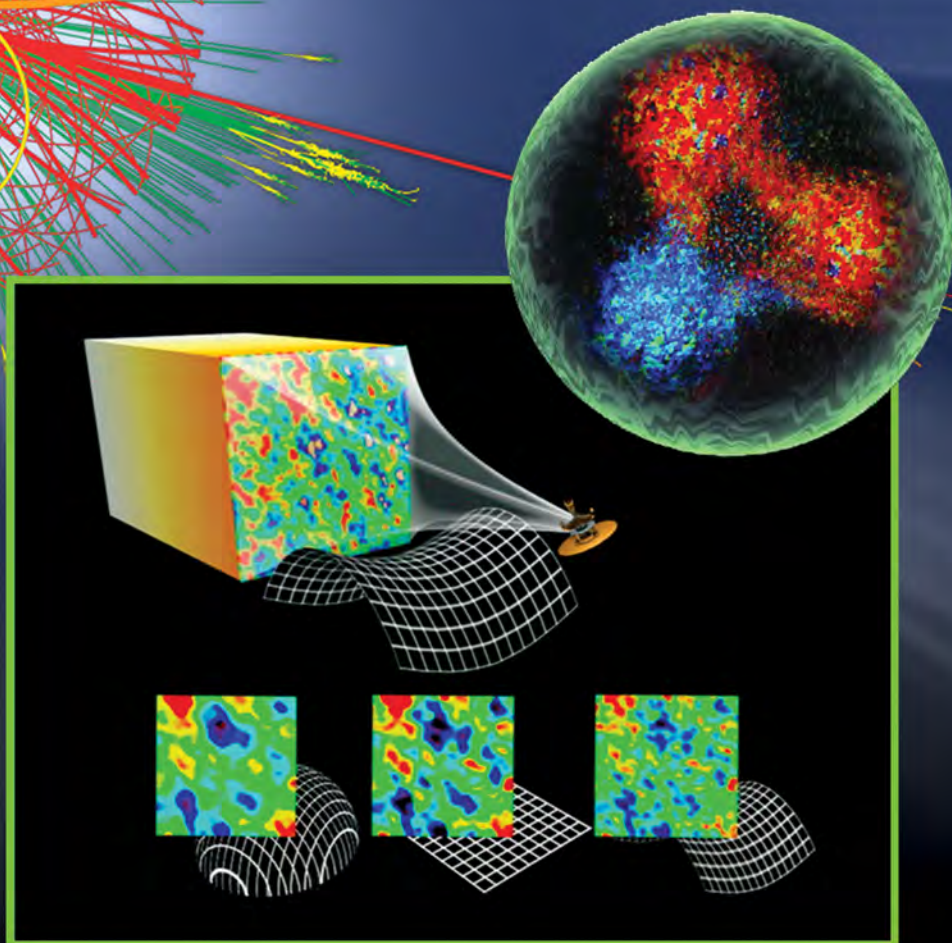


MODERNÁ KOZMOLÓGIA

alebo AKO PREDNÁŠAŤ O KOZMOLÓGII?

Petr Kulháněk



PROGRAM
CEZHRANIČNEJ
SPOLUPRÁCE
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLOČNE BEZ HRANÍC



1. Slovo autora

Pohľad na nočnú oblohu vo väčšine z nás vzbudzuje pocit hĺbky priestoru, neznámych končín vesmíru a tajomna. Človek si uvedomí, aký nepatrný je jeho svet v porovnaní s rozľahlým vesmírom. Ten pocit je o to silnejší, ak vieme, že nočný pohľad nám umožní uvidieť iba malé percento celku - svietiacu atomárnu látku. Čo tvorí zostávajúcu časť? Aký vesmír je? Ako vznikol a aký bude jeho osud? A čo bolo pred vesmírom? Má vesmír nejakú hranicu? A čo je za ňou? Myslím, že každému niekedy v živote tieto otázky napadli. Pred sto rokmi sme na ne nepoznali odpoveď a pýtať sa na ne považovala vtedajšia veda za nepatričné. Časy sa ale menia...

