrdil, že ide o nesmierne vzdialené zoskupenia hviezd, podobné Galaxii a začal pracovať na stanovení ich vzdialeností. Využil na to meranie jasnosti zvláštnych hviezd, ktoré periodicky menia svoju jasnosť, cefeíd. Pre ne platí pevný vzťah medzi dĺžkou periódy a jasnosťou. Ak Hubble zmeral intenzitu svetla vzdialenej hviezdy s charakteristickou periódou, dokázal stanoviť jej vzdialenosť od Zeme.

V tej dobe sa už bežne stanovovalo aj zloženie hviezd podľa absorpčných spektier ich svetla. O tejto veci stojí za to povedať viac, pretože o elektromagnetických vlnách a zvlášť o svetle ešte bude reč. V okolí magnetu existuje magnetické pole, ktoré spôsobuje aj známy jav, že magnet priťahuje železné predmety. Podobné magnetické pole v okolí Zeme pôsobí na strelku kompasu a núti ju ukazovať na sever (a má ešte mnoho iných, podstatne dôležitejších účinkov). V okolí vodiča, ktorým prechádza elektrický prúd, vzniká elektrické aj magnetické pole, medzi ktorými je pevná súvislosť a preto sa označujú spoločne ako elektromagnetické pole. Ak sa takéto pole periodicky mení, hovoríme, že sa vlní. Tieto zmeny sa zvyknú prirovnávať vlnám na hladine vody. Významnou vlastnosťou každého vlnenia je dĺžka vlny a frekvencia, to znamená počet vln, ktoré narazia na breh vodnej hladiny za sekundu. Akiste si každý všimol, že veľké vodné vlny s veľkou vlnovou dĺžkou, teda s veľkou vzdialenosťou medzi vrcholmi dvoch nasledujúcich vln majú nízku frekvenciu, teda narážajú na pobrežie len raz za niekoľko sekúnd. Naopak, drobné vlnky s dĺžkou niekoľko centimetrov majú vysokú frekvenciu, k pobrežiu sa ich priblíži aj niekoľko za jedinú sekundu. Podobne to platí o všetkých druhoch vlnenia, aj

zvukovom vlnení (zvuk je vlastne vlnenie, ktoré sa prenáša vzduchom), aj elektromagnetickom vlnení: čím je jeho vlnová dĺžka kratšia, tým je vyššia frekvencia. (Ak teda hovoríme o vlnovej dĺžke, popisujeme tým automaticky aj frekvenciu.)

No a svetlo, tepelné žiarenie, rentgenové žiarenie, rádiové vlny (a aj mikrovlny, pomocou ktorých si zohrievame jedlo) sú všetko elektromagnetické vlny s rôznou vlnovou dĺžkou. Ako svetlo označujeme elektromagnetické vlny, ktoré dokážeme vnímať zrakom. Jeho farba je daná vlnovou dĺžkou: najkratšiu má modré svetlo a najdlhšiu červené svetlo. (Za to, že vidíme farebne, vďačíme špecializovaným bunkám v sietnici oka, ktoré vnímajú len jednu zo základných farieb svetla. Z týchto vnemov sa skladá farebný obraz. Ak nefungujú správne, človek je farboslepý a napríklad nemusí správne rozoznať farbu svetla na dopravnom semafore.)

Hviezdy vyžarujú elektromagnetické vlny všetkých vlnových dĺžok od najkratších po najdlhšie. Spektrum ich svetla sa označuje ako spojité. Svetlo však prechádza plynom v ich atmosfére a prvky, ktoré sa v tejto atmosfére vyskytujú, napríklad vodík alebo hélium, pohlcujú – absorbujú – svetlo s určitou presnou vlnovou dĺžkou. Ak sa ich svetlo rozloží na spektrum (ako dúha s farbami od červenej až po modrofialovú, ktorú vytvára slnečné svetlo lomom na kvapkách dažďa), v tomto spektre sa objavia úzke tmavé pruhy v miestach pohltených vlnových dĺžok. Porovnaním so známymi spektrami takto možno určiť zloženie aj nesmierne vzdialených hviezd. Na toto zloženie bol zvedavý aj Hubble, ale nekonalo sa nijaké prekvapenie – aj vzdialené hviezdy majú zloženie také, ako tie v našej Galaxii.

K nejakému inému prekvapeniu však predsa došlo. Farba svetla hviezd vzdialených galaxii bola väčšinou posunutá k červenej, teda ku dlhším vlnovým dĺžkam. (Zistilo sa to vlastne podľa spektier známych prvkov.) Tento takzvaný červený posun vzniká Dopplerovým javom. Opäť ide o vec, ktorá si zaslúži bližšie vysvetlenie. Vráťme sa na vodu a predstavme si, že plávame na člne. Ak ho obrátíme proti vlnám, narážajú na predok člna častejšie, pretože im plávame v ústrety. Ak veslujeme po vlnách, do istej miery im unikáme, preto narážajú na čln menej často. Teda, v prvom prípade pozorujeme frekvenciu vln vyššiu, ako keby sme stáli na mieste, v druhom prípade zasa nižšiu. Christian Johann Doppler, rakúsky fyzik a matematik, profesor techniky v Prahe, Viedni a aj Banskej akadémie v Banskej Štiavnici popísal tento jav r. 1842 v súvislosti so zvukovými a elektromagnetickými vlnami. Práve Dopplerov jav môže za to, že ak stojíme na okraji cesty, motory áut majú vyšší tón, keď sa približujú (ich zvuk má vyššiu frekvenciu), ako keď sa vzdalujú. Podobne sa chová aj svetlo, no pozorovanie tohto javu bez prístrojov nie je možné. Doppler ho popísal u dvojhviezd: sú to dve hviezdy, ktoré obiehajú okolo spoločného ťažiska, pričom sa striedavo približujú a vzdalujú od pozorovateľa na Zemi. Svetlo približujúcej sa hviezdy má vyššiu frekvenciu (kratšiu vlnovú dĺžku, teda viac modrú farbu), svetlo vzdalujúcej sa hviezdy má frekvenciu nižšiu (väčšiu vlnovú

dĺžku, farba je červenšia). Tiež našiel vzorec, ktorý na tomto princípe umožňuje vypočítať rýchlosť zdroja svetla. Ten použil aj Hubble. A keď zmeral vzdialenosti a rýchlosti niekoľkých desiatok galaxii, objavil pravidlo, že čím je galaxia vzdialenejšia, tým sa od našej aj ostatných susediacich galaxii rýchlejšie vzdáľuje. A tak v roku 1929 mohol zverejniť neuveriteľný objav: Vesmír sa rozpína.

Objav rozpínania vesmíru možno považovať za jeden z objavov storočia. Vo vedeckej komunite vyvolal najskôr rozpaky a nedôveru. Viedol predsa k predpokladu, že vesmír mal niekedy dávno svoj počiatok, kedy sa začal rozpínať. A tak vznikali rôzne alternatívne vysvetlenia. Nové objavy však potvrdzujú, že vesmír skutočne mal svoj počiatok.

Vypočítaná história vesmíru

Niektorí učitelia o rozpínaní vesmíru vlastne vedeli skôr, ako bolo oficiálne objavené. Podľa Einsteinových rovníc ho nezávisle od seba doslova vypočítali belgický matematik Georges Lemaitre a ruský matematik Aleksandr Friedmann. Vlastne tak uchytili objav, ktorý Albertovi Einsteinovi doslova prepadol pomedzi prsty pri práci na všeobecnej teórii relativity. História objavu teórie relativity, pravidiel, podľa ktorých sa chovajú sily, poháňajúce vesmír, stojí za podrobnejšiu zmienku. Okrem iného preto, lebo zahrňuje podstatné pravidlá, podľa ktorých sa riadil jeho vývoj.

Jej objavovanie sa síce začalo až v súvislosti s problémami fyzikov s vysvetlením vlastností svetla a vôbec elektromagnetického vlnenia, no je vhodné ešte raz sa vrátiť až ku Galileovi. Bol to on, kto objavil princíp relativity v mechanike. Jeho definícia a odborná formulácia je dosť zložitá. Vyjadruje skutočnosť, že medzi predmetmi, ktoré sa spoločne pohybujú rovnomerne a priamočiara, platia rovnaké fyzikálne zákony, ako keby boli v pokoji. Predstavme si, že by cestujúci v letiacom dopravnom lietadle hrali stolný tenis. Ak by jeden stál chrbtom k predku lietadla a druhý v smere letu, loptička, pozorovaná zvonku, by vlastne stále letela spolu s lietadlom vpred, iba jej rýchlosť by sa trochu menila podľa toho, ku ktorému hráčovi smeruje. Hráči by však nespozorovali žiadne zmeny v jej chovaní oproti tomu, ako keby zápas prebiehal v lietadle, stojacom na zemi – pre nich loptička lieta len tam a naspäť. Alebo iný príklad: určite sa už stalo, že ste sedeli vo vlaku a oknom ste zbadali, že vedľa stojaci vlak sa pohol. Ak ste si chvíľu (pokiaľ si uvedomíte, či ste zacítili nejaké trhnutie) neboli istí, či sa hýbe vlak, v ktorom sedíte, alebo druhá súprava, je to vlastne úplne v poriadku. Pohyb je totiž relatívny, vždy totiž ide o pohyb (alebo pokoj) vo vzťahu k iným telesám. Automobil sa pohybuje oproti ceste, ale je v pokoji oproti autám, ktoré idú po diaľnici vedľa neho v presne rovnakom smere a presne rovnakou rýchlosťou. Zato k autu, ktoré ide rovnako rýchlo oproti nemu, sa približuje dvojnásobnou rýchlosťou.

A ako je to so zvukovými vlnami? Tie sa pohybujú vzhľadom na prostredie – vzduch – rovnakou rýchlosťou, bez ohľadu na to, ako rýchlo sa pohybuje zdroj zvuku. (Zdroj

zvuku ich môže dokonca predbehnúť: pri prelete nadzvukového lietadla počujeme najskôr zadunenie rázovej vlny – náraz kužeľa zhusteného vzduchu, ktorý tlačí pred sebou, a potom aj zvuk motora. Ale vtedy je lietadlo už preč.) A ešte iný príklad. Predstavme si cestujúcich v dvoch protiídúcich autách, ktoré sa míňajú práve vtedy, keď v diaľke do cesty udrie blesk. Tí, ktorí smerujú k blesku, pochopiteľne začujú hrmenie o chvíľu skôr ako tí, ktorí idú od neho – ich zvuk musí dosiahnuť. (V tomto príklade zanedbávame rýchlosť svetla, pretože je neporovnateľne vyššia, ako rýchlosť zvuku.) Podobné predstavy, ako o šírení zvuku sa pôvodne vzťahovali aj na svetlo, ale tu sa objavili nečakané problémy. Keď bolo potvrdené, že svetlo je elektromagnetické vlnenie, podobné, ako rádiové vlny, lenže s oveľa vyššou frekvenciou, vznikla otázka, čoho vlnením to vlastne je. Vedci si vypomohli predstavou éteru, všetko prestupujúcej substancie, ktorá nekladie odpor pohybu telies. Z toho vyplývalo, že Zem sa v tomto oceáne éteru pohybuje, a teda svetlo na Zemi by sa malo v závislosti od jej pohybu v jednom smere šíriť o niečo rýchlejšie, ako v inom. Rozdiel by to mal byť nepatrný, práve tak, ako je nepatrná rýchlosť Zeme na obežnej dráhe okolo Slnka oproti rýchlosti svetla, ale predsa len merateľný. A tak prišiel azda najslávnejší fyzikálny experiment, ktorý nič nedokázal. Američania Albert Abraham Michelson a Edward Williams Morley zostrojili precíznu aparáturu, pomocou ktorej porovnávali rýchlosť svetla v rôznom smere oproti Zemi. (Nemerali samotnú rýchlosť svetla, len jej rozdiely v rôznych smeroch). Aparatúra bola inštalovaná na kamennej platni, plávajúcej na ortuti, aby vylúčili akékoľvek vonkajšie vibrácie a zdroje porúch. Záver tohoto aj mnohých nasledujúcich, ešte presnejších experimentov, bol priam šokujúci: svetlo sa vo všetkých smeroch šírilo presne rovnako rýchlo. Ani stopa po vplyve nejakého éteru...

Samozrejme, mnohí hľadali vysvetlenie tohto objavu – neobjavu. Nakoniec uspel jeden zamestnanec bernského patentového úradu – nikto iný, ako Albert Einstein. Jeho vysvetlenie – teória relativity – bola a je bežnému človekovi ťažko pochopiteľná, pretože tvrdí veci, ktoré sa zdajú odporovať našim každodenným skúsenostiam. Napriek tomu existuje nespočetné množstvo dôkazov, že je správna. Einsteinova teória relativity, prvý raz publikovaná r. 1905, obsahuje neuveriteľný predpoklad: čas neplynie pre každého rovnako, teda, čas je relatívny. Všetci predpokladáme, že čas plynie rovnako pre cestujúceho, ktorý čaká na vlak aj pre rušňovodiča, ktorý ho privedie do stanice podľa cestovného poriadku. Keby to tak nebolo, nedal by sa zostaviť nijaký cestovný poriadok. Okrem toho, ako by mohli platiť Newtonové zákony pohybu? Podľa nich je rýchlosť telesa daná vzdialenosťou, ktorú prekoná za určitý čas. (Nakoniec, hovoríme o rýchlosti v kilometroch za hodinu alebo metroch za sekundu – teda o vzdialenosti, prekonanej za jednotku času.) Pri jej meraní vždy vychádzame z predpokladu, že možno jednoznačne zmerať prekonanú vzdialenosť aj čas, a nakoniec, vždy to takto funguje. Odpoveď znie takto: teória relativity je všeobecne platná, lenže jej dôsledky sa najviac prejavujú pri rýchlostiach, ktoré nie sú zanedbateľné oproti rýchlosti svetla. Pri rýchlostiach, ktoré dosahujeme

v pozemských podmienkach (teda stotisíckrát menších), sú odchýlky od Newtonových zákonov pohybu nepozorovateľné, ba sotva merateľné.

Michelsonov a Morleyov experiment vlastne ukázal, že či sa pohybujeme proti lúču svetla alebo sa otočíme a letíme zhodným smerom s ním, pozorujeme, že tento lúč sa stále pohybuje rovnakou rýchlosťou. (To je ten podstatný rozdiel oproti pozorovaniu zvuku.) Ale čo sa mohlo zmeniť v závislosti od smeru pohybu pozorovateľa? Svetlo si ďalej letí svojou rýchlosťou a je mu úplne jedno, čo robí jeho pozorovateľ. Ak teda nameria pri rôznej rýchlosti pohybu oproti lúču svetla stále tú istú jeho rýchlosť, potom je možné jediné vysvetlenie: od rýchlosti pohybu závisí rýchlosť plynutia času. Alebo ešte ináč: ak dvaja pozorovatelia, ktorí sa rôzne rýchlo pohybujú proti svetlu zisťujú, že svetlo oproti nim letí stále tou istou rýchlosťou, jediné možné vysvetlenie je, že každému ináč plynie čas, a je to skutočne tak, že čím rýchlejšie sa pohybujú, tým ich čas plynie pomalšie.

Tento neuveriteľný fakt je len jedným z množstva záverov, plynúcich z teórie relativity. Táto teória je tak zložitá, že hoci som čítal niekoľko kníh, v ktorých sa autori pokúšali laickému čitateľovi zrozumiteľne vysvetliť, prečo a ako tieto dôsledky teórie relativity vznikajú, ani v jednej toto vysvetlenie nebolo ľahko zrozumiteľné. Ak keď sa to nepodarilo špecialistom v monografiách, nemá zmysel púšťať sa do vysvetľovania v knihe, ktorá chce povedať ešte mnoho iného. Ale stojí za to zapamätať si niekoľko praktických vecí, ktoré z teórie relativity vyplývajú.

V prvom rade, rýchlosť svetla vo vzduchoprázdne je najvyššia rýchlosť, akou sa môže vo vesmíre pohybovať nejaké teleso, častica alebo žiarenie. (Podotýkam, že vo vzduchu, vode alebo inom materiáli je rýchlosť svetla nižšia). A ako už bolo spomenuté, s predmetmi, pohybujúcimi sa vysokými rýchlosťami sa začínajú diať podivné veci, ktoré sa priečia skúsenosti, získanej našimi zmyslami. Bolo už spomenuté, že pozorovateľovi v pohybe čas plynie pomalšie. Táto zmena je v pozemských podmienkach a rýchlostiach nepatrná. Pri rýchlosti dopravných lietadiel by ste museli lietať milióny rokov, aby dosiahla jednú sekundu. Ak niekoho napadá otázka, či je potom v bežnom živote nevyhnuté zavádzať teóriu relativity a či nepostačujú staré dobré Newtonove zákony, musím ho sklamať. Rýchlosti družíc na obežnej dráhe okolo Zeme sú už dosť vysoké na to, aby nezapočítanie relativistickej odchýlky času a iných parametrov viedlo k chybám v činnosti navigačných systémov, napríklad aj GPS, ktorý dnes už nevyužívajú len armády, moreplavci alebo cestovatelia, ale už aj lepšie vybavené osobné automobily.