V priebehu dvadsiateho storočia vznikla **všeobecná relativita**, ktorá úspešne popisuje gravitáciu a kvantová teória poľa, ktorá skvelo charakterizuje ostatné interakcie. Ľudstvu sa dostali do rúk naozaj mocné nástroje. Spolu s rýchlo sa rozvíjajúcou experimentálnou technikou sme začali hlbšie chápať zákonitosti, ktorými sa vesmír riadi. S každou odhalenou pravdou sa ale objavujú ďalšie a ďalšie otázky. Uspokojivá odpoveď na jeden jav so sebou prináša množstvo ďalších otáznikov. V súčasnosti už nikto nepochybuje o tom, že vesmír nie je stacionárny, že sa vyvíja, vznikajú v ňom a zanikajú hviezdy, expanduje (dokonca zrýchlenou expanziou) a na počiatku bol veľmi hustý a horúci. Nevieme ale, čo je temná hmota a temná energia, nepoznáme celkový tvar vesmíru a nepoznáme jeho pôvod ani budúci osud. V poslednej dobe sme svedkami splynutia veľkého a malého. Premýšľame o obrovských vzdialenostiach vo vesmíre, o jeho stavbe a pôvode. A naše myšlienky nás vedú k počiatku sveta, keď o jeho budúcnosti rozhodovalo vzájomné pôsobenie elementárnych častíc v horúcej a hustej zárodočnej polievke, kde vzájomné vzdialenosti medzi časticami boli veľmi malé. Kozmologické bádanie si tu podáva ruku s miniatúrnym svetom elementárnych častíc. Odpovede na naše zvedavé otázky neprichádzajú len z pozorovania priepastných diaľav, ale tiež z veľkých urýchľovačov, v ktorých sa ľudia naučili pripravovať extrémne stavy látky, nie nepodobnej divokému roju častíc v ranom vesmíre. V poznávaní sveta nie sme teda bezmocní. A pokiaľ spojíme naše súčasné technologické možnosti s teoretickým zázemím a schopnosťou človeka logicky uvažovať, začnú sa vzdialene oddelené javy spájať do jedinej mozaiky. V tejto mozaike pozorujeme prvé obrysy obrazu sveta, ktorému sa snažíme zo všetkých síl porozumieť.

Dostávate do rúk text, v ktorom sa snažíme ukázať stav súčasného poznania vesmíru ako celku. Dozviete sa o postupnom zdokonaľovaní nášho pohľadu na vesmír, o objavoch, ktoré vyvrátili bežne zakorenené predstavy o fungovaní sveta a o objavoch, ktorých význam nám doposiaľ zostáva skrytý. V záverečnej časti sa zmienime aj o odvážnych hypotézach, ktoré môžu a nemusia byť pravdivé. Ich nárok na existenciu preverí až čas. Ale práve odvážne hypotézy a dostatočne fantastické teórie posúvajú naše znalosti dopredu. Nebyť ich, nevznikol by ani text, ktorý sa chystáte čítať a o ktorom dúfame, že Vám pomôže lepšie sa orientovať v búrlivo sa rozvíjajúcom vednom odbore - **kozmológii**.

V Prahe, 15. 12. 2010, Petr Kulhánek

2. Čo je to kozmológia

Samotné slovo **kozmos** má grécky pôvod a znamená ozdobu, šperk alebo rád. S najväčšou pravdepodobnosťou použil toto slovo pre vesmír ako celok po prvýkrát Filoláos z Krotónu (asi 470-385 p.n.l.), ktorý bol Sokratovým vrstovníkom a žil na Sicílii. Dnes pod **kozmológiou** chápeme **súhrn vedeckých poznatkov, ktoré vedú k pochopeniu vesmíru ako celku, najmä s ohľadom na jeho pôvod a budúcnosť**. Kozmológia sa z pôvodných filozofických úvah premenila v priebehu 20. storočia na exaktnú vedeckú disciplínu, ktorá má široké experimentálne zázemie. S vysokou presnosťou dnes vieme, že vesmír vznikol pred 13,7 miliardami rokov z extrémne horúcej a hustej plazmatickej gule.

Na prvý pohľad by sa mohlo zdať, že pátranie po pôvode vesmíru je odvážne a nereálne. Opak je ale pravdou. Väčšinu súčasných informácií o vesmíre získavame prostredníctvom **elektromagnetického žiarenia**. To sa ale šíri konečnou rýchlosťou a tak určitú dobu trvá, kým k nám toto žiarenie zo vzdialených objektov doletí. Na hviezdy, hmloviny a galaxie sa preto vždy dívame s určitým oneskorením. Ak sa cez deň pozriete na Slnko, uvidíte na ňom deje, ktoré nastali pred ôsmimi minútami. Nočný pohľad na hviezdy ukazuje tieto vzdialené svety pred desiatkami, stovkami a niekedy aj tisíckami rokov. Pri galaxiách ide o milióny a miliardy rokov. Čím ďalej sa pozeráme, tým vzdialenejšiu minulosť nášho vesmíru pozorujeme. Najmodernejšími prístrojmi, ako sú Hubblov vesmírny ďalekohľad alebo Herschelovo infračervené observatórium, môžeme dnes dovidieť až takmer na samý počiatok vesmíru a pozorovať objekty staré necelú miliardu rokov.