V pozemských podmienkach sú rovnako nepatrné odchýlky v plynutí času, ktoré závisia od sily gravitačného poľa. Čím je totiž gravitačné pole silnejšie, tým čas ubieha pomalšie. V roku 1976 bol tento jav potvrdený aj experimentálne, pomocou presných maserových hodín, ktoré cestovali na palube rakety do výšky asi 10 000 kilometrov, kde je gravitačné pole Zeme o niečo slabšie. Skutočne sa oneskorili, hoci len o niekoľko desiatmiliardtín sekundy. Vo vesmíre však existujú miesta a prebiehajú deje, pri ktorých sú

zmeny plynutia času v nepredstaviteľne silnom gravitačnom poli skutočne výrazné: na hranici čiernych dier, o ktorých už bola a ešte aj bude zmienka, sa čas doslova zastavil...

Ďalšia podivnosť je ekvivalencia hmoty a energie. Zo slávnej Einsteinovej rovnice $E=mc^2$ (E je energia, m hmotnosť a c rýchlosť svetla) možno odvodiť, že čím rýchlejšie sa teleso pohybuje, tým je vyššia jeho hmotnosť a pri rýchlosti svetla by sa stala nekonečne veľkou. Ešte strmšie rastie celková energia, ktorú treba telesu na dosiahnutie takýchto rýchlostí udeliť. Toto je ďalšia z veľmi zlých správ pre priaznivcov vesmírnych letov k vzdialeným svetom a tým, ktorí veria v návštevy mimozemšťanov. Nielenže sa vzdialenosti medzi hviezdami počítajú na desiatky, tisíce až milióny svetelných rokov, ktoré teda samotné svetlo precestuje za čas, porovnateľný s dĺžkou ľudského života, prípadne celého bytia ľudského rodu. Už na urýchlenie kozmickej lode na desiatky percent rýchlosti svetla je potrebné nereálne množstvo energie. Problémy, spojené s cestami čo i k najbližším hviezdám sa javia za dnešného stavu poznania ako neriešiteľné a aj s ohľadom na možné budúce objavy sotva realizovateľné.

Z teórie relativity vyplýva aj to, že lúč svetla (aj každého iného žiarenia) sa v gravitačnom poli ohýba podobne, ako keby bol tvorený časticami. Prvý experimentálny dôkaz podala medzinárodná expedícia astronómov za zatmením Slnka do západnej Afriky krátko po prvej svetovej vojne. Hľadala ohyb svetla, ktorý sa prejavuje ako zdanlivá (veľmi nepatrná) zmena polohy hviezdy, ktorej svetlo k nám letí tesne popri Slnku. Vtedy sa dal pozorovať len počas jeho zatmenia Mesiacom, kedy nie je svit hviezdy prekrytý oveľa jasnejšou žiarou Slnka. Získané pozorovania boli síce dosť nepresné, ale odvtedy už bola teória relativity takýmto spôsobom nespočetne ráz a veľmi dôkladne overená.

Vrátíme sa však k histórii vesmíru. Ako už bolo povedané, Einsteinove rovnice ponúkali dôkaz, že vesmír nemôže byť statický, teda v pokoji. Podobne, ako Newtonovi z nich vychádzalo, že všetky jeho časti by museli vplyvom vzájomnej príťažlivosti nakoniec spadnúť do jediného miesta. Einstein, aby sa vyhol takémuto dôsledku, zaviedol do nich takzvaný kozmologický člen, silu, ktorá má opačné vlastnosti ako gravitácia. Neskôr dosť ľutoval, že sa nedozvedel o Hubblových pozorovaniach včas (pravdepodobne sa tak stalo až r. 1931) a kozmologický člen označil za najväčšiu chybu svojho života. Podľa jeho rovníc už r. 1922 vypočítal niektoré modely rozpínajúceho sa vesmír ruský vedec Aleksandr Fridman, zamestnanec petrohradského geofyzikálneho observatória – mimochodom predtým meteorológ a vojenský pilot. Predpokladajú, že rozpínanie začínalo z bodu s nesmiernou hustotou (čo si vtedajšia fyzika nedokázala predstaviť). Nezávisle od neho dospel k podobným výsledkom belgický duchovný a matematik monsignor Georges Lemaitre. Ten okrem toho zistil, že Einsteinov a Newtonov statický vesmír by nemohol existovať ani teoreticky: Najmenšie porušenie tejto rovnováhy by znamenalo, že by sa vydal na cestu nekonečného rozpínania alebo kolapsu. Jeho výpočty, uverejnené r. 1927 spočiatku neboli brané vážne, nakoniec ostalo na Hubblovi, aby ich obhajoval.

Vzápätí, ešte než si vedci zvykli na tento neuveriteľný objav, padli dve celkom prirodzené otázky: ak sa vesmír teraz rozpína, čo sa stane ďalej? Bude sa rozpínať navždy, alebo sa jeho rozpínanie zastaví a opäť sa zrúti do jediného bodu, singularity? A ako dlho už trvá a ako dlho trvať bude? Na všetky dosiaľ nebola daná jednoznačná odpoveď. Pôvodné Hubblove odhady stanovovali dĺžku existencie vesmíru asi na dve miliardy rokov. Optimisti boli spokojní, pretože táto hodnota bola rovnakého rádu, ako vek najstarších hornín na Zemi. Pesimisti zas poukazovali na to, že vek hornín je predsa len podstatne vyšší, ako celého vesmíru, čo je zjavné protirečenie. Ale pribúdali nové pozorovania a vesmír bol čoraz starší, až sa jeho vek ustálil na dnešných približne 15 miliardach rokov. Problém so Zemou sa takto vyriešil – Zem má len niečo vyše 4 miliárd rokov, objavil sa však iný: našli sa hviezdy, ktorých vek bol vypočítaný na nejakých 17 miliárd rokov. Zatiaľ sa teda musíme zmieriť s tým, že výpočty veku vesmíru obsahujú nejakú chybu a veriť, že výsledky pozorovaní sa časom upresnia uspokojivým spôsobom.

Druhá otázka sa netýka minulosti, ale budúcnosti vesmíru. Či je jeho rýchlosť rozpínania dosť vysoká na to, aby sa let galaxii od seba po čase zastavil a obrátil, záleží od množstva hmoty, ktorú vesmír obsahuje – od toho závisí gravitačná sila, ktorá rozpínanie brzdí. Lenže vo vesmíre okrem žiariacich hviezd existuje aj tmavá hmota, ktorej množstvo sa celkom dobre nedá odhadnúť. Zatiaľ víťazia predpoklady nekonečného rozpínania. Nakoniec, z praktickej stránky to ľuďom príliš trápiť nemusí: vypočítaná životnosť Slnka aj Zeme – asi 5 miliárd rokov – je oveľa kratšia, než najkratší možný vek vesmíru. Čo je však ešte veľmi zaujímavé, je úžasná presnosť počiatocnej rýchlosti vesmíru. Kto sa niekedy pokúšal vyhodíť nejaký predmet kolmo hore, napríklad zväzok kľúčov niekomu v obluku na druhom poschodí, vie, že nie je celkom jednoduché hodiť ho presne tak silno, aby dosiahol vrchol svojej dráhy približne vo výške obluka. A aby sa ešte dnes rýchlosť rozpínania vesmíru pohybovala na hranici medzi nekonečným rozpínaním alebo budúcim kolapsom, musela byť nastavená s presnosťou okolo $1 : 1\,000\,000\,000\,000\,000$! Kým, čím – akým fyzikálnym zákonom, z akého dôvodu bola takto presne nastavená, to je otázka, na ktorú dnes nie je odpoveď.

To, že vesmír je statický, vždy bol a vždy aj bude, bola príjemná vedecká teória. Prinajmenšom z nej nevyplýva nepríjemná otázka, čo bolo pred ním a čo bude po ňom, hoci na druhej strane nastoľuje aj nepríjemné problémy – napríklad, z čoho by hviezdy brali jadrové palivo na výrobu svojho žiarenia. Preto nebolo málo fyzikov, ktorí navrhovali rôzne riešenia, ktoré zachraňovali teóriu nemenného – stacionárneho vesmíru. V dobe, kedy sa rozdiely vo vypočítanom veku vesmíru a jeho súčastí podstatne rozchádzali, obľuba statických modelov rástla. Rozhodujúci objav prišiel v roku 1965. Vlastne už predtým fyzici z Princetonskej univerzity Bob Dicke a Jim Peebles rozpracovávali myšlienku Georga Gamowa, že vesmírom by sa vlastne ešte dnes malo šíriť žiarenie z jeho raného obdobia, kedy bol ešte veľmi hustý a žeravý. Jeho frekvenciu stanovili do pásma

mikrovlnného žiarenia. V spomínanom roku testovali iní americkí fyzici, Arno Penzias a Robert Wilson z Bellových laboratórií citlivý mikrovlnný detektor a mali problém: neustále prijímali viac šumu, ako očakávali. Podľa toho, čo sa o ich práci píše, skúšali všetko možné, aby ho odstránili, známa je historka o čistení holubieho trusu z antény a nakoniec nemilosrdnej likvidácii jeho pôvodcov. Nič nepomohlo. Keď vylúčili všetky možné chyby aparatury a všimli si, že šum je rovnaký, či namieria anténu k horizontu alebo do vesmíru, usúdili, že zdroj šumu je mimo Zeme. Keď sa dozvedeli o Dickeho a Peeblesovej práci, uvedomili si, že objavili stopu po počiatkoch expanzie vesmíru – mohutnej počiatkovej explózii, Veľkom tresku.

Ale čo bolo predtým? To je nesmierne znepokojujúca otázka. Jedni vidia v počiatku vesmíru podpis Boha, akt stvorenia. Tento pohľad nie je v protiklade s nijakou pozemskou skúsenosťou. Stvoriteľa stavia mimo čas, vníma ho ako tvorca zákonov, podľa ktorých svet funguje a pôvodcu počiatkovej impulzu, ktorým sa dal do pohybu. Kto nerád zveruje podobné úlohy Stvoriteľovi a hľadá iné vysvetlenie, môže prijať také, že vesmír nevznikol v čase, ale spolu s ním. Nakoniec, v období, kedy bola všetka hmota vesmíru sústredená do nepredstaviteľne malého, žeravého a žiarivého bodu, v ktorom panovala nepredstaviteľná gravitácia, v tomto bode podľa teórie relativity čas plynul nekonečne pomaly, vlastne stál... a akt počiatku vesmíru prebiehal takmer večne (to platí pre pozorovateľa vnútri rodiaceho sa vesmíru, nie mimo neho – ale kde by ináč bol?). Napriek tomu, že fyzici stále prepočítavajú a upresňujú výpočty pomerov v prvých milisekundách vzniku vesmíru (teda milisekundách času potenciálneho vonkajšieho pozorovateľa, čas vnútri vesmíru, ako bolo spomenuté, sotva plynul), ide o problém skôr filozofický, ako fyzikálny, ktorý sa ešte bude riešiť roky, desaťročia, storočia?

Stavba vesmíru

Stlačenie celej hmoty vesmíru do jediného bodu alebo vôbec, do malého priestoru je nepredstaviteľné. Sú to podmienky, ktoré sa ťažko dajú opísať zákonmi fyziky. Na porozumenie aspoň niektorým dejom, ktoré sa odohrávali v priebehu vývoja vesmíru, treba si pripomenúť niečo o stavbe hmoty a niečo z kvantovej teórie.

Od začiatku minulého storočia je známa stavba atómu. (Vieme, že hmota sa skladá z drobných čiastočiek, molekúl. Molekuly sú najmenšie čiastočky hmoty, ktoré ešte majú charakteristické chemické vlastnosti. Skladajú sa z atómov, ktoré sú spolu viazané chemickou väzbou.) Atómy sa skladajú z jadra a obalu. V jadre sídli jedna alebo viacero elektricky kladne nabitých častíc, protónov. Jednotlivé prvky sa odlišujú práve počtom protónov v jadre. Okolo jadra obiehajú menšie, záporne nabité častice, elektróny. Je ich presne toľko, koľko protónov, takže celý atóm je elektricky neutrálny. Ďalej v jadre býva rôznych počet neutrálne nabitých častíc, neutrónov. Všetky prvky môžu existovať vo via-

cerých variantách, líšiacich sa hlavne počtom neutrónov v jadre. Tieto varianty sa nazývajú izotopy a majú rovnaké chemické vlastnosti. Odlišujú ich fyzikálne vlastnosti. Napríklad najjednoduchší prvok, vodík, má v jadre jeden protón, okolo ktorého obieha jeden elektrón. Poznáme však ešte dva izotopy: deutérium, ktoré má v jadre navyše jeden neutrón a trícium, ktoré má v jadre dva navyše neutróny. Dva atómy vodíka s jedným atómom kyslíka tvoria molekulu vody, dva atómy deutéria s jedným atómom kyslíka takisto molekulu vody, ktorá vyzerá rovnako, ale má o niečo iné fyzikálne vlastnosti a vďaka ním významné využitie v jadrovej fyzike. (Počas druhej svetovej vojny sa táto takzvaná ťažká voda vyrábala v jedinom závode na svete v Rjukan v Nórsku. O záchrane ťažkej vody pred Hitlerovými jadrovými fyzikmi a zničení závodu na jej výrobu sa popísali knihy a natočil film – tak dôležitou surovinou pri vývoji atómovej bomby bola.) Protóny a neutróny sa skladajú z menších častíc, kvarkov. Kvarkov je množstvo druhov a pri ich výklade by sme sa dostali do nezapamätateľných detailov. Bez prílišného zjednodušenia sa dá povedať, že ich významnou vlastnosťou je, že sa nevyskytujú samostatne. Len podozriem, že existuje teória, že ani kvark nie je najmenšou časticou hmoty a skladá sa z ešte menších častíc, preónov. Ďalej, existuje ešte veľké množstvo iných elementárnych častíc, ktoré sa väčšinou objavujú pri vzájomnom pôsobení atómov, pohybujúcich sa častíc a žiarenia a majú väčšinou len veľmi krátku životnosť.

Podľa najjednoduchšej predstavy je atóm podobný slnečnej sústave: v strede, podobne ako Slnko, sa nachádza jadro atómu a obežnice sú elektróny. V podobnom pomere sú aj jeho rozmery: vnútri atómu je predovšetkým nesmierne veľa prázdneho miesta. (To vysvetľuje, ako sú možné niektoré napohľad neuveriteľné javy vo vesmíre, ku ktorým sa ešte dostaneme.) Presné rozmery jednotlivých elementárnych častíc nemožno presne určiť: atóm samotný meria približne jednu desaťmilióntinu milimetra a jeho častice sú až stotisíkrát menšie. No skutočnosť je komplikovanejšia, ako takáto jednoduchá predstava. Pohybujúce sa elektróny by totiž mali byť brzdené vonkajšími elektrickými poliami – na tom istom princípe, ako fungujú všetky elektromotory na svete. Zakrátko by museli stratiť rýchlosť a popadať do jadra. To sa celkom zjavne nestalo – celá hmota vo vesmíre by tak onedlho bola jedinou beztvorou polievkou a nie atómami a molekulami s určitými fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami. Nevznikli by hviezdy, planéty, život. Tu teda končíme s predstaviteľnými javmi a musíme prijať nepredstaviteľné vysvetlenia, ktoré nám ponúka kvantová fyzika. Bez nich sa nezaobídeme ani pri výklade počiatku vesmíru.

Roku 1900 vytvoril Max Planck koncepciu kvanta. Vo svojom článku o tepelnom žiarení telies vyslovil hypotézu, že celková energia systému sa nemôže meniť plynule, ale len po určitých množstvách, kvantách. Bola však tak radikálna, že ju ďalej nerozvíjal. Ale v roku 1905 ju Albert Einstein použil na vysvetlenie fotoelektrického javu a v roku 1913 Niels Bohr prišiel s hypotézou, podľa ktorej elektróny v atóme môžu existovať len

v určitých stabilných stavoch s presne danou energiou. Medzi týmito stavmi (v jednoduchšej predstave obežnými dráhami s rôznou vzdialenosťou od jadra) môžu len „preskakovať“, pričom pri preskoku na vyššiu energetickú hladinu prijímú isté kvantum energie a pri prechode na nižšiu zase kvantum energie vyžiaria. Toto žiarenie má v závislosti od množstva energie, ktoré prenáša, istú presnú vlnovú dĺžku. Bohrov model nevyriešil len problém, prečo elektróny nepopadajú do jadra atómu, alebo ako vznikajú spektrálne čiary prvkov. Vysvetlil aj princíp, na ktorom funguje taká dnes bežná vec, ako laser: zdroj žiarenia (napríklad svetla) s presnou vlnovou dĺžkou, generovaného preskokmi elektrónov medzi energetickými hladinami a aj s rovnakou fázou. (Ak náhodou neviete, načo je laser dobrý, tak napríklad na čítanie a napalovanie CD-ROM – známych cédéčiek, nosičov zvuku, DVD videa, dát. Alebo sa používa na presné zameriavanie laserovým lúčom, bez ktorého sa dnes nedá postaviť veľká stavba alebo vykonať taká ošklivosť, ako naviesť presne na cieľ riadenú leteckú bombu. Obyčajné svetlo sa na takéto účely nedá použiť, jeho lúč nemôže byť tak presne zaostrený.)