V oných dobách, kedy **vesmír** vznikol, bol veľmi hustý a horúci. Dnes dokážeme také extrémne stavy látky umelo pripraviť. Už v 50. rokoch 20. storočia bolo možné pri zrážkach častíc na prvých urýchľovačoch vytvoriť látku v stave, v akom bol vesmír niekoľko sekúnd po svojom vzniku. V roku 2000 sa v Európskom stredisku jadrového výskumu CERN podarilo pripraviť **kvark-gluonovú plazmu**, stav látky, v ktorom sa vesmír nachádzal len desať mikrosekúnd po svojom vzniku. Z tejto "pralátky" vznikali prvé neutróny a protóny. Na dnešnom urýchľovači LHC (Large Hadron Collider, Veľký hadrónový urýchľovač) bude možné pripraviť látku svojimi vlastnosťami podobnú látke vo vesmíre starom desiatinu bilióntiny sekundy (10^{-13} s). Právom sa týmto experimentom hovorí **Malý tresk**, keďže napodobňujú v laboratóriu to, čo sa v prírode odohrávalo na počiatku sveta. Svet obřích vesmírnych diaľav si v našich laboratóriách podáva ruku s miniatúrnym svetom elementárnych častíc s vysokými energiami.

Za najvýznamnejšie zdroje kozmologických informácií v súčasnosti považujeme:

- sledovanie veľmi vzdialených galaxií a kôp galaxií, ktorých vzdialenosti odhadujeme pomocou štandardných sviečok - tzv. supernov typu Ia. Rýchlosti týchto galaxií sa určujú z červeného kozmologického posuvu spektrálnych čiar.
- analýzu reliktového žiarenia, ktoré pochádza z konca Veľkého tresku. V reliktnom žiarení sú očividne drobné fliačky alebo fluktuácie - prvotné štruktúry prítomné už 400 000 rokov po vzniku vesmíru, ktoré sa vyvinuli do dnešných galaxií a kôp galaxií. Vo fluktuáciách reliktného žiarenia je zakódovaných mnoho informácií o našom

vesmíre, napríklad vek, doba trvania Veľkého tresku, zastúpenie mnohých entít vo vesmíre, zakrivenie vesmíru, čas vzniku prvých hviezd atď.

- veľkoškálové prehliadky oblohy. Z nich je možné určiť súčasnú veľkoškálovú štruktúru vesmíru a porovnať ju so zárodočnými fluktuáciami, z ktorých vznikla.

Laboratórne experimenty s extrémnymi stavmi látky na najväčších urýchľovačoch sveta. Tieto experimenty nám umožňujú študovať chovanie elementárnych častíc pri vysokých energiách a pochopiť chovanie jednotlivých interakcií medzi nimi.

Od prvých filozofických úvah o vzniku sveta prešla kozmológia dlhou cestou. K najvýznamnejším míľnikom bezpochyby patrí vznik všeobecnej teórie relativity (súčasnej teórie gravitácie), ktorú publikoval Albert Einstein v roku 1916. Už v roku 1922 ruský vedec Alexander Fridman objavil riešenie, z ktorého vyplynulo, že vesmír nemôže byť stacionárny, ale musí expandovať, alebo kolabovať. V tej dobe bol stacionárny vesmír veľmi módny a aj Albert Einstein podľahol jeho kúzlu a upravil svoje rovnice všeobecnej relativity tak, aby potlačil tieto nechcené riešenia. V roku 1929 ale Edwin Hubble (1889–1953) dokázal pri pozorovaní vzdialených galaxií, že vesmír naozaj expanduje.

V roku 1948 navrhli George Gamow (1904–1968), Ralph Alpher (1921–2007) a Robert Herman, že vesmír musel byť na počiatku veľmi hustý a horúci a publikovali jednoduché úvahy o zastúpení vodíka a hélia vo vesmíre. Súčasne Gamow prišiel na to, že by sa v chladnúcom vesmíre malo v určitom období oddeliť žiarenie od látky. Konkrétne výpočty publikovali Alpher a Herman v tom istom roku. Gamow síce vyzval súčasníkov k hľadaniu tohto "zbytkového" žiarenia, ale nik tomu nevenoval bohužiaľ pozornosť.

Reliktové žiarenie bolo objavené až v roku 1965 Arnom Penziasom (1933) a Robertom Wilsonom (1936). Základné parametre tohto žiarenia zmerala družica COBE v roku 1989, v roku 1992 objavila fluktuácie reliktného žiarenia. Dnes reliktové žiarenie podrobne analyzujú sondy WMAP (od roku 2001) a Planck (od roku 2009). V roku 1998 zistili Adam Riess (1969) a Saul Perlmutter (1959) zrýchlenú expanziu vesmíru, za ktorú by mala byť zodpovedná mysteriózna temná energia. V roku 2002 navrhli Neil Turok (1958) a Paul Steinhardt (1952) alternatívny model Veľkého tresku, tzv. ekpyrotický model, ktorý popisuje vznik vesmíru ako dotyk dvoch brán, dvoch pravesmírov v mnohorozmernom svete. Kozmológia od svojich počiatkoch prešla obrovský kus cesty poznania. Rovnako veľkú, ak nie väčšiu časť, má však pred sebou.