Kvantová teória poskytla vysvetlenie javov, pri ktorých sa svetlo a iné elektromagnetické vlnenie správa súčasne ako prúd častíc (fotónov) a súčasne ako vlny. V roku 1923 Louis de Broglie navrhol vzťah medzi hybnosťou a častice a vlnovou dĺžkou: Čím je hybnosť väčšia, tým je kratšia vlnová dĺžka zodpovedajúceho žiarenia. To bol základ predstavy dvojakosti, duality časticovej a vlnovej predstavy hmoty. Predstaviť si, ako je možné, že sa nejaké elementárne častice, napríklad elektróny obiehajúce okolo jadra atómu súčasne chovajú ako elektromagnetické vlnenie, to sa skutočne nedá. Pritom je to jav, ktorý sa dá overiť pokusmi. A na základe tejto predstavy existujú fyzikálne rovnice, ktoré dokážu popísať celkom hmatateľný svet okolo nás, a to vrátane spomenutého lasera, samočinných počítačov a atómových bômb. Nie posledným podstatným príspevkom ku vzniku teórie kvantovej mechaniky bola formulácia princípu neurčitosti. Werner Heisenberg ho odvodil od poznatku, že vďaka existencii kvánt energie nie je možné nijakým pozorovaním stanoviť súčasne polohu a rýchlosť elementárnej častice. Akékoľvek malé kvantum žiarenia, ktoré pozorujeme po odraze od častice (a ktoré nám prezradí jej polohu), ju súčasne posunie a zmení rýchlosť a smer jej pohybu. Teda princíp neurčitosti hovorí, že polohu a rýchlosť častíc možno stanoviť len s väčšou alebo menšou pravdepodobnosťou. Trochu sa to dá prirovnať k situácii vo vzduchoprázdnej nádobe, kde vpustíme len niekoľko molekúl plynu. Tieto ňou budú voľne poletovať, odrážať sa od stien a výnimočne aj od seba a pravdepodobne za nejakú krátku dobu sa na okamih všetky ocitnú v jednej polovici nádoby. Čím viac molekúl plynu do nádoby vpustíme, tým bude takáto situácia menej pravdepodobná, no a vo fľaši plnej miliárd molekúl obyčajného vzduchu tak nepravdepodobná, že temer určite by sme ju nespozorovali ani za celú dobu existencie vesmíru. Týmto princípom sa na úrovni atómov napríklad riadi rádioaktívny rozpad: poznáme celkom dobre polčasy rozpadu rádioaktívnych izotopov – to je čas, za ktorý sa rozpadne

polovica atómov daného množstva látky. Nedokážeme však určiť, ktoré konkrétne atómy sa kedy rozpadnú. (Pravdu povediac, na tom až tak veľmi nezáleží: výslednú dávku rádi-oaktívneho žiarenia to nezmení).

Princípy kvantovej teórie majú význam v neviditeľnom svete malého, vo svete elementárnych častíc a žiarenia. Vesmír manipuluje s obrovskými masami hmoty a jeho chovanie sa dá celkom dobre odvodiť podľa Newtonových zákonov a teórie relativity. Jej tvorca, Albert Einstein síce svojimi objavmi prispel k rozvoju kvantovej teórie a celej kvantovej fyziky, ale nikdy sa s jej pravdepodobnostným charakterom nezmieril – po-vestný jej jeho výrok „Boh nehrá kocky“, ktorým odmietol možnosť, že by javy okolo nás boli dielom náhody. Nuž, je isté, že sa mýlil. Iný geniálny fyzik, Stephen Hawking ko-mentoval tento jeho výrok s príznačným suchým anglickým humorom: „Zdá sa, že Boh nielen kockami hrá, ale niekedy ich vrhá tam, kde na ne nikto nemôže vidieť...“

Vesmír od počiatku až dodnes

Podľa dnešných odhadov existuje v našej Galaxii sto miliárd hviezd a vo vesmíre mi-liardy podobných hviezdnych zoskupení. To je obrovské množstvo hmoty, aj keď ne-smierne riedkej: odhaduje sa, že v kubickom metri priemerného vesmíru sa vyskytu-jú priemerne tri protóny. (Takéto dokonalé vákuum na Zemi ani nedokážeme vyrobiť) Napriek tomu je sotva predstaviteľné, ako by mohla všetka táto hmota byť v počiatku existencie vesmíru, v okamihu Veľkého tresku stlačená do nekonečne malého priesto-ru. Snáď by mohla existovať (podľa princípu ekvivalencie hmoty a energie) vo forme nesmierne energetického žiarenia – faktom však je, že tento stav hmoty nevie dnešná fyzika popísať. Tvorca a propagátor teórie Veľkého tresku, George Gamow ho nazval ylem. Zverejnená bola v roku 1948 a je zaujímavé, že už vtedy predpovedala existenciu reliktného žiarenia, ktoré o 17 rokov objavili Penzias a Wilson. (Mnohí pisatelia si ne-skôr všimli, že hoci ide o jednu z najgeniálnejších fyzikálnych teórii, nebola odmenená Nobelovou cenou.)

Podľa matematického modelu bol počiatkový rozmer vesmíru nulový a jeho teplota nekonečná. Toto sú hodnoty skutočne nepredstaviteľné. Ale už jednu sekundu po veľ-kom tresku nastala situácia, ktorú si už trochu vieme predstaviť a fyzici celkom dobre po-písať. Teplota klesla asi na 10 000 000 000 (desať miliárd) stupňov, čo je hodnota, ktorá sa nakrátko objavuje aj na našej Zemi – pri výbuchu vodíkovej bomby. Objavujú sa niektoré častice, ktoré sú bežné v terajšom vesmíre, napríklad fotóny, elektróny a neutrína. O nie-koľko minút teplota ďalej poklesla pod miliardu stupňov, objavili sa jadrá atómov vodíka – protóny, jadrá deutéria a zopár ďalších ľahkých prvkov. Tvorba jadier prvkov trvala niekoľko hodín, pokiaľ teplota nepoklesla na hodnoty tisícov stupňov a energia jadier a elektrónov už nestačila prekonávať elektromagnetické príťažlivé sily. Potom začali vzni-kať prvé kompletne atómy, teda atómové jadrá aj s elektrónmi, ktoré uviazli na obežných

dráhach okolo nich. Mladý vesmír teraz obsahoval mračná plynu vodíka a hélia, ktoré sa ďalej rozpínali a chladli. Drobné nepravidelnosti v ich hustote spôsobili, že sa v ňom vytváralo množstvo oblastí s vyššou hustotou, teda aj so silnejšou gravitáciou a tieto zhustnutia na seba priťahovali ďalší okolitý plyn. Pri jeho pohybe k ťažisku mračien vznikali podobné efekty, ako vo vode v umývadle, ktorá steká k výtoku – pohyb nesmeruje presne k stredu, ale trochu pomimo, dráha sa skrúca a celý mrak začína rotovať, najskôr nepatrne, potom už stále rýchlejšie. Nakoniec sa odstredivá sila pri rotácii vyrovnala s dostredivou gravitačnou a vznikli obrovské diskovité útvary, budúce galaxie.

Ďalším významným dejstvom vo vývoji vesmíru je vznik hviezd. Postupom času sa mraky plynu ďalej rozdeľovali na menšie časti, tiež diskovitého tvaru a s vlastnou rotáciou (oveľa rýchlejšou, ako rotácia celej galaxie). Vplyvom gravitácie sa najviac plynu sústredilo v centre disku, kde vznikali zárodky hviezd, globule. V ich jadre sa zvyšoval tlak a tým aj teplota, až dosiahla bodu, ktorý je potrebný na spustenie termonukleárnej reakcie, pri ktorej sa vodík mení na hélium. Sú to deje, podobné tým, ktoré prebiehajú pri výbuchu vodíkovej bomby. (Zahriatie materiálu vodíkovej bomby na tak vysokú teplotu sa dá dnešnými prostriedkami dosiahnuť len výbuchom štiepnej atómovej bomby, v ktorej prebieha štiepenie plutónia – v princípe podobnej, ako bola zhodená na Hirošimu a Nagasaki.) Od polovice 20. storočia sú premeny prvkov v hviezdach presne známe – pri vyššej teplote jadra hviezd prebiehajú v Betheho CNO cykle, pri nižších, aké sú aj v jadre Slnka, v tzv. pp cykle. Pri CNO cykle vzniká hélium z vodíka „okľukou“ cez uhlík, dusík a kyslík, pri pp cykle priamo cez deutérium – ťažký vodík. Produkujú obrovské množstvo energie, takže vplyvom vysokej teploty tlak vnútri hviezd vzrastá a bráni ďalšiemu zmršťovaniu plynu. V tomto rovnovážnom stave hviezd vydržia väčšinou miliardy rokov, záleží na ich veľkosti. Aby tlak vnútri hviezd vyrovnal ich vyššiu gravitáciu, hmotnejšie hviezdavy musia udržiavať vyššiu teplotu a spotrebúvajú viac jadrového paliva, takže ich život je nakoniec kratší. Okrem jadra majú hviezdavy niekoľko vrstiev, v ktorých neprebíha reakcia, ale prenáša sa nimi energia na povrch hviezdavy, odkiaľ sa vyžaruje do priestoru. Zo Zeme vidíme fotosféru Slnka s granuláciami, ktoré sú vytvárané vrcholmi vzostupných prúdov v nižšej konvektívnej vrstve. Fotosféra trocha pripomína hladinu bublajúcej, vriacej polievky. Neodporúčam však pokúšať sa o jej pozorovanie bez príslušného prístrojového vybavenia. Niekoľko minút pozerania priamo do Slnka stačí na poškodenie očnej sietnice a čiastočné, nedajbože aj úplné oslepnutie.

Po spotrebovaní zásoby vodíka sa typ termonukleárnej reakcie zmení, začne proces syntézy uhlíka, dusíka, kyslíka a ďalších ťažších prvkov z vytvoreného hélia. Hviezda sa rozopne a zmení sa na červeného, žltého alebo oranžového obra. Sú to obrovské hviezdavy s malým hustým jadrom a mohutným, riedkym plynovým obalom. Potom nasleduje syntéza ešte ťažších prvkov, ktorá končí tvorbou železa. Pri týchto zmenách sa hviezda striedavo zmršťuje a rozpína (po skončení jedného typu reakcii začne chladnúť, tlak v jadre

sa zníži, vrchnejšie vrstvy sa prepadnú, tým sa tlak opäť zvýši a zapáli ďalšiu termonukleárnu reakciu...). Pritom časť hmoty hviezdy nenávratne odletí do kozmického priestoru. Namiesto je naliehavá otázka, v ktorom štádiu je naša životodarná hviezda, Slnko: je to v poriadku, teraz v ňom prebieha syntéza hélia a bude pokojne žiariť ešte asi 5 miliárd rokov (aj keď stále intenzívnejšie).

Hviezd v priebehu ich života môžeme vidieť, koľko len chceme aj voľným okom – stačí k tomu jasná noc. Ale zánik hviezd a ich pozostatky sa pozorujú oveľa ťažšie. Hlavným dôvodom je, že tento proces prebieha pomerne rýchlo a zaberá len nepatrnú časť doby života hviezdy. Po spotrebovaní zásoby jadrového paliva a vyhasnutí termonukleárnych reakcií niet sily, ktorá by bránila prepadnutiu vrchných vrstiev hviezdy smerom do jej stredu. Hviezda naposledy krátko a veľmi intenzívne zažiarí ako nová jasná hviezda na oblohe – supernova. Tento dramatický okamih, vlastne obrovský výbuch, spôsobený náhlym zmrštením masy hviezdy, možno len výnimočne pozorovať voľným okom. Takýto jav zaznamenali v Európe, ale aj v Číne v roku 1054. Podľa historických záznamov bola táto supernova pozorovateľná aj vo dne celé tri týždne a v noci temer dva roky. Vďaka podrobnému popisu dnes môžeme identifikovať jej pozostatok, mračno plynu ako Krabiú hmlovinu. Materiál, pôvodne padajúci do stredu hviezdy bol vystrelený do priestoru rýchlosťou stoviek až tisícov kilometrov za sekundu. No aj napriek tak intenzívnej explózii po hviezdach predsa niečo zostane.

Objekty zvané bieli trpaslíci sú známe jeden a pol storočia, odkedy bol objavený Sírius B, malý sprievodca najjasnejšej hviezdy na oblohe. Napriek tomu, že je menší, ako Zem, jeho hmotnosť je primeraná hviezde strednej veľkosti. Jeho hmota je nesmierne hustá: kubický centimeter váži tony. Toto nesmierne zhustnutie sa vysvetľuje tak, že pod ťarchou obrovskej gravitácie v centre rúcajúcej sa hviezdy sa zrútili aj elektrónové obaly atómov, takže jadrá atómov sú naskladané jedno vedľa druhého.

Bieli trpaslíci vznikajú ako posledné štádium života hviezd približne veľkosti Slnka. Ale čo sa stane s hmotnejšími hviezdami? V dvadsiatych rokoch 20. storočia sa týmto problémom zaoberali nezávisle na sebe vtedy mladý indický vedec Subrahmanyan Chandrasekhar, neskorší nositeľ Nobelovej ceny a sovietsky fyzik Lev Davidovič Landau. Landau vypočítal, že hviezda s hmotnosťou jedného až dvoch Slnk môže skončiť ako ešte hustejšie teleso, ktoré dnes nazývame neutrónovou hviezdou. Ak sa zrúti aj štruktúra atómového jadra a protóny a elektróny sa zlúčia na neutróny, zostane len neuveriteľne ťažká guľa z neutrónov, stlačených do priemeru niekoľkých kilometrov. A Chandrasekhar počas dlhej cesty loďou z Indie do Británie vypočítal maximálnu hmotnosť, ktorú môže mať hviezda, aby vôbec odolala vlastnej gravitácii. Vyšiel mu asi jedenapolnásobok hmotnosti Slnka a túto hranicu označujeme ako Chandrasekharovu medznú hodnotu. Hmotnejšie hviezdy sa neudržia ani v stave ako bieli trpaslíci, ani ako neutrónové hviezdy, ale zmršťujú sa ešte ďalej. Kam, to si vtedy nevedel nikto predstaviť.

Čo sa stane s takouto hviezdou, vypočítal (zase podľa všeobecnej teórie relativity) vedec, ktorý sa neskôr stal „otcom atómovej bomby“, Robert Oppenheimer a jeho žiak Hartland Snyder. Zmršťujúca hviezda sa neustále zmenšuje, pričom gravitácia na jej povrchu vzrastá. Nakoniec prejde určitým kritickým polomerom, pri ktorom je gravitačné pole na jej povrchu tak silné, že ohýba naspäť aj svetlo, smerujúce von z tohto priestoru. Azda názornejšia je vyše dvesto rokov stará Mitchellova a Laplaceova predstava, že častice svetla, fotóny, odlietajúce z čiernej diery sú napriek svojej rýchlosti obrovskou príťažlivosťou zabrzdené a pritiahnuté naspäť, odkiaľ pôvodne odlietali. A keďže rýchlosť svetla je najvyššou možnou rýchlosťou hmotného telesa i žiarenia, znamená to, že spod kritického polomeru nič neunikne. O tom, že takýto nesmierne hustý objekt existuje, sa dozvieme len podľa jeho obrovskej gravitácie, ktorá k pozorovateľovi neprepustí nijaké svetlo, nijaké elektromagnetické vlny.

V roku 1939, kedy sa schyľovalo k druhej svetovej vojne, Oppenheimerov a Snyderov článok v *Physical Review* akosi unikol pozornosti. Do priateľských vzťahov medzi vedcami vstúpila politika. Nikto nevedel, ako ochotne a usilovne nemeckí fyzici pracujú na vývoji atómovej bomby. Obavy viedli aj Alberta Einsteina, aby pomohol presvedčiť americkú vládu a tak nakoniec najlepší svetoví odborníci boli zamestnaní na vývoji tejto zbrane pre USA. Mnohých z nich potom, čo americká armáda demonštrovala silu jadrového výbuchu veľmi nevhodným spôsobom – zničením Hirošimy a Nagasaki, potom trápilo svedomie, najmä, keď sa ukázalo, že Nemecko bolo od zostrojenia podobnej zbrane ešte veľmi ďaleko. Až po vojne sa problému umierajúcich hviezd opäť začalo venovať viacero vedcov na Západe, ale aj v Sovietskom Zväze. Názov „čierna diera“ nakoniec zaviedol v roku 1967 Američan John Wheeler. Neurčitý, bezmenný objekt dostal meno, ktoré mu zaručilo nielen vstup na scénu sci-fi, ale aj väčší záujem vedcov. Hoci veľa podstatného bolo už dovtedy objaveného v tichosti a bez obzvláštného záujmu verejnosti.

Aký veľký je spomenutý kritický polomer, spod ktorého nijaké žiarenie gravitácii neunikne, záleží od hmotnosti objektu a dá sa určiť podľa rovníc, ktoré spracoval už roku 1916 Karl Schwarzschild. Pretože v tej dobe tento vážený riaditeľ Postupimského observatória bojoval (a neskôr zahynul) na ruskom fronte, jeho prácu predniesol na pôde Pruskej akadémie vied sám Einstein. Podľa nich by meral v prípade hmotnosti Slnka púhe 3 kilometre. Einstein si určite už vtedy uvedomil zvláštne dôsledky, ktoré zo Schwarzschildových rovníc vyplývajú, ale zrejme ich nepovažoval za reálne. Že by bolo možné stlačiť Slnko na guľu s trojkilometrovým polomerom sa vtedy zdalo nielen jemu, ale aj všetkým významným vedcom čírou fantáziou. Ale známa je úvaha rektora Birminghamskej univerzity sira Olivera Lodgea z roku 1921: sústredenie hmoty Slnka do tak malého priestoru síce tiež nepovažoval za hodné racionálnej pozornosti, ale upozornil, že gravitácia galaxie, sústredenej do priestoru s polomerom stovky svetelných rokov by takisto uväznila svoje svetlo – teda chovala by sa ako čierna diera. Čo nezabudol

pripomenúť, priemerná hustota takejto „stlačenej“ galaxie by predstavovala veľmi riedky plyn, čo už nie je nič nepredstaviteľného.