3. Stovky rokov hľadania ako vznikol svet

Úvahy o vzniku sveta patria k uvedomeniu si seba samého a pátrania po našom pôvode. Prvé úvahy sa potýkali s hranicou časovou aj priestorovou. V čase nás zaujíma minulosť a budúcnosť. Je vesmír večný alebo má nejaký počiatok? A ak má aj počiatok, bude mať aj svoj koniec? Z priestorového hľadiska zaujímali filozofov dve základné otázky: kde je stred vesmíru? A má nejakú hranicu? Ak áno, čo je za touto hranicou?

Pohľad dnešný

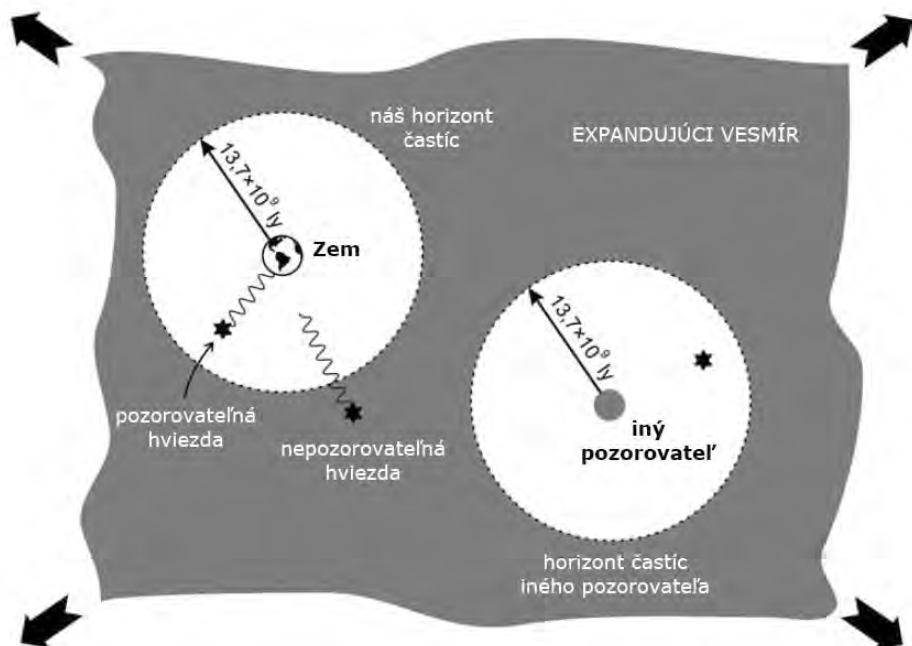
Kým sa pustíme do popisu, ako sa s týmito otázkami vysporiadali rôzne civilizácie, naznačme, ako ich vnímame dnes. Od roku 1929 vieme, že vesmír expanduje a v roku 1998 sme zistili, že ide dokonca o zrýchlenú expanziu. Tento výsledok je nezlučiteľný so stacionárnym vesmírom existujúcim trvalo v čase. **Vesmír sa vyvíja**, v minulosti bol iný, ako bude v budúcnosti. Z pozorovaní je zrejmé, že vesmír vznikol pred 13,7 miliardami rokov z extrémne hustej a horúcej plazmatickej gule. Nevieme, kde sa táto počiatočná guľa vzala, nevieme dokonca, či šlo skutočne o guľu a nevieme ani, čo bolo predtým, ak nejaké predtým vôbec bolo. Z dnešného pohľadu **stráca totiž pojem času zmysel bez prítomnosti hmoty a energie**. Pokiaľ vo vesmíre nebola hmota a energia, neexistoval ani čas a otázka, čo bolo pred vesmírom, stráca zmysel. Steven Hawking na otázku, čo bolo pred Veľkým treskom kedysi odpovedal novinárom veľmi jednoducho: „*Bol tu Boh, ktorý pripravoval peklo pre ľudí, ktorí budú také otázky klásť.*”

Budúcnosť vesmíru je aj v našich dnešných predstavách neistá. Kým nebudeme presne vedieť, čo rozfukuje vesmír zrýchlenou expanziou a aké má táto entita (pracovne ju nazývame temná energia) vlastnosti, nemôžeme zodpovedne predpovedať budúci osud vesmíru. Väčšina kozmológov predpokladá, že expanzia bude pokračovať a vesmír čaká v ďalekej budúcnosti mrazivá smrť. Otvorené sú ale aj iné možnosti, vrátane budúceho kolapsu vesmíru.

Z priestorového hľadiska dnes predpokladáme, že **vesmír expanduje** zo všetkých svojich bodov. Predstavte si gumu na bielizeň, na ktorej sú navešané kancelárske spinky. Ak budeme gumu ťahať, spinky sa od seba budú vzdďaľovať. Ak posadíme nejakého chrobáčka na ľubovoľnú sponku, bude sa mu zdať, že sa galaxie (ostatné spinky) vzdďaľujú práve od neho. Je to ale mylná predstava. Rovnaký pocit by náš chrobáčik zažil na ktorejkoľvek spinke. Žiadny stred expanzie neexistuje, v ľubovoľnom mieste vesmíru vnímame expanziu rovnako. Vždy sa nám bude zdať, že sme práve v strede expanzie. Tomuto tvrdeniu hovoríme **kozmozologický princíp**. Naša paralela so spinkami a gumou má ešte jeden dôležitý dôsledok. Pri ťahaní gumy sa nemení veľkosť spiniiek, len priestorové vzdialenosti medzi nimi. To je dané tým, že iné sily určujú veľkosť spinky a iné ťahovanie gumy. Rovnako sa v reálnom vesmíre nemení pri expanzii veľkosť galaxií, hviezd ani planét (tieto rozmery sú dané gravitačnou interakciou).

Dnes predpokladáme, že **vesmír nemá žiadnu priestorovú hranicu** (keby mal, čo by bolo za ňou?). To ale neznamená, že musí byť nutne nekonečný - pri pohybe po povrchu balónika tiež na žiadnu hranicu nenarazíme a aj napriek tomu je tento povrch z hľadiska veľkosti plochy konečný. Z pozorovaní sa zdá, že vesmír je skutočne nekonečný, ale s definitívnou platnosťou to ešte potvrdené nemáme. V každom prípade nemôžeme vidieť celý vesmír, ale len jeho časť. Tú časť, z ktorej k nám stihlo doletieť svetlo za dobu existencie vesmíru. Vzdialenejšie oblasti nevidíme, ale to neznamená, že neexistujú. Ak si počkáme dostatočne dlho, dorazí k nám aj svetlo z týchto odľahlých oblastí. Časť vesmíru, ktorú môžeme vidieť, nazývame pozorovateľný vesmír. Jeho "hranicou" je tzv. **horizont častíc**. Je vo vzdialenosti 13,7 miliardy svetelných rokov. Čím ďalej sa pozeráme, tým mladší vesmír uvidíme. A vo vzdialenosti 13,7 miliardy rokov by sme videli samotný zrod vesmíru. V reliktovej žiareni dnes dovidíme až na

samotný koniec Veľkého tresku, t.j. vidíme štruktúry, ktoré tu boli už 400 000 rokov po vzniku sveta.



Pohľady minulé

Podme si teraz heslovite popísať názory na vesmír až po Newtonovu dobu, kedy vznikajú prvé zárodky súčasnej kozmológie. Všimnite si, že väčšina filozofických názorov z minulosti využíva aj myšlienky, ktoré sú dnešnému pojatiu veľmi blízke.

Babylon (1900–1200 p. n. l.). Babylončania chápu zem a nebesá ako nedeliteľný celok. Obdobne ako iné civilizácie sú okúzaní guľovým tvarom, ktorý preferujú nad ostatné. V strede sveta nie je ani Zem, ani Slnko, ale centrálné božstvo, okolo ktorého sa všetko hmyí. Babylonský vesmír je neosobný, bez účasti človeka.

Anaxagoras (500–428 p. n. l.). Anaxagoras bol pravdepodobne prvým zástancom atómickeho vesmíru, zloženého z mnohých opakujúcich sa zárodkov - atómov, okolo ktorých je nekonečná prázdnota. Atómy sú z rovnakej látky, ale odlišujú sa veľkosťou a tvarom. Vesmír je riadený chovaním atómov (potrebou, rozumom), nie bohmi. Na Anaxagora nadväzuje Epikuros (341–270 p. n. l.) a ďalší atomisti. Sám Anaxagoras slovo atóm nepoužíval, zárodky vecí označoval ako „semená“.

Pytagoras (570–495 p.n.l.). Pytagoras a jeho nasledovníci predpokladali, že v strede vesmíru je centrálny oheň, okolo ktorého sa pohybuje Zem, Slnko, Mesiak aj planéty. Slnko obehne centrálny oheň za jeden rok. Hviezdy sú stálice, nepohybujú sa. Centrálny oheň

Moderná kozmológia alebo ako prednášať o kozmológii

nevidíme, pretože je na druhej strane Zeme. Na svoju dobu išlo o veľmi pokrokový názor, ktorý ako prvý neumiestňuje do stredu sveta Zem.

Aristoteles (384–322 p. n. l.). Aristotelov model sa udržal vďaka jeho autorite cez dve tisícročia. Do stredu vesmíru kladie guľatú Zem, okolo ktorej sa nachádzajú otáčajúce sa nebeské sféry, na ktorých sú pripevnené Mesiac, Slnko, planéty a sférické sféry. Sférami otáčal akýsi „prvý hýbateľ“, ktorému Aristoteles prisúdil čiastočne božské vlastnosti. Aristotelov vesmír je guľovo symetrický a ohraničený. Nie je teda nekonečný. Svet je zložený zo štyroch elementov (zeme, vody, ohňa a vzduchu). Piatym elementom (kvintesenciou) je éter, z ktorého sú stvorené nebesá.