Čierna diera je dnes veľmi populárna rekvizita fantastických filmov a pripisujú sa jej rôzne neuveriteľné vlastnosti. Čo je teda pravda a čo nie? V prvom rade je skutočná jej nesmierna príťažlivosť. Je tak obrovská, že v blízkosti kritického polomeru nie je reálna nijaká sila, ktorá by zabránila pádu hocako výkonnej kozmickej lode dovnútra. Ako bolo povedané, nie je možné, aby sa niekto alebo niečo z čiernej diery vynorilo. Existujú úvahy, že by ohyb priestoru a času v silnom gravitačnom poli mohol umožniť prechod do inej vzdialenej časti vesmíru. Ale ak by aj táto možnosť existovala, je isté, že predmet alebo bytosť by toto cestovanie prekonal len ako kôpka elementárnych častíc, z ktorých pôvodne pozostávali, alebo len ekvivalentná dávka žiarenia. Ďalej, gravitácia na kritickom priemere je taká silná, že pri nej sa čas úplne zastaví. Ak by sme pozorovali pád predmetu do čiernej diery, nedočkali by sme sa jeho konca. Svetlo by sa k nám predieralo stále pomalšie (súčasne by bolo stále červensšie - s nižšou frekvenciou) a nakoniec by sme videli len tmú čiernej diery. Pádu pod Schwarzschildov polomer by sme sa nedočkali. Naopak, pre astronauta, ktorý by sa teoreticky ocitol blízko kritického polomeru, by sa čas zastavil, takže by mohol čakať, pokiaľ sa k nemu dostane svetlo – alebo obraz všetkých nasledujúcich udalostí v okolitom vesmíre. Tie by vnímal ako vo veľmi zrýchlenom filme. Nakoľko je však úplne vylúčené, aby živá bytosť prežila v takejto situácii, určite nikdy nebude nikoho, kto by nám mohol o podobných zážitkoch z budúcnosti porozprávať.

Kritický priemer čiernej diery sa nazýva aj horizont udalostí. Nielen preto, že na ňom končí plynutie času. O ničom, čo sa za týmto horizontom deje, nemôžeme dostať nijakú správu – neexistuje nijaký predmet, nijaký signál, ktorý by spod neho mohol preniknúť a poskytnúť nejakú informáciu (hoci, túto teóriu najnovšie spochybnil práve Hawking.) A naopak, pre každého a všetko, čo ním preniklo smerom dnu, nenávratne končí akýkoľvek kontakt s vonkajším svetom.

Dnes máme celkom solídne dôkazy o existencii všetkých troch typov pozostatkov hviezd. Biely trpaslík Sirius B bol objavený už v roku 1844 a dnes ich poznáme spústy. Objav prvých neutrónových hviezd v roku 1967 bol trochu kurióznym. Rádioastronómovia z Cambridge Jocelyn Bellová a Antony Hewish vtedy objavili útvary nazvané pulzary: zdroje veľmi pravidelne sa objavujúcich pulzov rádiových vln (dodnes sú to jedny z najpresnejších časových normálov vo vesmíre). Svoj objav údajne urobili pomocou antény z drôteného pletiva, ktoré proste natiahli na príľahlom pozemku. I ďalší osud tohto objavu sprevádza zaujímavá historka: keďže sa istý čas pohrávali s myšlienkou, že objavili signály mimozemských bytostí, nazvali prvé štyri objavené pulzary LGM 1 až 4 (LGM znamenalo Little Green Men – Malí Zelení Mužáci). Veľmi skoro však prijali reálne vysvetlenie – pulzary sú veľmi rýchlo rotujúce neutrónové hviezdy, ktoré pôsobením svojho magnetického poľa na elektricky nabitú

častice okolitého plynu vytvárajú rádiový lúč, ktorý sa otáča spolu s nimi ako svetlo majáka – len oveľa rýchlejšie.

Dôkazy o čiernych dierach sa zbierali ťažšie. V roku 1963 bol objavený slabý objekt, podobný hviezde, ktorého svetlo bolo neuveriteľne posunuté k červenému koncu spektra. To svedčilo o tom, že objekt je od nás nesmierne ďaleko a teda musí nesmierne intenzívne žiariť. Čo je zdrojom potrebnej energie, zostávalo roky záhadou. Tieto kvazary – ako boli objekty nazvané (z označenia kvazistelárne – hviezdám podobné – útvary) – stali adeptmi na pozorovateľné čierne diery. Nakoniec Hubblov kozmický teleskop priniesol presvedčivé obrázky zdroja rentgenového žiarenia Cygnus X-1, ktoré potvrdili, ako to môže v okolí čiernej diery prebiehať. Vo vesmíre existuje množstvo slnečných sústav, ktoré majú v centre dve alebo viac hviezd, ktoré obiehajú okolo spoločného ťažiska (nazývajú sa dvojhviezdy, trojhviezdy a podobne). Ak sa jedna z nich zmení na čiernu diery, začne svojou gravitáciou odsávať plynový obal zo svojej sestry. Ten prúdi po špirále, ako voda z výlevky do kanalizácie stále rýchlejšie k čiernej diere, pritom sa nesmierne zahrieva a výdatne žiari.

Dnes už možno považovať za isté, že aj v centrách galaxii sídlia obrovské čierne diery, ktoré sa stále zväčšujú príberaním hmoty zo všetkého, čo sa ocitne v ich blízkosti a neodolá obrovskej gravitácii. Žiarenie kvazarov je najskôr žiarením obrovského množstva hmoty, ktorá neustále tečie z okolia do podobnej supermasívnej čiernej diery.

Budúcnosť vesmíru

Na začiatku kapitoly popísaný postup vzniku a zániku hviezd je obvyklý, no nie jediný možný. Čo, ak sa v procese vzniku hviezd vydolí mračno plynu, ktoré neobsahuje dostatočné množstvo vodíka na to, aby jeho tlak a teplota spustili termojadrovú syntézu? Takéto „nepodarené hviezdy“ nesvietia, no predsa už boli dokázané a dostali názov hnedí trpaslíci. Vznikajú, ak sa v centre mračna plynu sústredí množstvo hmoty ešte menšie, ako je desatina hmotnosti Slnka. Ale ani naša slnečná sústava nevznikla presne podľa vyššie popísaného scenára. Slnko je totiž hviezdou druhej alebo tretej generácie, to znamená, na vzniku našej slnečnej sústavy sa podieľa aj hmota, ktorú do priestoru vymrštili staršie zanikajúce hviezdy. Je to skutočnosť veľmi podstatná pre vznik života: táto hmota už obsahuje aj ťažšie prvky, ktoré vznikli v reťazi termonukleárnych reakcií a pri zániku dnes už neexistujúcich hviezd. A bez týchto nich by sme nemali pod nohami pevnú zem – táto sa skladá práve z týchto ťažších prvkov.

O budúcnosti vesmíru sú dosiaľ len dohady. Je vypočítaných niekoľko možných variant, ale nikto určite nevie, ktorá z nich je správna. O niektorých už bola zmienka. Ak vo vesmíre existuje dostatok hmoty, jej vzájomná príťažlivosť nakoniec rozpína vesmír zastaví a celý vesmír za nejaké miliardy rokov skončí tam, kde začal: v jedinom bode s nesmiernou hustotou a teplotou, vlastne v centre nepredstaviteľne veľkej čiernej diery.

Ak rozpínanie bude trvať večne, potom je možný iný, dlhodobý a vcelku nudný scenár.

Trvajúcim problémom kozmológov je práve množstvo hmoty vo vesmíre. Je isté, že okrem viditeľnej, žiariacej hmoty hviezd, ktorú už ako-tak možno spočítať, určite existuje aj tmavá hmota. Jej existencia je nepochybne dokázaná podľa tretieho Keplerovho zákona, ktorý platí pre sústavy, ktorých hmota je sústredená v ich centre. Približne mu zodpovedá slnečná sústava, pretože v Slnku je jej sústredenej asi 99%. Obežné rýchlosti planét sú úmerné gravitačnej sile, ktorá klesá s druhou mocninou vzdialenosti od Slnka. Takže Zem sa pohybuje po obežnej dráhe rýchlosťou 30 km/s, vzdialenejší Jupiter 13 km/s. Nezrovnalosti s Keplerovým zákonom v pohybe hviezd rámci našej Galaxie si všimol r. 1932 holandský astronóm Jan Oort. Podľa jeho výpočtov musí obsahovať asi dvakrát toľko hmoty, ako pozorujeme. A našli sa špirálové galaxie, v ktorých hviezdy blízko vnútorného a vonkajšieho okraja viditeľného disku obiehajú okolo ich stredu približne rovnakou rýchlosťou, čo svedčí o prevahe skrytej, temnej hmoty.

K temnej hmote určite patria tmavé mračná prachu a plynu, ktoré tu a tam možno vidieť oproti pozadiu žiariacich vzdialených galaxii a spomenutí hnedí trpaslíci. Nezdá sa však, že by to bolo všetko. Niektoré výpočty ukazujú, že skrytej temnej hmoty môže byť vo vesmíre desaťkrát až stokrát viac, ako tej žiariacej, pozorovateľnej. Sporné je aj jej zloženie. Prevažujú protóny a neutróny, alebo iné, ľahké častice, napríklad neutrína? Na odpoveď na tieto otázky si treba ešte nejaký čas počkať.

Vráťme sa k možnosti, že vesmír sa bude večne rozpínať. Potom bude dosť času na to, aby sa postupne spotreboval všetok vodík, zdroj energie pre svietiace hviezdy. Nastane predĺhé obdobie degenerácie, v ktorom bude vesmír obsahovať tmavé pozostatky hviezd: bielych trpaslíkov, neutrónové hviezdy a čierne diery. Ojedinelé slabo svietiace hviezdy budú vznikať len po náhodných kolíziach bielych a hnedých trpaslíkov, kedy sa nahromadí dostatok materiálu a energie nato, aby sa mohla ešte raz rozbehnúť termonukleárna reakcia. Galaxie sa postupne rozpadnú, hoci budú existovať ešte asi miliardkrát dlhšie, ako je dnešný vek vesmíru. Temná hmota bude postupne zachytávaná v bielych trpaslíkoch a ich teplota sa vďaka tomuto procesu bude držať na úrovni desiatok Kelvinových stupňov. Predpokladá sa, že hoci veľmi pomaly, budú sa rozpadať aj protóny a neutróny, z ktorých sa skladajú bieli trpaslíci a neutrónové hviezdy. Proces ich premeny na žiarenie bude trvať miliardy miliardy rokov. Pomaličky sa budú „vyparovať“ aj čierne diery – ako dokázal Stephen Hawking, zákony kvantovej fyziky pripúšťajú, aby následkom dejov v blízkosti horizontu udalostí nejaké slabé žiarenie s teplotou niekoľkých stupňov Kelvina z čiernej diery unikalo. (Podľa pravidla o ekvivalencii hmoty a energie tým čierna diera stráca hmotnosť – ubúda z nej, nepresne povedané, „vyparuje sa“. Tento proces však u masívnych čiernych dier bude trvať nesmierne dlho) O nejakých desaťtisíc miliardy rokov sa vesmír premení na oceán žiarenia, sčerený len gravitačným poľom obrovských čiernych dier...

Tento nudný scenár nás síce vôbec nemusí trápiť, pretože oveľa skôr zanikne Slnko i Zem, napriek tomu existuje dosť ľudí, ktorí sa zaoberajú rôznymi alternatívami toho, čo by ešte mohlo vo vzdialenej budúcnosti nastať. Veľkú popularitu majú v tomto smere čierne diery, o ktorých sa uvažuje ako o možných bránach do „paralelných vesmírov“. Iné úvahy nastoľujú otázku, či Veľký tresk, ktorým vznikol náš vesmír, nebol iba jedným z mnohých podobných udalostí, teda či neexistuje viac vesmírov. Každopádne, pri dnešnej úrovni poznania fyzikálnych zákonov sú to len špekulácie. Eisteinova teória relativity dobre popisuje deje, ktoré sa odohrávajú vo veľkých merítkach kozmického priestoru a kvantová fyzika zas javy v merítkach elementárnych častíc. Fyzici sú väčšinou presvedčení, že existujú zákony, spoločné pre celý vesmír vo veľkých i malých merítkach a dúfajú, že ich raz objavia. Je možné, že potom dokážu porozumieť aj tomu, čo sa odohráva v čiernych dierach alebo pri Veľkom tresku, veciam, ktoré sa nedajú vtesnať do dnes známych fyzikálnych zákonov. Potom, okrem iných, pravdepodobne oveľa praktickejších aplikácii týchto objavov, možno pokročíme aj v poznaní toho, aká budúcnosť vlastne očakáva vesmír.

Zem

História vzniku

Hľadači mimozemských civilizácií sú presvedčení, že medzi miliardami miliárd hviezd vo vesmíre musia existovať mnohé podobné Slnku, s podobnou planetárnou sústavou a s podobnými živými tvormi, ako sme my na Zemi. Tí zanietenejší vidia dielo mimozemšťanov vo všetkom, čomu dobre nerozumejú a vyvolávajú útrpné úsmevy na tvárach odborníkov. Triezvejšie mysliaci vedci okrem iného usilovne počítajú, snažia sa odhadnúť možnosti vývoja a cestovania po Vesmíre pre civilizácie, ktorých podobu si sotva možno predstaviť a sú v rozpakoch: zdá sa, že niekde vo vzdialenom okolí by sme predsa len mali mať nejakých susedov. Prečo sme doteraz nenašli nijaký vierohodný dôkaz o ich existencii? Žeby bol vyspelým civilizáciám predurčený len krátky život? Alebo je Zem taká nesmierne výnimočná?

Hoci Slnko je naozaj len obyčajná hviezdička strednej veľkosti bez akýchkoľvek neobyčajných vlastností, pre to, aby v jej okolí mohol vzniknúť život na báze vody a uhlíkatých zlúčenín, okrem veľkosti musí splňovať mnohé ďalšie predpoklady. Dosť dôležitý je ten, že nevzniklo ako hviezda prvej generácie – že prachoplynové mračno, z ktorého vznikla naša slnečná sústava už obsahovalo aj ťažšie prvky ako produkty termonukleárnych reakcií na už zaniknutých hviezdach predchádzajúcej generácie. Ďalej je podstatná skutočnosť, že nie je súčasťou dvojhviezdy alebo ešte zložitejšej sústavy hviezd, aké sú vo vesmíre dosť časté. Takéto niekoľkonásobné slnká, obiehajúce okolo spoločného ťažiska, neposkytujú vo svojom okolí príhodné podmienky pre vznik stabilného planetárneho systému, na ktorom by sa mohol uchýtiť život podľa našich predstáv. Ďalším a nie posledným z rady predpokladov je, aby sa celá sústava nachádzala v pomerne pokojnom kúte galaxie, mimo kolízií a dejísk rôznych kozmických katastrof, ktoré dokážu spoľahlivo zničiť akejkoľvek vyvinutejšiu živú hmotu.

Vznik slnečnej sústavy si predstavujeme tak, že sa začala formovať z mračna prachu a plynu s teplotou asi 10 stupňov Kelvina. Vďaka nejakému vonkajšiemu impulzu, možno výbuchu blízkej supernovy sa mračno dalo do pohybu, ktorý vyústil do jeho rotácie. Odstredivá sila sa potom postarala, aby sa časom sploštilo do tenkého disku. V tomto disku, ktorý obsahoval prevažne prach, následkom kombinácie gravitačných a odstredivých síl súčasne dochádzalo k akémusi usadzovaniu materiálu. Väčšina nakoniec skončila v jeho strede a spolu s okolitým plynom, prevažne vodíkom vytvorila Slnko. Ostatné častice sa postupne začali zhľukovať. Tento proces podľa dnešných výpočtov prebiehal dosť rýchlo, takže v priebehu niekoľkých tisícročí v rovine vznikajúcej slnečnej sústavy (ekliptike) obiehali kamene s priemerom niekoľko kilometrov, nazývané planetesimály.

Zem

Tieto sa pôsobením gravitácie ďalej zhluchovali a vytvorili dnešné planéty. Väčšie z nich si svojou gravitáciou dokázali pripútať množstvo okolitého plynu v podobe atmosféry, ktorá mala hrúbku tisícov kilometrov. Menšie planéty, ako je Zem, o pôvodnú atmosféru prišli a vytvorili si novú, prevažne sopečnou činnosťou. Jedine na Zemi nakoniec vznikla aj terciárna atmosféra, ktorej zloženie je dané činnosťou živých organizmov.

Aj zloženie planét sa mení v závislosti od vzdialenosti od Slnka. Bližšie planéty sa skladajú z ťažších prvkov, vzdialenejšie prevažne z plynu ľahších prvkov. Pôvodne chladné telesá sa pohybmi hmoty vplyvom gravitačných síl, energiou pokračujúcich dopadov materiálu z vesmíru a teplom z rozpadu rádioaktívnych izotopov zohriali do takej miery, že prešli do kvapalného stavu. Materiál Zeme sa za takýchto okolností rozvrstvil prevažne podľa špecifickej hmotnosti, menej podľa chemických vlastností. Ťažké prvky, prevažne železo kleslo na „dno“ a vytvorilo zemské jadro. Naopak, ľahšie prvky – hliník, kremík, draslík, horčík sa dostali do povrchnejších vrstiev a vytvorili zemský plášť a kôru. Kôra sa ďalej rozdelila na frakcie a vzniklo podložie a ľahšie pevninské kryhy. Trvalo asi 700 miliónov rokov, kým kôra vychladla a stuhla. Potom kondenzáciou hustej atmosféry vznikli oceány.