Vesmír stoikov (200 až 300 p. n. l.). Stoicizmus je celý filozofický smer v starovekom Grécku. Základom je predstava vesmíru ako osamelého ostrova v nekonečnej prázdnej dutine. Vesmír môže periodicky pulzovať. Z dnešného pohľadu vesmír stoikov elegantne riešil paradox nočnej tmy. Tým, že vesmír nie je nekonečný, neuvidíme vo všetkých smeroch hviezdy (čo by znamenalo, že cez deň aj v noci musí byť svetlo) a v noci uvidíme medzi hviezdami tmú.

Ptolemaios (90–168 n. l.). Ptolemaios bol tvrdým zástancom geocentrického modelu. Jeho zjavný nesúhlas s pozorovaním riešil zavedením epicyklov, pomocných kruhov. Planéty sa pohybovali po obvode epicyklov, ktorých stredy obiehali po obvode väčších kruhov, tzv. deferentov. Týmto spôsobom bolo do istej miery možné vysvetliť skutočné pohyby planét. Zložením dvoch kruhových pohybov sa výsledná dráha podobala elipse. Najznámejším Ptolemaiovým spisom je *Almagest*.

Roger Bacon (1214–1294). Anglický filozof, ktorý ako prvý presadzoval vedeckú metódu, t.j. súčinnosť pozorovaní (experimentu) a teórie. Sám si vesmír predstavoval neosobne, bez účasti človeka.

Mikuláš Koperník (1473–1543). Poľský hviezdár, ktorý umiestnil do stredu sveta Slnko, roztočil Zem a zastavil sféru sférických telies. Vzhľadom k obdobiu náboženského fanatizmu váhal s publikovaním svojich výsledkov. Heliocentrickú sústavu opísal v nenápadnom spise *Malý komentár*. Hlavné poznatky publikoval až v diele **O obehoch nebeských sfér**, ktoré vyšlo v čase jeho smrti. Spis sa mu dostal do rúk až na smrteľnej posteli a nie je dochované, či v tej dobe bol ešte schopný vnímať.

Tycho Brahe (1546–1601). Brahe bol predovšetkým výborným pozorovateľom. Ide o dánskeho astronóma, ktorý strávil svoje posledné (a veľmi plodné) roky v rudolfskej Prahe. Oproti Koperníkovi znamenali jeho názory v istom zmysle krok späť. Uvažoval model, v ktorom síce planéty obiehajú okolo Slnka, ale Slnko samotné obieha okolo Zeme, ktorá je stredom vesmíru.

Johannes Kepler (1571–1630). Kepler sa stretol s Tychoom v rudolfskej Prahe. Základom jeho výpočtov pohybu nebeských telies sa stali práve Tychove pozorovania. Kepler na základe nich odvodil, že sa planéty pohybujú po elipsách, v ktorých ohnisku je Slnko, určil vzťah medzi obežnou dobou a vzdialenosťou planéty od Slnka a objavil zákon zachovania momentu hybnosti pre planéty (v oblastiach dráhy bližších k Slnku sa planéta pohybuje okolo Slnka rýchlejšie ako vo vzdialenejších oblastiach).

Isaac Newton (1643–1727). Isaac Newton bol vedec nesmierne širokého záberu. Objavil základné zákony mechaniky, spolupodieľal sa na vzniku diferenciálneho počtu, zaoberal sa optikou. K najvýznamnejším objavom patrí jeho gravitačný zákon, podľa ktorého sa pohybuje nielen hodený kameň, ale aj planéty okolo Slnka alebo celé galaxie v skupinách galaxií. Dá sa povedať, že s nástupom Isaaca Newtona sa definitívne končí doba tmárstva a nevedeckých úvah a nastupuje obdobie logického myslenia a vedeckých experimentov.

4. Úsvit nášho poznania

Novodobá éra nazerania na vesmír začína **zrodem Newtonovej fyziky**. Sám Newton argumentoval v prospech nekonečného vesmíru. Konečný vesmír by podľa jeho predstáv musel skolabovať vďaka vzájomnej príťažlivosti hviezd. Takýto argument je ale pravdivý len pre stacionárny, v čase nemenný vesmír, ktorý bol v tej dobe jedinou uvažovanou alternatívou.

Problém sily vo fyzike

Celá Newtonova fyzika je založená na pojme sily. Sila vystupuje v pohybových zákonoch a jej znalosť umožňuje predpovedať pohyby telies. Ak chápeme znalosť sily len ako znalosť vhodného matematického predpisu, je všetko v poriadku. Akonáhle sa pokúsime silu nejako definovať, narazíme ale na problém. Dodnes sa nikomu nepodarilo silu definovať, všetky definície končia v kruhu. Riešenie problému sily prinieslo až 20. storočie. A ako to už býva, neobjavilo sa riešenie jedno, ale hneď dve: všeobecná teória relativity a kvantová teória poľa.

Všeobecná relativita

Všeobecnú relativitu ako alternatívnu teóriu gravitácie publikuje Albert Einstein v roku 1916. Základom sú dve tvrdenia:

každé teleso okolo seba svojou prítomnosťou zakrivuje priestor a čas

telesá sa pohybujú po najrovnejších možných dráhach (tzv. geodetikách) v nimi pokrivenom svete.

Zem sa pohybuje okolo Slnka po elipse nie preto, že by na ňu pôsobila gravitačná sila, ale preto, že Slnko **pokrivilo priestor a čas okolo seba** a elipsa je najrovnejšou možnou dráhou v tomto pokrivenom svete. Čas a priestor vo všeobecnej relativite vytvárajú telesá samotné. Bez nich neexistuje ani priestor, ani čas. Otázka "čo bolo, keď nič nebolo?" prestáva mať zmysel. A ako si predstaviť pokrivený čas? To je jednoduché. Keď povieme, že Zem zakrivuje čas okolo seba, myslíme tým, že hodiny idú inak na povrchu Zeme, inak 100 metrov nad Zemou, inak v lietadle a inak na obežnej dráhe. Dnes hojne rozšírený systém GPS na určovanie polohy by bez uvažovania rôzneho chodu času na družici a na povrchu Zeme bol natoľko nepresný, že by sme pri jazde automobilom správnu cestu vôbec nenašli. So všeobecnou relativitou sa tak stretávame v každodennej praxi, bez toho, aby sme si to uvedomovali. A vôbec nemusí ísť o čierne diery, gravitačné šošovky, expanziu vesmíru, gravitačné vlny alebo strhávanie časopriestoru rotujúcim telesom (čo sú niektoré významné javy predpovedané všeobecnou relativitou).

Kvantová teória poľa

Prvé teórie poľa **založené na kvantovej mechanike** sa rodili v ťažkých pôrodných bolestiach v 30. rokoch 20. storočia. Ukázalo sa, že ani v kvantovej teórii nie je potrebná sila na popis interakcie medzi dvoma telesami (časticami). Interagujúce častice si môžeme predstaviť ako dvoch trpaslíkov s pingpongovými raketami. Títo trpaslíci hrajú zvláštnu hru - pinkajú si medzi sebou tzv. **poľné častice (častice poľa)**, ktoré majú čas od času podivné chovanie. Môžu spôsobovať nielen odpudzovanie trpaslíkov (napríklad dvoch elektrónov), ale aj ich vzájomnú väzbu (elektrónu s protónom v atóme vodíka). Pre častice poľa (v našej paralele pingpongové loptičky) sa ujalo mnoho názvov. Hovorí sa im intermediálne, medzipôsobiace, výmenné, virtuálne alebo **častice poľa**. Pri elektromagnetickej interakcii ide o fotóny, pri silnej interakcii (držia pohromade atómové jadro) ide o gluóny a pri slabej interakcii (spôsobuje napríklad beta rozpad) ide o tzv. poľné bozóny W^+ , W^- , Z^0 .

Až do dvadsiateho storočia sme nevedeli, **čo je sila**. A teraz máme hneď dve teórie: **všeobecnú teóriu relativity fungujúcu pre gravitáciu a kvantovú teóriu poľa** vhodnú pre elektromagnetickú, silnú a slabú interakciu. Obe výborne fungujú a obe razantne zasiahli do našich predstáv o vesmíre. V počiatkoch veľkého tresku nepochybne formovali vlastnosti vesmíru všetky štyri interakcie. Dnes sa na jeho veľkorozmernej štruktúre z našich štyroch "síl" podieľajú najmä gravitačná a elektromagnetická interakcia.

Fyzika dvadsiateho storočia sa stala tak trochu schizofrenickou. Situácia je do budúcnosti neudržateľná. Raz určite vznikne jednotná teória pre všetky štyri interakcie. Táto méta súčasnej fyziky sa väčšinou označuje skratkou **TOE** (Theory Of Everything, **Teória všetkého**). Slovo „toe“ má v angličtine vlastný význam, znamená prst alebo palec na nohe. Súčasťou Teórie všetkého bude aj **kvantová teória gravitácie**, v ktorej by poľnou časticou mal byť hypotetický gravitón.



Desať veľkých udalostí v novodobom poznaní vesmíru

1922 - Fridmanovo riešenie. Ruský matematik, meteorológ a fyzik Alexander Fridman (1888–1925) objavil v roku 1922 riešenie rovníc všeobecnej relativity pre homogénny vesmír. Ukázalo sa, že podľa týchto rovníc nemôže byť vesmír statický, musí expandovať alebo kolabovať. Samotnému Einsteinovi sa riešenie nepáčilo, a preto do svojich rovníc zakomponoval dodatočný člen (tzv. kozmologickú konštantu Λ), ktorý kompenzoval expanziu tak, aby rovnice poskytovali stacionárne riešenie. Po objave expanzie vesmíru údajne Einstein tento krok označil za najväčší omyl svojho života. V dnešnej fyzike sa obdobný člen využíva na popis zrýchlenej expanzie vesmíru.