Počas tohto obdobia bola Zem výdatne bombardovaná meteoritmi rôznej veľkosti. Nevedno presne kedy, no zrejme v tomto období došlo k udalosti, ktorá podstatne zasiahla do jej vývoja a bola zrejme veľmi dôležitá pre to, aby na Zemi vznikli podmienky pre vznik života. Na základe počítačových simulácií astronómia predpokladajú, že na Zem narazila veľká planetisimála, nazvaná Pramesiac. Obrovská energia nárazu stačila na jej roztavenie. Podobný osud stihol aj časť zemského plášťa, ktorého vrchné vrstvy sa zmiešali s hmotou planetisimály a odparili sa. Okolo Zeme vznikol plynový obal, ktorý v priebehu niekoľkých týždňov ochladol a skondenzoval, až vznikol prachový oblak, ktorého častice sa postupne spojili v prstenec a z neho vznikol Mesiac. Jeho pôvodná obežná dráha bola vzdialená od Zeme nejakých 15 000 kilometrov. Vplyvom vzájomného gravitačného pôsobenia sa brzdila rýchlosť rotácie Zeme (pôvodný pozemský deň trval 5-8 hodín) a súčasne Mesiac sa začal vzdalovať od Zeme. Dosť presné údaje máme z obdobia asi pred 900 miliónmi rokov: skupina Charlesa P. Sonetta analyzovala vrstvičky vrtnej vzorky, získanej v Utahu a zistila, že deň na Zemi vtedy trval asi 18 hodín, Mesiac obehol Zem za 23 dní a jeho vzdialenosť od Zeme bola o desatinu menšia. Tento proces ostatne pokračuje až dodnes, aj keď je sotva pozorovateľný: Mesiac sa teraz vzdaluje o 38 mm za rok.

Vznik Mesiaca bol jednou z udalostí, ktoré zrejme boli kľúčové pre vznik života na Zemi. Existuje predpoklad, že Venuša, planéta podobnej veľkosti, ako Zem, má 400 kilometrov hrubú kôru, ktorá neumožňuje teplu unikať z vnútra Venuše do priestoru. Nakoniec sa roztaví a prepadne, po ochladení vznikne nová kôra a cyklus sa v priebehu asi 500 miliónov rokov zopakuje. Zem podobnému osudu unikla vďaka zrážke s Pra-

mesiacom, ktorá spôsobila, že zemská kôra je tenká a nebráni prestupu tepla a jeho vyžiareniu do kozmického priestoru. Mesiac má ešte jednu zásluhu pre udržanie stálych podmienok na Zemi: stabilizuje jej rotačnú os. Ani teraz nie je úplne stabilná, ale nebyť Mesiaca, dochádzalo by k výrazným a aj náhlym zmenám rotačnej osi a zmenám klimatických podmienok, ktoré by sotva priaznivo vplývali na podmienky pre život. Keby sa zemská os výrazne nachýlila, počas polovice roka by bola Slnkom ožarovaná len severná pologuľa a potom zas južná. Následkom toho by boli obe pologule striedavo na pol roka vystavené slnečným lúčom a pol roka mrazivému vesmírnemu chladu, takže podmienky pre život by boli, ak vôbec, len v okolí rovníka. Že sú také kotrmelce možné, ukazuje opäť príklad Venuše: zrejme po viacerých zmenách polohy rotačnej osi točí sa nakoniec opačným smerom, ako Zem.

Čo máme pod nohami

Najpovrchnejšie vrstvy Zeme tvoria litosferické dosky, hrubé asi 100 km. Ich povrchovú vrstvu tvorí zemská kôra. Sú súčasťou vrchnej vrstvy zemského plášťa, ktorá siaha takmer do hĺbky 700 km. Spodný plášť pokračuje až do hĺbky 2900 km, kde už hraničí s vonkajším jadrom. Celé zemské jadro je kovové – prevažne železné, ale vonkajšie jadro je tekuté. Jeho roztavenie je spôsobené obrovskými teplotami. Obklopuje vnútorné kryštalické jadro, ktoré má priemer 1200 km a napriek vysokej teplote v podmienkach obrovského tlaku prešlo do tuhého skupenstva. Jedným z najpozoruhodnejších objavov je, že vnútorné jadro rotuje o 1 – 3 stupne za rok rýchlejšie, ako zemský povrch. Tento objav sa nakoniec dal očakávať – rotácia Zeme sa spomaľuje slapovou vlnou, ktorá pôsobí na zemský plášť. Rozdiel v rýchlosti rotácie oboch vrstiev vedie k tomu, že v tekutom vonkajšom jadre vznikajú pohyby, ktoré je možné sledovať seizmologicky, meraním odrazov seizmických vln pri zemetraseniach. Čo viac, hydrodynamické zákonitosti týchto pohybov popisujú tie isté známe matematické a fyzikálne rovnice, ktorými je popisovaný aj pohyb hmôt v zemskej atmosfére. Rozmerová analýza ukazuje, že pohyby v jadre v ročných intervaloch sú podobné pohybom atmosféry v hodinách. Ale v zemskom jadre treba zohľadniť aj vplyv magnetického poľa. Modelové magnetohydrodynamické výpočty poskytli nadmieru zaujímavé výsledky. Potvrdili rýchlejšiu rotáciu vnútorného jadra oproti povrchu Zeme, ale aj ukázali, že jedným z účinkov zemskej rotácie je roztočenie kvapaliny vonkajšieho jadra počas jej pohybu od plášťa k polárnym oblastiam vnútorného jadra. Aj v týchto modelových výpočtoch pohyb masy železa spôsobuje po čase zmenu polaritu, akési prevrátenie magnetického poľa Zeme, čo je v zhode s pozorovaniami.

Podobne, ako keď rýchlejšie chladne kaša, ktorú gazdiná premiešava, následkom pohybu hmoty tekutého vonkajšieho jadra stáva sa prestup tepla zo zemského jadra do plášťa rýchlejší, ale aj nepravidelnejší. Tento tok tepelnej energie poháňa doskovú tek-

toniku, vulkanickú činnosť, zemetrasenia. Na rozhraní jadra a pláštá zrejme prebiehajú fyzikálne a chemické procesy, ktoré dodnes nie sú úplne preskúmané. Je pravdepodobné, že kamenný plášť sa pomaličky rozpúšťa v kovovom jadre. Vedenie tepla v kove, skale, prípadne v ich zliatinách je veľmi odlišné a tak aj priestorové rozloženie úniku tepla z jadra je rôznorodé. To je príčinou horúcich škvŕn na povrchu zemského pláštá. Sú to horúcejšie miesta v plášti, nad ktorými potom vznikajú sopky. Takéhoto pôvodu je napríklad skupina vulkánov v reťazci Havajských ostrovov. V minulosti patrili k vedeckým hlavolamom – väčšina sopiek sa nachádza v okolí zlomov v zemskej kôre – ale v okolí Havajských ostrovov nič takého nie je. Predstava horúcich škvŕn sa dobre zhoduje s pozorovaniami: reťaz havajských vulkánov zodpovedá postupnému pohybu litosferickej dosky ponad horúce miesto v plášti, ktoré dodáva teplo a magmu. Táto prenikala vždy cez iné trhliny v zemskej kôre a vytvárala ďalšiu sopku v reťazi.

Väčšinu poznatkov o zemskom vnútri sa podarilo získať až v posledných desaťročiach. Vtedy, keď astronómovia už vedeli, čo je milióny svetelných rokov „nad nami“, geológovia sa stále len dohadovali, čo je pár desiatok alebo stoviek kilometrov „pod nami“. Pritom existujú veľmi dobré dôvody spoznať sily, ktoré na ľudí útočia z podzemia: výbuchy sopiek a zemetrasenia mali v známej histórii ľudstva viac ničivé účinky, ako hrozby, prichádzajúce z vesmíru.

Jedny z prvých vedeckých pozorovaní v spojitosti so zemetraseniami sú pripisované americkému astronómovi Johnovi Winthropovi. Ako očitý svedok zemetrasenia v Bostone v roku 1755 zistil, že pôda sa počas neho pohne vo vodorovnom smere a spozoroval aj vlnenie kamennej dlažby na povrchu zeme. Onedlho John Mitchell zistil, že zemetrasenie má svoje epicentrum, teda miesto na povrchu Zeme, odkiaľ sa otrasy šíria na všetky strany a určil aj približnú rýchlosť šírenia otrasov. Až oveľa neskôr sa objavili pomerne presné seizmografy – prístroje registrujúce chvenie a pohyby pôdy. A práve sledovanie šírenia otrasov sa stalo veľmi dôležitou metódou pri spoznávaní stavby zemského vnútra. Záchvevy sa totiž nielen šíria rôznou rýchlosťou podľa zloženia prostredia, ale aj odrážajú a lámú na rozhraniach medzi jednotlivými vrstvami. Rozlišujú sa vlny P, ktoré kmitajú v smere šírenia a prenikajú aj kvapalnými štruktúrami; a vlny S, ktoré kmitajú v priečnom smere a šíria sa len tuhým prostredím. Ich analýzou sa získali závery, ktoré sú v dobrej zhode s popísaným zložením zemského vnútra. Samozrejme, že veľa vedcov by sa radšej zemského vnútra dotklo vlastnou rukou. Vznikli, hlavne po druhej svetovej vojne, rôzne projekty hĺbkových vrtov, ktoré sa však väčšinou nedostali tak hlboko, ako sa pôvodne plánovalo. A tak sa o presnom zložení jednotlivých vrstiev vedci zatiaľ len dohadujú.

Ako sa tvaruje zemský povrch a ako vznikli kontinenty, čo je príčinou sopečných výbuchov a zemetrasení, to sú všetko objavy posledného storočia. Línie západného pobrežia Afriky a východného pobrežia juhoamerického kontinentu do seba obdivuhodne

zapadajú, ba čo viac, ich stavba, zloženie, ba i nájdené stopy po organizmoch sú podobné. To si nielen všimol, ale aj publikoval Alfréd Wegener v roku 1912 a vyslovil pritom domienku, že kontinenty sa pohybujú. No chýbali ďalšie dôkazy, takže jeho myšlienka nebola všeobecne prijatá. Hlboké morské dno bolo považované za miesto pokoja, kde akurát klesajú usadeniny a pomaly ho vyplňujú. Že to bude ináč, naznačil podmorský zosuv pôdy, ktorý roku 1929 pretrhol telegrafné káble, položené na dne Atlantického oceána pri Newfoundland. Zmeraním času medzi pretrhnutím susediacich káblov sa podarilo určiť rýchlosť zosuvu – až 75 km/hod. Okolo roku 1930 bola známa poloha obrovského podmorského horského chrbta, ktorý sa tiahne stredom Atlantického oceána, o niečo neskôr aj riftová priehlbina v jeho strede a ďalšie nadväzujúce podmorské horské chrbty vo všetkých svetových oceánoch. Pribúdali vedomosti o zložení morského dna. Skúmanie živých organizmov aj ich pozostatkov na oboch brehoch oceána viedlo k záveru, že sa v minulosti vyvíjali spoločne – teda kontinenty boli v minulosti spojené. Paleomagnetické merania (stanovenie orientácie častíc magnetických materiálov v horninách – tieto sa v roztavenej mase orientujú v smere sever - juh a po stuhnutí si svoj smer zachovávajú) ukázali, že kontinenty sa museli pohybovať vzhľadom k magnetickému pólu Zeme, a to aj pri zohľadnení jeho zmien v minulosti. Všetky získané poznatky elegantne vysvetlila teória doskovej tektoniky, ktorá vznikla v šesťdesiatych rokoch 20. storočia. Je považovaná za ďalší z najväčších vedeckých objavov tohto storočia. Zaslúžil sa o ňu najmä kanadský geofyzik John Tuzo Wilson.

Podľa dnešných poznatkov je vrchná vrstva zemského plášťa tvorená niekoľkými litosférickými doskami, ktoré plávajú na polotekutej vrstve – astenosfére, lepšie povedané, sú unášané jej tokom. Tvoria sa v stredoocéánskych chrbtoch. V strede týchto podmorských pohorí sa tiahnu rifty – priehlbiny, z ktorých vystupuje vulkanická hmota, magma. Priam ukážkový je atlantický, dlhý asi 20 000 km, ktorý sa tiahne stredom Atlantického oceánu od Antarktídy až po Island, kde dosť netypicky vystupuje nad hladinu mora. Na Islande vidno to, čo sa odohráva v jeho celom priebehu v hĺbkach mora: intenzívna sopečná činnosť, vznik nových sopečných vrchov a ostrovov, výrony plynov. (Objav úžasných prejavov podmorského vulkanizmu je datovaný až do posledných desaťročí – čo vedci dovtedy len predpokladali, uvideli na vlastné oči z paluby výskumných ponoriek.) Sopečná činnosť vynáša z hĺbín vonkajšieho zemského plášťa množstvo materiálu, bazaltu, ktorý na východnej strane buduje euroázijskú a africkú dosku a na západnej severoamerickú a juhoamerickú. Tieto (vďaka nižšej špecifickej hmotnosti) plávajú na plastickej až tekutej vrstve – astenosfére v hĺbke asi 100 kilometrov, ktorej pohyb udržujú konvekčné prúdy vo vrchnom zemskom plášti. Pohybujú sa od seba a na druhej strane tlačia na susedné litosférické dosky. V miestach ich styku sa ich okraj vyzdvihuje a vznikajú horstvá (tak povstali Himaláje, Alpy, Karpaty...), alebo sa oceánska platňa podsúva pod pevninskú. Toto podsúvanie – subdukcia celkom pochopiteľne nejde hladko, ale tr-

hane – a tieto trhnutia bývajú aj veľmi prudké. Čím viac energie sa nahromadí, teda čím je pohyb dosiek rýchlejší a čím dlhšia doba uplynula od predchádzajúceho posunutia, tým prudšie zemetrasenie vznikne. Miestom silných zemetrasení je napríklad západné pobrežie USA, kde sa podsúva pacifická doska pod severoamerickú, alebo miesto styku pacifickej a euroázijskej platne- Japonské ostrovy. Tieto územia sú husto obývané, starostlivo sledované, no napriek tomu sa moment zemetrasenia nedá presne predvídať. Dnes možno zmerať pohyby zemského povrchu s presnosťou na milimetre, takisto aj pružný ohyb horniny, ale kedy dôjde k uvoľneniu napätia, to sa nedá presne určiť. Jediná istota je, že určite nastane. V oblastiach podsúvania vznikajú v hĺbkach vrchného zemského plášťa miesta s vysokým tlakom a teplotou, hornina sa taví a ako magma preniká na povrch pri sopečných výbuchoch. Z hľadiska kolobehu látok je zaujímavé, že takto sa znova dostáva do atmosféry a na zemský povrch uhlík z atmosferického kysličníka uhličitého, ktorý sa usadil na morskom dne, zabudovaný do vápencových schránok uhybnutých morských živočíchov. Pri subdukcii sa dostal do zemských hlbín a ako magma počas sopečného výbuchu opäť na povrch zemský alebo do atmosféry. Takýto cyklus jeho kolobehu trvá okolo pol miliardy rokov.

Aktívne sopky sa dajú roztriediť do niekoľkých druhov. Najintenzívnejšia sopečná činnosť sa vyskytuje v riftových údoliach. Ďalším miestom ich bohatého výskytu sú oblasti subdukcie, kde vytvárajú celé pásy ostrovov. Čo však bolo až do zverejnenia Wilsonovej teórie nevysvetlené, bol výskyt aktívnych sopiek mimo riftov a subdukčných zón, uprostred litosferických dosiek. Ich energia pochádza z horúcich škvŕn v zemskom plášti, ktorým energiu dodávajú stúpajúce konvekčné prúdy, pochádzajúce až zo spodnej vrstvy plášťa. Tieto sú pomerne stabilné, zatiaľ čo litosferické dosky nad nimi sa pohybujú. Týmto mechanizmom vznikla už spomínaná reťaz vulkanických Havajských ostrovov, ale aj menšie útvary na Slovensku. Ako je príznačné pre mnohé prevratné objavy, J. Tuzo Wilson mal v roku 1963 mal ťažkosti pri hľadaní časopisu, ktorý by uverejnil jeho článok o doskovej tektonike a kontinentálnom drifte. Jeho teória bola všeobecne prijatá až v sedemdesiatych rokoch. Vtedy už boli k dispozícii presné merania zo satelitov, ktoré potvrdili pohyb litosférických dosiek a stanovili jeho smery aj rýchlosti (väčšinou centimetre za rok). Prítomnosť horúcich škvŕn bola potvrdená meraniami množstva energie, ktorá je vyžarovaná na rôznych miestach zemského povrchu. Iným nepriamym dôkazom dynamiky zemského plášťa je samotná skutočnosť, že kontinenty ešte jestvujú. Keby sa ich hmota stále neobnovovala, pravdepodobne by asi za jeden a pol milardy rokov zanikli – erózia by ich úplne spláchla do morí. Dôsledok: suchozemský život by nemal kde vzniknúť.

Je to temer nepredstaviteľné, ale je to tak: pomaly (1– 10 km za rok) tečúce jazero roztaveného železa v tisícikilometrových hĺbkach je ďalšou nepostrádateľnou ochranou života na povrchu Zeme. Je zdrojom magnetického poľa Zeme. Keď sa Američanom

podarilo 31.januára 1958 vypustiť ich prvú umelú družicu Explorer až po úspechu sovietskeho Sputnika, z politického hľadiska to bola skôr cena útechy, ako víťazstvo. Ale Explorer získal prvé vedecké údaje o radiačných pásoch, obklopujúcich Zem, ktoré dnes nesú meno vedúceho tohto výskumného projektu, Jamesa van Allena (napriek tomu, že vonkajší z nich objavil až Sputnik 3). V týchto radiačných pásoch sa pohybujú zachytené protóny z medzihviezdneho priestoru, prúd elektrónov zo Slnka (súčasť tzv. slnečného vetra – prúdu častíc, trvale plynúcich zo Slnka do okolitého priestoru) a ďalšie nabité častice. Ohrozujú prístroje na satelitoch, vnášajú chyby do meraní a majú aj nepriaznivý vplyv na zdravie astronautov, takže ich znalosť je dôležitá pre kozmické lety. Ale súčasne táto pasca na častice, ktorú vytvára práve magnetické pole Zeme, je jedným z dôležitých ochranných štítov pre život na Zemi. Tým, že ich odkláňa v smere siločiar zemského magnetického poľa, prispieva k ochrane živých organizmov pred radiáciou. Táto ochrana nie je dokonalá – napríklad v období zvýšenej slnečnej aktivity môžu dostať o niečo vyššiu dávku radiácie nielen posádky kozmických lodí, ale aj cestujúci linkových dopravných lietadiel. Nie sú to však hodnoty, bezprostredne ohrozujúce zdravie alebo dokonca život. Na zemskom povrchu je bezpečno, aj keď pri vysokej slnečnej aktivite prúd elektrónov pri vstupe do atmosféry predvádza fascinujúce divadlo prírody – polárnu žiaru. Indukované prúdy v dlhých vedeniach – telefónnych, ale aj plynových (!) sú tak intenzívne, že môžu spôsobiť poruchy – o takýchto nepríjemnostiach vedia najviac v Kanade, ktorá leží v blízkosti severného magnetického pólu. Aj pre medziplanetárne lety s ľudskou posádkou, ktoré by sa uskutočňovali mimo tohto ochranného dáždnika, môže prípadná zvýšená slnečná aktivita znamenať vážne riziko. Pre lety na Mesiac sa dá vybrať vhodné obdobie, ale pre dlhšie obdobie, aké si budú vyžadovať lety na Mars nie je možné vypracovať predpovede a prípadná ľudská posádka môže byť ohrozená. V tejto súvislosti nie je bez zaujímavosti, že v najbližších storočiach sa zrejme naši potomkovia stanú svedkom zriedkavej udalosti – zmeny polohy magnetických pólov Zeme. V tomto období magnetické pole zoslabne, pravdepodobne sa vytvorí väčšie množstvo dočasných pólov. Tak, ako dnes magnetické pole Zeme odvádza prúd nabitých častíc do neobývaných polárnych krajín, môže ho v tomto období odvieť do miernych zemepisných šírok, dokonca aj do husto obývaných oblastí, ktorých obyvatelia budú môcť bežne sledovať polárnu žiaru. Samozrejme, následkom zvýšenej radiačnej záťaže sa nezanedbateľne zvýši výskyt nádorových ochorení. Nebude to však také zvýšenie, ktoré by spôsobilo hromadné vymieranie ľudí a zvierat či poškodenie rastlínstva. Okrem toho, vedci majú k dispozícii ešte dosť dlhú dobu na to, aby sa s týmto problémom vyrovnali.

Atmosféra

Polomer Zeme je asi 6400 km, ale život sa vyskytuje len v biosfére – vo vrstve vody a atmosféry, hrubej asi 10 km. Predstava, že žijeme na litosferických doskách, ktoré plávajú ako krehké masné oká na horúcej polievke zemského vnútra príliš nevzbudzuje pocit bezpečia. Ale fyzikálne a chemické podmienky sú v tejto krehkej vrstve už stá milióny rokov až neuveriteľne stabilné. Ak nerátame nejaké doby ľadové, ktoré snáď až na jednu nezasiahli celý povrch Zeme a život sa s nimi dokázal vyrovnáť, teplota zemského povrchu kolíše v rozmedzí stupňov, najviac nejakej desiatky stupňov. A to napriek tomu, že žiarivý výkon Slnka postupne narastá. Pôvodne bol asi o 30% nižší, ako je teraz a počas nasledujúcich dvoch miliárd rokov vzrastie tak, že voda na Zemi sa vyparí a život zanikne – pravda, ak nezpracujú nejaké regulačné mechanizmy. Ale nad nimi má ľudstvo ešte dosť času premýšľať. Je faktom, že skleníkovému efektu zemskej atmosféry už teraz vďačíme za to, že sme už dávno nezmrzli: bez neho by mal povrch Zeme teplotu o tri desiatky stupňov nižšiu... Hlavnými skleníkovými plynmi sú vodná para a kysličník uhličitý. Sú vyslovene v menšine, veď atmosféra sa prakticky skladá zo štyroch pätín dusíka a jednej pätiny kyslíka, ostatné zložky sa vojdú do jediného percenta. Skleníkové plyny dostali svoje meno preto, lebo zabraňujú úniku tepla zo zemského povrchu a atmosféry do vesmíru – tak, ako steny skleníka, ktoré síce prepustia tepelné žiarenie dovnútra, ale zabraňujú úniku tepla do vonkajšieho prostredia.

Kyslík pôvodne nebol podstatnou zložkou atmosféry Zeme. Až po približne štyroch miliárdach rokov jej existencie ho začali vyrábať zelené rastliny, ktoré dokážu s pomocou katalyzátora chlorofylu produkovať cukry, pričom vzniká aj kyslík. Tento plyn sa vyskytuje v atmosfére prevažne v molekulách, ktoré obsahujú dva atómy kyslíka. Malá časť však existuje vo forme trojatómových molekúl – ozónu. Práve tá troška ozónu vo vysokých vrstvách atmosféry účinne pohlcuje podstatnú časť ultrafialového žiarenia zo Slnka. (Ultrafialové sa nazýva preto, lebo jeho vlnová dĺžka je ešte kratšia, ako najkratšia vlnová dĺžka viditeľného svetla – ktorá je modrofialovej farby. Všeobecne platí, že čím má žiarenie kratšiu vlnovú dĺžku, tým viac býva pohlcované rôznymi materiálmi.) Kým nebola ochranná vrstva ozónu, život bol ukrytý pod ochrannou vrstvou vody a odtiaľ buď doval novú záštitu – atmosféru, obsahujúcu kyslík. Naopak, dažďami zmývaný, vo vode dobre rozpustný kysličník uhličitý sa dostával do vody, kde ho v minulosti a aj dnes spotrebúvajú drobné plávajúce zelené rastlinky – planktón. Lenže zdá sa, že už v dávnej minulosti Zeme nerozumné hospodárenie so zdrojmi spôsobilo niečo, čo by sme dnes nazvali ekologickou katastrofou.

Okolo roku 1960 bolo známych už viacero nálezov ľadovcových uloženín, asi 700 miliónov rokov starých, ktoré podľa záznamu magnetického poľa pochádzajú z miest v blízkosti rovníka. Keď sa tieto merania znova a znova potvrdili, vedci sa museli vy-

rovnať s myšlienkou, že celá Zem bola nejakú dobu pokrytá vrstvou ľadu. Matematické modely ukázali, že keď následkom celkového ochladenia Zeme hranica snehu a ľadu postúpi približne na 30. rovnobežky, vznikne lavínový efekt. Sneh a ľad totiž v okolí rovníka odrazí oveľa viac slnečného žiarenia, ako povrch pevniny a morí. V atmosfére sa zadrží stále menej tepla a počas niekoľko tisíc rokov sa celá planéta pokryje ľadom. A, podľa pôvodného, našťastie chybného predpokladu, nikdy viac sa neroztopí...

Na vine boli pravdepodobne rastliny, ktoré nenásytne skonzumovali jeden zo skleníkových plynov – kyslíčnik uhličitý. Ale našla sa nová rovnováha. Na zmrznutom povrchu život temer vymizol, možno sa udržal len na niekoľkých miestach v okolí teplých prameňov či sopiek. Ale skôr to bolo tak, že oceán v blízkosti rovníka celkom nezamrzol. A ani sopečná činnosť nezmrzla, stále dodávala do atmosféry nové skleníkové plyny. Tie neboli zmývané do zamrznutých oceánov, hromadili sa, znižovali vyžarovanie tepla z atmosféry, takže nakoniec sa atmosféra zohriala a zem a moria sa postupne roztopili. Na to by síce musela byť koncentrácia kyslíčnika uhličitého v atmosfére oproti dnešnej situácii vyše stonásobná, ale asi sa tak po miliónoch rokov soptenia naozaj stalo. Priamo nad ľadovcovými uloženinami sa našli aj vrstvy karbonátov, ktoré zrejme pochádzajú z doby rýchleho oteplenia a náhleho vymytia kyslíčnika uhličitého z atmosféry, takže tento scenár sa zdá dosť vierohodný.

Zemská atmosféra teda funguje ako občas pomalý, ale zároveň veľmi výkonný termostat. Zjavne dokáže zvládnuť aj veľmi extrémne situácie, oproti ktorým sú odchýlky, vyvolané činnosťou ľudí úplne mizivé. (To neznamená, že ľudia sa môžu s atmosférou ľubovoľne zahrávať. Jej nepatrné „kýchnutie“ by si najskôr škaredo odniesli...) O tom, aké klimatické zmeny sa odohrali v geologicky nedávnej minulosti, možno sa dočítať v letokruhoch veľmi starých stromov, ale ešte lepšie v starom grónskom (a antarktickom) ľadovci. Jeho vrstvičky obsahujú údaje o zložení atmosféry, ale aj iné zaujímavé údaje – napríklad stopy sopečného popola, peľ a iné doklady o tom, čo lietalo v ovzduší aj pred viac, ako 100 000 rokmi. Nachádzajú sa v ňom údaje o rýchlosti klimatických zmien a odchýlkach obsahu skleníkových plynov v atmosfére. Zdá sa, že podnebie sa často, aj bez zásahu človeka menilo dosť náhle, čo je skôr znepokojujúci poznatok...

Ešte ďalej do minulosti, celé milióny rokov, umožňujú nazrieť hĺbkové vrty. Dokonca plánovaný vrt v jazere Malawi v južnej Afrike má priniesť informácie o vývoji klímy za poslednú miliardu rokov. Hĺbkové vrty sa začali vo veľkom v päťdesiatych rokoch minulého storočia. Mali nepopierateľný nádych politického súperenia, takže ich ambiciózne ciele nakoniec presahovali súdobé technické možnosti. Pôvodne sa obe veľmoci – Spojené štáty aj Sovietsky zväz chceli prevrtať k takzvanej Mohorovičovej diskontinuite. Toto rozhranie objavil na začiatku 20. storočia Andrija Mohorovič pri štúdiu jedného z početných zemetrasení, ktoré stíhajú nešťastné macedónske mesto Skopje. Je pozoruhodné tým, že pod touto hranicou sa seizmické vlny šíria rýchlejšie, než nad ňou. Neskôr

sa zistilo, že to je rozhranie medzi zemskou kôrou a plášťom. Pokusy o jeho navrtanie (projekt Mohole) skončili neúspechom. Až v šesťdesiatych rokoch dosiahli Sovietsi hĺbkový rekord 12 261 metrov na poloostrove Kola – vtedy realizovali sériu hĺbkových sond pri hľadaní surovín. Od konca šesťdesiatych rokov, kedy vstúpila do služby americká vrtná loď Glomar Challenger, je vyriešená aj technológia hlbokých podmorských vrtov. Získané výsledky doplnili a potvrdili poznatky o doskovej tektonike, klimatických zmenách a aj o vývoji života na Zemi: našli ho aj stovky metrov pod morským dnom, v okolí podmorských vulkánov a horúcich prameňov a vo formách, aké si dovtedy málokto dokázal predstaviť. V dnešnej dobe prebieha viacero projektov hlbokých vrtov s jasne určenými cieľmi – prispieť k poznaniu minulosti Zeme, ale aj mechanizmov zemetrasení a sopečných výbuchov s celkom praktickým účelom: nájsť spôsob, ako spoľahlivo predvídať tieto prírodné katastrofy.

Prieskum morských hĺbín a toho, čo leží pod nimi má ešte jeden zásadný význam: okrem toho, že na morskom dne (skoro výlučne) vzniká zemská kôra, morská voda a morské prúdy zásadným spôsobom prispievajú k udržiavaniu stálych klimatických podmienok na Zemi. Ak atmosféra funguje ako dokonalý termostat, potom morská voda so svojou tepelnou kapacitou, 2500 krát vyššou ako atmosféra, predstavuje obrovský akumulátor tepelnej energie. Morské prúdy sú potom akýmsi rozvodom ústredného kúrenia, ktoré rozvádza teplo z horúcej rovníkovej oblasti do chladnejších polárnych pásiem. Len vďaka nim môžu živé organizmy obývať takmer každý kút Zeme.

Čo, aká energia poháňa celý tento systém? Na rozdiel od procesov vo vnútri Zeme, je to takmer výlučne energia, ktorá dopadá na Zem zo Slnka. Koľko sa z nej pohltí a koľko odrazí do vesmíru, o tom rozhoduje atmosféra. Dnes sú dobre známe mechanizmy, ako môže byť regulované množstvo žiarivej slnečnej energie, ktoré dopadá na Zem alebo uniká späť do kozmického priestoru. Zďaleka však nie je jasné, aké konkrétne množstvá energie zadržiavajú jednotlivé zložky atmosféry, alebo v akej miere jej vyžarovanie podporujú.

Aj keď sa vedú veľmi intenzívne diskusie, aký je vplyv ľuďmi zavinenej tvorby kysličníka uhličitého v posledných desaťročiach na skleníkový efekt, celkovo sa na ňom tento plyn podieľa len asi jednou pätinou. Aj vzorky zo spomenutých vrtov do ľadovcov ukázali, že počas posledného pol milióna rokov sa vždy najskôr zmenilo podnebie a až potom hladina kysličníka uhličitého. Menej, než desatinu zo skleníkového efektu spôsobuje ozón, metán a ďalšie plyny. Zato celé dve tretiny obstarávajú vodné pary, ktorých obsah v stratosfére vzrástol za posledné polstoročie z nie celkom objasnených príčin skoro na dvojnásobok a predpokladá sa, že na náraste teplôt sa podieľa asi z jednej polovice.

Vodná para, surovina pre oblaky, je jednou z najpodstatnejších ingrediencií, z ktorých sa „varí“ počasie. Nízke oblaky odrážajú slnečný svit a Zem ochladzujú, vysoké vyžarovanie tepla znižujú. Tiež nemožno zanedbať nepriamy vplyv vody na tepelnú bilan-

ciu Zeme. Púšte bez vegetácie, s trvalo jasným počasím vyžarujú do vesmíru viac tepla, ako oblasti pokryté vegetáciou. Rastlinstvo pritom závisí od vody a samo má podstatný vplyv na kolobeh vody v prírode, samozrejme aj v atmosfére a ešte k tomu je konzumentom kyslíčnika uhličitého. Čo vlastne z tohoto prepletenca vzájomných väzieb vychádza, možno stále iba približne odhadovať. Určite v ňom účinkuje ďalšie negatívum – ničenie dažďových pralesov: nielen erózia pôdy, strata vegetácie ako producenta kyslíka a spotrebiteľa kyslíčnika uhličitého, ale aj priamy vplyv na globálne otepľovanie.

Je nesporné, že celkovo sa podnebie na Zemi počas posledných 250 rokov neustále otepluje, aj to, že toto otepľovanie sa v priebehu posledných desaťročí podstatne zrýchľovalo. Nakoľko je táto zmena spôsobená činnosťou ľudí, nakoľko je výsledkom procesov v prírode, ktoré sú od nej nezávislé a pokiaľ siahla schopnosť celej biosféry vyporiadať sa s ňou, to sa ešte nedá jednoznačne povedať. Z opakovaných pozorovaní je napríklad známe, že sopečný prach po veľkých sopečných erupciách môže zotrvať v atmosfére aj roky a podstatne prispieť k skleníkovému efektu. Väčšina vedcov súhlasí s predpokladom, že do roku 2100 môže stúpnuť priemerná teplota na Zemi o 1,5 až o 6 stupňov a hladina svetového oceánu od niekoľkých centimetrov až do jedného metra. Odhady sú veľmi nepresné, pretože ťažko odhadnúť chovanie hlavných zdrojov dodatočnej vody v oceánoch, grónskeho a antarktického ľadovca. V teplejšom podnebí sa ľadovce budú samozrejme odtápať, ale možno ich masu doplnia intenzívnejšie snehové zrážky. Či má globálne otepľovanie na svedomí aj zhoršovanie počasia – väčší výskyt teplých zím, cyklónov a záplav v posledných desaťročiach, takisto nie je isté. Vedci napríklad tvrdia, že v rokoch 1920 – 1960 vládlo v severnom Atlantiku neobvykle pokojné počasie a jeho vrtochy koncom storočia zodpovedajú stavu spreď 100 rokov. Treba zväžiť aj možnosť, že väčší výskyt katastrofických prírodných javov je len dojem, ktorý vzniká následkom lepšieho informovania verejnosti o každej takejto udalosti.

Udalosti v troposfére, v desaťkilometrovej spodnej vrstvičke zemskej atmosféry, kde vlastne „vzniká“ počasie, sú do veľkej miery dané práve tým, ako sa odparuje a zráža voda. Príslušné fyzikálne poznatky boli k dispozícii už dávno pred obdobím veľkého rozvoja meteorológie. Jednotlivé zákonitosti sú jasné. Tak, ako iné tekutiny, voda sa odparuje tým viac, čím je okolitý tlak nižší a teplota vyššia a so zrážaním sa vodnej pary na kvapky vody je to naopak – so zvyšovaním tlaku prechádza vodná para do kvapalného skupenstva. Chladný vzduch je hustejší a ťažší ako teplý, od toho závisí klesanie a stúpanie vzdušných mäs. V skutočnosti sa však v atmosfére súčasne mení veľa parametrov naraz a tieto deje sa vzájomne ovplyvňujú. Ak napríklad teplý a vlhký vzduch stúpa nahor, klesá jeho tlak a súčasne chladne. Preto sa z neho vyzrážava voda vo forme oblakov a dažďa – čím má vzduch nižšiu teplotu a tlak, tým menej vodnej pary môže obsahovať. Určiť výsledok týchto súčasne prebiehajúcich dejov nie je jednoduché ani s dnešnými najvzkonnejšími počítačmi. Praktická meteorológia potrebuje aj prostriedky na pozorovanie

a rýchle odovzdávanie informácii, ktoré dostala v podobe lietadiel, balónov, rádiového a diaľkového telefónneho spojenia v priebehu dvadsiatych a tridsiatych rokov minulého storočia. Dosť rýchlo došlo k porozumeniu meteorologickým javom, ale ich predpovedanie nie je dokonalé ani v dnešnej dobe hustej siete meteorologických staníc a za pomoci družíc, ktoré doplňujú a nahrádzajú túto sieť. (Za druhej svetovej vojny bojujúce strany museli budovať meteorologické pozorovacie stanice aj v najnehostinnejších končinách, aby zistili to, čo dnes vidí očami satelitov každý meteorológ, či prostredníctvom internetu aj každý športový letec. Tak sa nakoniec stalo, že meteorológovia boli poslední „bojujúci“ vojaci v Európe: pre nemeckú meteorologickú skupinu na Špicbergských ostrovoch trvala vojna až do septembra 1945, kedy dostala príležitosť vzdať sa ako posledná nemecká jednotka a opustiť toto nehostinné územie). Intuícia skúsených meteorológov je nenahraditeľná aj dnes, v dobe superpočítačov, ktoré dokážu pri modelovaní chovania troposféry narábať s jednotkami objemu atmosféry ďaleko menšími, ako je kubický kilometer. Verí sa, že za chyby v počítačových modeloch môže takzvaný efekt motýlich krídel: nepatrná odchýlka v jednom bode systému vyvolá lavínovite sa šíriacu a narastajúcu reťaz chýb, ktorá nakoniec znehodnotí celý model.

Výklad o základných dejoch v troposfére, ktoré určujú podnebie a počasie je najlepšie začať v okolí rovníka, v tropickom pásme. Tu teplý vzduch, bohatý na vodné pary, odparené z teplých oceánov a tropických pralesov, stúpa nahor, chladne, redne a v podobe dažďa stráca vodu. V horných vrstvách troposféry prúdi severným (na severnej pologuli), prípadne južným smerom (na južnej pologuli), pritom sa ochladzuje a po prekonaní niekoľkých tisícov kilometrov padá k zemskému povrchu, kde sa otočí naspäť k rovníku, postupne sa zohreje, naberie odparenú vodu a celý cyklus sa opakuje. V miernom zemepisnom pásme sa otáča ďalší podobný kolobeh a v polárnej oblasti ďalší. To však platí ako teoretický, ideálny príklad. V skutočnosti do tohto deja zasahujú ďalšie faktory, napríklad horské pásma, ktoré celý kolobeh vytláčajú vyššie a menia jeho správanie. Tak v pásmach, kde suchý vzduch klesá k zemi, bývajú nehostinné púšte, ale ak sú tieto oblasti vo väčšej nadmorskej výške, je tam chladnejšie, nejaké dažde tam predsa padajú a podnebie tam je príjemnejšie (príkladom sú náhorné plošiny v juhoamerických Andách). Ďalej, na snímkach z meteorologických družíc vidno, že prúdenie v skutočnosti nie je priame, ale vzdušné masy tvoria obrovské, často prepletené špirálovité víry, ktoré poznať podľa pásov oblakov, tvoriacich sa na línii stretu más teplého a chladného vzduchu. Za toto stáčanie môžu Coriolisove sily, pomenované podľa francúzskeho profesora matematiky, pôvodne vojenského inžiniera Gustave Gasparda de Coriolisa. Zemský povrch na rovníku pri otáčaní Zeme uháňa rýchlosťou skoro 1700 km za hodinu, ale smerom k pólom sa rýchlosť obiehajúceho zemského povrchu spomaľuje (tak, ako sa znižuje jeho vzdialenosť od zemskej osi; napríklad 30 kilometrov od pólu sa zem – vlastne ľad – pohybuje už len krokom). Vzduch na rovníku je unášaný v smere otáčania Zeme, teda na východ. Udržiava

si zotrvačnosťou svoju rýchlosť, aj keď sa súčasne sa pohybuje smerom k pólu a dostáva nad povrch Zeme, ktorý sa pri zemskej rotácii pohybuje pomalšie – takže vzduch ho predbieha v pohybe východným smerom. To spôsobuje, že prúdenie vzduchu sa počas jeho cesty od rovníka k pólom stále viac a viac stáča na východ a nakoniec sa zotrvačnosťou skrúca do vírov, vyznačených pásmi oblakov, ktoré dobre vidieť na snímkach Zeme z vesmíru ako cyklóny. (Coriolisove sily takto pôsobia nielen na vzdušné masy, ale aj na morské prúdy a aj na ľudské diela: na severnej pologuli vlaky, idúce severojužným smerom znateľne viac opotrebovávajú pravú koľajnicu!). Hranicami týchto vírov zvyknú prebiehať aj rozhrania medzi vzdušnými masami s rôznou teplotou a vlhkosťou. Línie styku teplej a chladnej vzdušnej masy sú označované ako poveternostné fronty. Keďže teplý vzduch môže pojať viac vodnej pary, ako chladný, pri ochladzovaní teplého vzduchu na líni styku so studeným vzduchom sa prebytočná para z neho vyzráža (kondenzuje) a padá na zem v podobe dažďa. V oblasti frontu preto často prší. A prečo meteorológovia hovoria raz o teplom fronte, inokedy o studenom? Pretože fronty sa spravidla pohybujú, a to väčšinou od západu na východ, tak, ako sú hnané Coriolisovými silami. Ak je nad nejakým územím chladnejší vzduch a po prechode frontu sa naň dostane teplejší, tak prešiel teplý front. No a ak to bolo naopak, potom bol studený. Jednoduché. (Zatiaľ, takže to nebudeme komplikovať oklúznymi a zvlhčenými frontami...)

Podnebie a rieky v oceánoch

Už deti na základnej škole sa učia základné veci o hydrologickom cykle – o obehú vody medzi vodnými plochami, atmosférou a zemou. Voda sa odparuje z morí, jazier, ale aj z vlhkého zemskeho povrchu, v atmosfére vytvára oblaky, zráža sa na dážď, steká do potokov, riek, jazier a nakoniec aj morí, odparí sa a celý cyklus sa opakuje. Tento kolobeh je samozrejme zložitejší, pretože časť vody steká po povrchu zeme a časť pomaly putuje podzemím, prípadne vytvára obrovské podzemné zásobníky sladkej vody (a to aj na najneuveriteľnejších miestach, napríklad pod Saharou). Veľa sladkej vody uviazlo na stovky, státisíce, milióny rokov v ľadovcoch (v nich je uväznená veľká väčšina sladkej vody na Zemi).

Podobný kolobeh absolvuje aj teplo. Medzi vzduchom a zemským povrchom existuje výmena tepla, ktorá sa v miernom pásme výrazne prejavuje za horúcich letných dní – v stúpajúcom vlhkom vzduchu, ohriatom od teplého zemskeho povrchu vznikajú vysoké kopovité oblaky. Ak dostatočne zmohutnejú, pršia z nich lejaky alebo búrky. Veľkoplošnú výmenu tepla v atmosfére obstarávajú pravidelné vetry, napríklad morské pasáty. Pre podnebie na Zemi je ale podstatná aj výmena tepla medzi vzduchom a oceánmi. Práve táto uvádza do pohybu systém morských prúdov. Na tom, že polárne oblasti Zeme nie sú beznádejne zamrznuté a v miernych pásmach sú celkom príjemné podmienky pre život,

má zásluhu výmena tepla medzi rovníkovými a polárnymi oblasťami. Deje sa dvoma základnými spôsobmi: atmosférickým a oceánskym prúdením, ktoré prečerpávajú približne rovnaké množstvo tepla.

Oceánmi tečie systém studených a teplých prúdov, ktorý uvádza do pohybu hlavne odparovanie vody. V trópoch sa voda odparuje (sú to státisíce kubických metrov za sekundu) a na jej miesto priteká ďalšia. Do oceánov sa rieky vlievajú nerovnomerne – napríklad väčšina vôd zo Severnej aj Južnej Ameriky steká do Atlantického oceána a tento nepomer sa tiež vyrovnáva prostredníctvom morských prúdov. Ďalší mechanizmus, ktorý poháňa morské prúdy je teplota a slanosť (salinita) vody. Čím voda obsahuje viac solí, tým je ťažšia a tým viac sa ponára do väčších hĺbok oceánu. Podobne sa chová chladná voda. Čo mení teplotu morskej vody, je jasné: ohrieva ju prevažne slnečné žiarenie, na druhej strane vyžarovanie tepla, odparovanie a odovzdávanie tepla do atmosféry ju ochladzuje. Slanosť sa znižuje prítokom sladkej vody z riek, ľadovcov a dažďa, naopak zvyšuje odparovaním: soli sa neodparujú, ostávajú v mori a zvyšná voda je slanšia. Nakoniec, svoje vykonáva pri poháňaní morských prúdov aj vietor, ktorý dokáže odtláčať povrchovú vrstvu vody, a to aj v podobe síce okom nepozorovateľných, niekoľko centimetrov vysokých, ale až stovky kilometrov veľkých gigantických vĺn (Rossbyho), ktoré putujú oceánmi aj celé roky.

Systém morských prúdov nie je tak jednoduchý, ako ho možno vidieť v každom lepšom atlase sveta. Na týchto mapách je zakreslené len povrchové prúdenie. To je samozrejme veľmi dôležité z praktického hľadiska, pre námornú plavbu. V prvých desaťročiach po objavení Ameriky takéto znalosti uchovávali španielski kapitáni ako tajomstvo – Gofský prúd im uľahčoval spiatočnú cestu z oblasti Karibiku, zatiaľ čo Angličania sa proti nemu dosť namáhavo prehrýzali pri ceste do Severnej Ameriky. Ale morské prúdy tečú nielen na hladine oceánov. V niektorých oblastiach sa ponárajú a tečú v kilometrových hĺbkach, neraz opačným smerom, ako na povrchu. Až keď sa objavili a zmapovali tieto hlboké úseky pohybu morskej vody, objasnil sa celý systém oceánskeho prúdenia. Ale aby sa dalo vypočítať, nakoľko výrazne morské prúdy ovplyvňujú atmosférické deje a teda aj výkyvy počasia, sú potrebné ešte podrobnejšie informácie. Preto sú v moriach rozmiestnené stovky automatických sond, ktoré nepretržite snímajú a cez satelity hlásia parametre okolitej vody – smer prúdenia, teplotu, zloženie, a to nielen na povrchu, ale aj v rôznych hĺbkach. Tak sme sa dozvedeli, že pôvodná predstava, teda že morské prúdy plynú ako rieky, bola dosť zidealizovaná. Podobne, ako rieky na kontinentoch, aj tieto morské veľtoky menia v priebehu mesiacov a rokov svoju intenzitu, ale ešte viac svoje pomyselné koryto: presúvajú sa aj o celé stovky kilometrov. Ani ich prúd nie je jednoliaty. Masy vody sa premiestňujú rozdelené na obrovské jednotlivé víry s priemerom stoviek kilometrov, ktoré vznikajú jednak brzdením o dno, pobrežie a susediace vodné masy, jednak pôsobením Coriolisových síl.

Aký význam má tento systém morských prúdov, napadlo roku 1984 Wallace S. Broeckerovi. Po prednáške o príznakoch náhlych klimatických zmien počas posledných tisícročí začal rozmýšľať, čo ich mohlo spôsobiť. Príčinou mohli byť zmeny v systéme morských prúdov, ktoré dopravujú teplú vodu z tropického pásma do severného Atlantiku. Tento celosvetový systém povrchových a hlbinných prúdov sa teraz nazýva termohalinná cirkulácia alebo tiež Broeckerov dopravník (myslí sa tepla), a to napriek tomu, že sám Broecker uvádza, že na rovnakú myšlienku prišiel aj jeho kolega Arnold Gordon. Slovo termohalinny vyjadruje, že v nej majú podstatnú úlohu zmeny teploty a slanosti morskej vody. Spôsobujú zmenu jej špecifickej hmotnosti a na jej základe zvislé pohyby vodnej masy – ponáranie sa do hĺbky alebo výstup na povrch. Broecker je známy aj ako autor pochmurnej predpovede, podľa ktorej by sa pri dosiahnutí koncentrácie kyslíčného uhličitého v atmosfére 0,7% celý tento systém cirkulácie mohol narušiť do tej miery, že dôjde k celosvetovej zmene klímy. (Dnes je koncentrácia kyslíčného uhličitého asi polovičná, ale dosť rýchle stúpala následkom ľudskej činnosti až do 90. rokov)

Všetky úseky oceánskeho prúdenia sú vzájomne pospájané a nie je možné povedať, že niekde začínajú a končia. Napriek tomu je možné označiť ako ústredný prvok hlbinný prúd, ktorý sa ako obrovský vír točí okolo Antarktídy. Tečie ním asi 150 miliónov kubických metrov vody za sekundu, tisíckrát viac, ako Amazonkou. Z neho odbočujú na sever dve vetvy – jedna do Atlantického, druhá do Tichého oceánu. Atlantická vetva nahrádza vodu, odparenú hlavne v tropickom pásme a odnesenú západnými vetrami nad pevninu. Ako studená voda smeruje k rovníku, ohrieva sa, ale súčasne aj odparuje, hustne a ponára sa asi do kilometrovej hĺbky. Pri južnom cípe Afriky sa stretáva s teplými vodami Agulhaského prúdu, ktorý privádza do Atlantiku teplé vody, ohriate v Indickom oceáne a dokonca až v oblasti Indonézie. Ďalej na severe, v oblasti Karibského mora sa stáva súčasťou teplého Gofského prúdu, ktorý tečie až k Nórsku a zaisťuje pre celú Európu dodávku tepla, nazbieraného v trópech. Odhaduje sa, že je to asi miliarda megawattov, čo sa rovná výkonu státisícov veľkých elektrární alebo 25% slnečnej energie, ktorá dopadá na oceán severne od úrovne Gibraltarského prielivu. Ak sa pozrieme na mapy, zistíme, že západná, severná, ale aj stredná Európa je naozaj teplejšia, ako oblasti Kanady a Ruska, ktoré ležia na rovnakej úrovni zemepisnej šírky – rovnako ďaleko od polárneho kruhu. Stačí si porovnať podnebie v Londýne a sibírskom Irkutsku alebo kanadskom Winnipegu. Vody Gofského prúdu po ceste chladnú a veľa sa z nich ešte odparí. Studené, s veľkým obsahom solí a preto s vysokou špecifickou hmotnosťou v oblasti Grónskeho mora definitívne klesnú k morskému dnu a nastúpia spiatočnú cestu v hĺbkach, ponad dno Atlantického oceánu až k Antarktíde.

Na rozdiel od vzduchu, kde zmeny teploty a smeru vetra nastávajú v priebehu dní, najviac týždňov, morské prúdy majú oveľa lepšiu „pamäť“. Voda putuje Atlantikom celé roky. Ako už bolo povedané, tento tok nemá stále koryto. A preto sa pre podnebie v Eu-

rópe podstatné udalosti dejú aj v okolí južnej Afriky. Teplé vody Agulhaského prúdu netečú plynule, ale skôr odkvapkávajú ako obrovské krútnavy do južného Atlantiku, ba po niektoré roky sa obrátia a plynú späť do Indického oceánu. Podľa toho, koľko teplej alebo studenej vody pritečie z juhu, mení sa teplota vody na povrchu severného Atlantiku. Potom sa mení aj intenzita ohrevu vzduchu a sila vetrov, ktoré vejú smerom na východ, do Európy a Ázie. Na počasie tu vplýva viacej faktorov, ale dá sa povedať, že ak je teplota mora vyššia, vetry sú intenzívnejšie a zimy miernejšie a naopak. A keďže vody v oceánoch cirkulujú v rôznych periódach, trvajúcich od 6 do 30 či až 50 rokov, klimatické zmeny sa dejú tiež v takomto časovom rozsahu. Skutočne, takéto cykly sa dokázali aj v minulosti. Našli sa v záznamoch meraní zmien atmosférického tlaku, smeru a sily vetrov na meteorologických stanicích, izotopového zloženia uhlíka v koráloch aj zloženia ľadovcov na Islande. Zdá sa, že prebiehajú v niekoľkých cykloch, z ktorých najkratší je asi šesťročný a dlhšie asi tridsaťročné.

Na počasie v Európe pôsobí priveľa rôznych faktorov na to, aby sme ich dokázali na základe súčasných poznatkov analyzovať. O niečo jednoduchšie sú pomery v južnom Pacifiku, pri pobreží Chile. Tu sa vyskytuje známy klimatický jav El Niño. Na stopu sa mu už pred storočím dostal britský vedec, matematik sir Gilbert Walker, vtedy vedúci meteorologických observatórií v Indii. Pátral, prečo sa tam raz za niekoľko rokov nedostavia pravidelné monzúnové dažde. Otázka to bola na výsosť praktická. Nasledovalo sucho, hlad a nepokoje, s ktorými mala britská koloniálna správa opakované a nemalé starosti. Dopátral sa, že existuje nejaká súvislosť s výkyvmi počasia v Južnej Amerike, no dočkal sa skôr posmechu, ako uznania. India a Južná Amerika predsa ležia takrečeno na opačných koncoch sveta. Ale mal pravdu. Popri západnom pobreží Južnej Ameriky z antarktického víru so studenou vodou odbočuje druhá, pacifická vetva – hlboký Humboldtov prúd, ktorý smeruje k rovníku. K povrchu vystupuje až okolo hraníc Chile a Peru, odkiaľ teplú povrchovú vodu ženú ďalej na západ, cez celý rovníkový Tichý oceán nepretržité pasátové vetry. Ako zistil už sir Walker, tieto sú poháňané rozdielom atmosférického tlaku, ktorý je za normálnych okolností vysoký nad Tichým a nízky nad Indickým oceánom. Za takejto situácie pasáty nzbierajú vlaha z teplého morského povrchu a donesú ju v podobe vytúžených monzúnových dažďov do Indie, ba až do východnej Afriky. Ak tlakový rozdiel zoslabne, zoslabne aj pasát a vlaha bez úžitku spadne do oceána. Vietor sa poberie inde a spôsobí záplavy v severnej Amerike, zosilní cyklóny v Karibiku a sucho v Brazílii. Teplá morská voda zostane pri juhoamerickom pobreží a nepustí k povrchu studenú vodu, bohatú na kyslík a živiny. V jednej z najbohatších oblastí rybolovu na svete sa rozpadne potravinový reťazec a ryby zahynú. Krátkodobo sa tento jav vyskytuje každoročne, okolo Vianoc a miestni rybári ho nazvali El Niño- jezuliatko. Ale raz za nejakých 7 rokov pretrváva celé mesiace a nasleduje pohroma, ktorá tak či onak postihuje asi polovicu Zeme. Normálne prúdenie sa obnovuje až na konci nasledujúceho leta.

Pátranie po príčinách El Niña ukázali, ako veľmi je späté počasie s morskými prúdmi. Teóriu nórskeho oceánografa Jacoba Bjerksena, že táto udalosť sa netýka len zmien v rozložení teplej a studenej oceánskej vody pri juhoamerickom pobreží, ale je následkom dejov v celom Pacifiku potvrdili na základe podrobných pozorovaní vedci z Havajskej univerzity. Vďaka údajom zo sond a satelitov našli súvisiace zmeny atmosferického prúdenia, v rozložení vrstiev teplej a studenej vody a množstve planktónu v celom južnom Pacifiku. Hoci jeho presný mechanizmus, celý sled súvisiacich udalostí prebieha stále nie je úplne jasný, matematické modely umožňujú El Niño predvídať a odhadnúť jeho intenzitu niekoľko mesiacov vopred. Takéto prognózy by sa zišli aj pre oblasť severného Atlantiku a Európu, bohužiaľ, pomery v tamojšej oceánskej cirkulácii sa zdajú zložitejšie a porozumieť im je ešte ťažšie, ako juhopacifickej cirkulácii.

Čo nás na Zemi môže postihnúť

Prostredie na Zemi sa mení, nesporne v posledných desaťročiach viac, ako predtým. Zaiste, z historických záznamov vieme, že aj v minulosti sa vyskytovali teplejšie a chladnejšie periódy. V 10. storočí Vikingovia dokázali kolonizovať Grónsko. Pôvodný názov Groenland znamená Zelená krajina, takže vtedy tam bolo určite teplejšie podnebie, ako dnes. Niekedy v 15. storočí podnebie zdrsnelo a tamojšie osídlenie zaniklo. Lenže je tu jeden podstatný rozdiel: na terajších klimatických zmenách sa určite podieľa aj činnosť ľudí a bolo by dobre vedieť, do akej miery. Doba presných pozorovaní je príliš krátka na to, aby bolo možné presne odhadnúť, aké zmeny nás očakávajú o niekoľko desaťročí, nieto storočí. A prípadné protiopatrenia sú príliš nákladné na to, aby sa vykonávali bez veľmi vážnych dôvodov.

Na Zemi sa v posledných desaťročiach otepľuje a na tomto otepľovaní sa nejako zúčastňuje aj činnosť ľudí, lenže ťažko zistiť, v akej miere. V minulosti už bolo podobne teplých období viac aj bez jej účasti. Bolo by potrebné zistiť, či sa Zem nenachádza na počiatku teplého klimatického obdobia v rámci dlhodobejšieho cyklu. Zdá sa, že v Európe existuje niekoľko klimatických cyklov- od 6 – ročného po 79 – ročný, na ktoré pravdepodobne vplyvajú slnečné cykly. Celkom určite súvisia aj so zmenami hlbokaj cirkulácie v Atlantickom oceáne. Podľa analýzy vrtoz do grónskeho ľadovca v minulých tisícročiach tam kolísala teplota s periódou 1500 rokov v rozpätí 3 stupňov a ďalšia, 40 000 – ročná perióda pravdepodobne súvisí s takzvanými Milankovičovými cyklami, ktoré vyplývajú zo zmien výstrednosti mierne eliptickej obežnej dráhy Zeme okolo Slnka. Počas nich sa mení šírka tropického pásma. A objavujú sa ďalšie úvahy – dráha Zeme sa „kolíše“ v aj perióde asi 100 000 rokov, pričom prechádza pásom kozmického prachu, ktorý krúži vplyvom gravitácie Jupitera v rovine jeho dráhy a tiež znižuje intenzitu slnečného žiarenia.

Okrem vodnej pary je najvýznamnejší skleníkový plyn kysličník uhličitý. Jeho podiel v atmosfére sa medzi rokmi 1950 a 1970 zdvojnásobil (ale koncom 90. rokov sa nárast jeho produkcie prakticky zastavil). Merania zo satelitov ukázali, že sa zvýšila aj fotosyntéza, pri ktorej ho zelené rastliny spotrebúvajú. Oveľa väčšie množstvo tohto plynu, než sa nachádza v atmosfére je viazané v morskej vode. Potrvá možno stovky rokov, kým sa tento zásobník naplní a vytvorí sa nová rovnováha. Na tepelnú bilanciu atmosféry ďalej podstatne vplýva troposferický ozón, znečistenie sadzami (znižuje oblačnosť, ktorá odráža žiarenie), chlórfluorokarbónmi a metánom, ktorých presný vplyv sa ešte nepodarilo stanoviť. Po podpísaní Montrealského protokolu o ukončení výroby chlórfluorokarbónov, ktoré spôsobujú úbytok ochrannej ozónovej vrstvy v stratosfére v roku 1996 sa množstvo stratosferického ozónu stabilizuje a povestné ozónové diery sa prinajmenšom podstatne nezväčšili. Dá sa očakávať, že normálny stav sa v Antarktíde obnoví po roku 2030.

Množstvo faktorov, ktoré vplývajú na zmeny podnebia na Zemi, celkom zjavne znemožňuje presnú predpoveď budúceho vývoja. Napriek všetkým ťažkostiam však už boli vykonané opatrenia, aby sa vplyv ľudskej činnosti aspoň obmedzil, a to aj napriek tomu, že sa asi až po desiatkach rokov dozvieme, aký podiel na dnešných zmenách podnebia malo ľudstvo a aký príroda, aké zmeny, do akej miery a po akej dobe dokáže odchyľky zvládnuť sama príroda a k čomu musí prispieť ľudstvo vo svojom vlastnom záujme.

Mnohých vedcov najviac znepokojuje, že klimatické zmeny sa v minulosti neraz udiali náhle, v priebehu niekoľkých rokov. Takáto náhla zmena, na ktorú nie je možné vopred sa pripraviť, by mohla vyvolať na Zemi všetky možné živelné pohromy, hlad, sťahovanie celých národov, nepokoje a vojny. O tom, že sa niečo podobné v minulosti udialo aj v rozsahu globálnej katastrofy, máme dostatok dôkazov, a to tak o konkrétnych udalostiach, ako aj o ich vinníkoch.

Nie je to ani tak dávno, čo sa za vinníka náhlych zmien podnebia a náhleho vymierania množstva živočíšnych druhov v dávnej minulosti pokladalo náhle zvýšenie činnosti vulkánov. Skutočne, vieme o udalostiach, ktorých veľkosť sa vymyká všetkým novodobým pozorovaniam sopečných výbuchov. Vráťane výbuchu ostrovnej sopky Théra okolo r. 1500 pred n.l., ktorá pravdepodobne zničila vyspelú minójsku civilizáciu na 70 kilometrov vzdialenom ostrove Kréta a snáď spôsobila aj sedemročnú neúrodu v Egypte, ktorá sa spomína v Biblii. (Kto počul o bájne Atlantíde, vedzte, že najsolídnejšie výskumy ju stotožňujú práve s minójskou kultúrou a jej zánik s erupciou Théry alebo katastrofálnym zemetrasením s obrovskými príbojovými vlnami, ktoré zodpovedajú legende o tom, ako sa Atlantída „prepadla do morských hlbín“...) Výbuch Théry bol podľa objemu vyvrhnutého materiálu a zničenej plochy ostrova (zvyšok je dnešný Santorini) trojnásobne tak silný, ako explózia ostrovnej sopky Krakatau v roku 1883, pri ktorej zahynulo asi 36 000 ľudí. Pri najväčších známych výbuchoch (včítane iných sopiek – St. Helens, Vezuv, Mt. Katmai...) sopky vychrlili desiatky kubických kilometrov materiálu. Ale čo je to oproti asi

Čo nás na Zemi môže postihnúť

2 800 kubických kilometrov magmy, ktoré vyvrhla pred 74 000 rokmi sopka Toba v Indonézii? Rozsah klimatických zmien bol určite väčší, než ľudstvo zažilo vo svojej kultúrnej histórii. Po výbuchu sopky Pinatubo v r. 1991 poklesla globálna teplota Zeme o 0,5 stupňa na celý rok – a to bola oproti Tobe len vianočná prskavka... Takže máme doklady, že pohyby litosferických dosiek určite v minulosti sprevádzali aj rozsiahlejšie zemetrasenia a vulkanická činnosť, ako si ľudstvo vôbec pamätá – a s nimi aj klimatické zmeny.

Napriek tomu máme dobré dôvody predpokladať, že najväčšie nebezpečenstvo hrozí životu na Zemi nie z jej útrobov, ale z vesmíru. Hoci k najväčšiemu kozmickému bombardovaniu Zeme došlo „krátko“ po jej vzniku, rôzne veľké objekty ju určite zasahovali aj potom. Stačí sa pozrieť na povrch Mesiaca. Ten je krátermi po rôznych impaktoch priam posiaty a nie je dôvod myslieť si, že by podobne nevyzeral aj povrch Zeme, keby tieto jazvy neukrývala erózia. Doteraz bolo na Zemi rozoznaných asi 140 veľkých kráterov, medzi nimi 2 miliardy rokov starý Vredeford v južnej Afrike, 100 km veľký Manicouagan v Kanade spred 214 miliónov rokov, dokonca aj podmorský Eltanin na dne Tichého oceána. K najväčšiemu vymieraniu živočíchov a rastlín došlo pred 250 miliónmi rokov. Vie sa, že v tej dobe nastala intenzívna sopečná činnosť na Sibíri, no v geologickej vrstve z toho obdobia sa našiel materiál s netypickým zastúpením izotopu hélia, ktorý potvrdzuje domienku, že príčinou mohol byť dopad planétky s priemerom okolo 10 kilometrov, najskôr do oceánu. A v roku 1991 bol pri hľadaní ropy objavený úplne ponorený a zasypaný kráter Chicxulub na rozhraní mexického poloostrova Yucatan a Mexického zálivu. Jeho hĺbka 9 km a priemer 300 km, ako aj čas vzniku pred 65 miliónmi rokov nasvedčuje, že je pozostatkom udalosti, ktorá spôsobila ďalšiu (a dúfajme, že poslednú) katastrofu na Zemi, pri ktorej vymrela značná časť živočíšnych aj rastlinných druhov, včítane dinosaurov. Planétka, ktorá vtedy dopadla na Zem, mala priemer asi 12 kilometrov.

Čo napácha aj pomerne malý objekt, možno ilustrovať na príklade známeho Tunguzského meteoritu, ktorý dopadol 30. júna 1908 do oblasti 700 km na severozápad od Bajkalského jazera. Veľkosť telesa, ktoré vybuchlo niekoľko kilometrov nad zemou, sa stanovila na púhych 60 metrov, hmotnosť 500 000 ton a uvoľnená energia sa odhaduje na ekvivalent 600 hirošimských atómových bômb. Ale obyvatelia 70 km vzdialeného mestečka utrpeli bolestivé popáleniny od tepelnej vlny. Výbuch bolo vidieť a počuť viac než na 1000 km. Prach, rozptýlený v atmosfére spôsobil, že až v Európe sa nasledujúcej noci nezotmelo, obloha mala žltoranžovú farbu a aj v noci sa dali na uliciach čítať noviny. Nemá sa špekulovať, čo by, keby... ale ľudia si až neskôr uvedomovali, že keby tento objekt trafil nie do neobývanej tajgy, ale do oblasti Európy, ktorá leží na rovnakej zemepisnej šírke, mohli byť státisíce ľudí usmrtených alebo zranených. Stačilo by, aby Zem bola voči prilietajúcemu objektu pootočená tak asi o štvrt obrátky...

Občasné senzačné novinové správy o možných kolíziách s planétkami, ktorých dráhy sa križujú s dráhou Zeme (a nakoniec preleteli ďalej, ako je Mesiac) dosiaľ nevzbudili

veľa pozornosti. Ale, ktovie, možno sa dožívame doby, kedy sila médií dokáže meniť históriu ľudstva. Odhady vedcov, že s pravdepodobnosťou jedného percenta v nasledujúcom storočí dopadne na Zem planétka s priemerom 300 metrov, ktorá by mohla zahubiť 100 000 – 10 000 000 ľudí, nevzbudili takú pozornosť, ako dva holywoodske katastrofické filmy popisujúce kolíziu Zeme s planétkou. Až potom vlády bohatých štátov uvoľnili prostriedky na program vyhľadávania potenciálne nebezpečných planétok – krížičov dráhy Zeme. Zatiaľ však nie je jasné, čo by sa dalo urobiť s veľkým objektom, ktorý sa zistí čo i niekoľko mesiacov pred kolíziou. Obyčajný výbuch vodíkovej bomby by na jeho zneškodnenie alebo odklonenie pravdepodobne nestačil – a čo potom, nevedia si zatiaľ celkom dobre predstaviť ani odborníci.

Gigantické, ale oveľa menej pravdepodobné ohrozenia číhajú vo vzdialenejšom vesmíre. Zatiaľ čo strety s menšími planétkami sú možné v horizonte tisícov rokov, udalosti vo vzdialenejšom vesmíre prichádzajú do úvahy v horizonte najmenej miliónov rokov, takže zrejme nepredstavujú tak reálne nebezpečenstvo. Na druhej strane, zatiaľ nie je predstaviteľný nijaký spôsob ochrany pred ich následkami.

Koncom šesťdesiatych rokov boli vypustené vojenské družice Vela, ktoré mali kontrolovať dodržiavanie dohody o zákaze jadrových skúšok v atmosfére. Takmer okamžite začali registrovať záblesky gama žiarenia. Po počiatočných zmätkoch sa zistilo, že nepochádzajú z testov atómových bômb, ale z vesmíru. Vznikla nová kozmická záhada. Nie je doteraz vyriešená, ale veľmi dobrou teóriou sa zdá kolízia neutrónovej hviezdy s iným veľkým objektom. Mohla by vzniknúť po zrútení dvojhviezdy, z ktorej jednou zložkou je neutrónová hviezda alebo čierna diera. Takáto katastrofa v „blízkosti“ našej slnečnej sústavy by svojím žiarením vyvolala v atmosfére produkciu množstva oxidu dusíka, ktorý by okamžite zatemnil oblohu. Zanikol by všetok atmosferický ozón a ultrafialové žiarenie zo Slnka by spolu radiáciou zničilo všetko živé. Našťastie, takáto udalosť Zemi pravdepodobne nehrozí skôr, ako za mnoho miliónov rokov.

Pomerne nedávno, asi pred 5 miliónmi rokov zrejme vybuchla dosť blízko Zeme supernova. Nespôsobila zvlášť veľkú katastrofu, ale výbuch supernovy vo vzdialenosti do 30 svetelných rokov od Zeme by zrejme spôsobil radiáciu, ktorá by poškodila všetky živé organizmy. Aj keď podľa odhadu dosiaľ vzplanulo v Galaxii 100 miliónov supernov, teória, že by niektorá z nich zapríčinila veľké vymieranie druhov v dávnej minulosti, ni

e je v súčasnosti považovaná za veľmi pravdepodobnú a takisto možnosť, že by sa v pomerne blízkej budúcnosti niečo podobného odohralo je takisto veľmi malá.

Záver tejto kapitoly s množstvom katastrofických scenárov tak hádam predsa len môže byť optimistický. Zdá sa, že prinajmenšom počas života nášho, našich detí a vnúčat našu planétu nečaká nič tak katastrofálneho, čomu by sa ľudstvo nedokázalo pri dobrej vôli a spolupráci ubrániť. Najväčšie nebezpečenstvo pre ľudí budú zrejme aj v budúcnosti zas len ľudia – ale o tom bude reč v ďalších kapitolách.