1929 - objav expanzie vesmíru. Americký astronóm Edwin Hubble (1889–1953) pracujúci na vtedy najväčšom ďalekohľade sveta na hore Mt. Wilson (zrkadlový ďalekohľad s priemerom 2,5 metra) posunul naše znalosti o vesmíre hneď dvakrát. V roku 1924 zistil, že tzv. Veľká hmlovina v Andromede nie je v skutočnosti nijaká hmlovina, ale galaxia zložená z mnohých hviezd. Do tej doby si väčšina astronómov myslela, že vesmír je tvorený jedinou galaxiou - našou Mliečnou dráhou. Od roku 1924 Hubble sledoval rôzne hmloviny a pri mnohých z nich zistil, že v skutočnosti ide o cudzie galaxie. Vzdialenosti určoval pomocou cefeíd, premenených hviezd so známou závislosťou medzi jasnosťou a periódou. Pri objavených galaxiách zaoberával spektrá a z posunu spektrálnych čiar zisťoval pohyb týchto galaxií vzhľadom k nám. V roku 1929 uskutočnil svoj druhý významný objav. Na základe meraní vzdialenosti a pohybu galaxií dospel k záveru, že všetky vzdialené galaxie od nás letia preč, dokonca tým rýchlejšie, čím sú vzdialenejšie. Koeficient úmernosti medzi rýchlosťou vzdďaľovania galaxie a jej vzdialenosťou sa nazýva Hubblova konštanta. Z kozmologického princípu (spomeňte si na rozpínajúcu sa gumu) už vieme, že to neznamená, že by sme práve my boli v strede vesmíru. Rovnaký záver by vyvodil aj pozorovateľ na inom mieste vesmíru.

1934 - predpoveď existencie temnej hmoty. Americký astronóm švajčiarskeho pôvodu Fritz Zwicky (1898–1974) pracoval, rovnako ako Edwin Hubble, na 2,5 metrovom ďalekohľade na hore Mt. Wilson. V roku 1934 zistil, že v skupine galaxií vo Vlasoch Bereniky majú jednotlivé galaxie v priemere väčšiu rýchlosť, aká by zodpovedala gravitačnému zákonu. Nešlo o jednu konkrétnu galaxiu, ale o štatistický výsledok. Fritz Zwicky interpretoval meranie správne. V skupine galaxií musí byť podstatná časť hmoty, ktorú vôbec nevidíme. V roku 1968 ukázala Vera Rubinová (1928), že rovnaký problém nastáva aj v rámci jednej jedinej galaxie. Na periférii galaxií sa hviezdy pohybujú rýchlejšie, ako by mali podľa Keplerových zákonov alebo podľa gravitačného zákona. Ak sa pohybujú rýchlejšie ako majú, mala by ich vymrštíť odstredivá sila preč z galaxie. To sa zjavne nedeje, a tak musí byť v galaxii ďalšia neviditeľná hmota, ktorá hviezdy na ich dráhe drží. Tejto hmote dnes hovoríme **temná hmota** a vieme, že tvorí 23% celkovej hmoty a energie vesmíru. Temná hmota je podľa našich predstáv zložená z dosiaľ neobjavených, pre nás exotických častíc, ktoré bežnou látkou prechádzajú. Všetchno to znie fantasticky? Prechádzať látkou ako prejde duch v rozprávke stenou? Vo svete elementárnych častíc je to možné.

Už od roku 1956 poznáme napríklad neutrína, ktoré bez okolov preletia celou Zemou rovnako ľahko, ako svetlo prejde okennou tabuľou. Jediným centimetrom štvorcovým vášho

tela preletí za každú sekundu 60 miliárd neutrín, ktoré vznikli v temnojadrovom kotle vo vnútri Slnka. A všimnete si niečo? Určite nie. Ako je to možné? Keby sme zväčšili atóm látky tak, aby atómové jadro bolo veľké ako pomaranč, bol by prvý elektrón približne 10 kilometrov vzdialený od jadra. Medzi ním a jadrom je pusto a prázdno. Neutrína neinteragujú elektromagneticky, a tak tadiaľto môžu ľahko preletieť. Inak je to ale s nami ľuďmi. My sa cez podlahu neprepadneme, pretože elektróny a protóny v našom tele interagujú s elektrónmi a protónmi v podlahe. Neutrín je síce v našom okolí množstvo, ale majú veľmi malú hmotnosť, a tak problém temnej hmoty nevyriešia. Dnes je na svete niekoľko desiatok experimentov, ktoré sa snažia (zatiaľ až na jednu výnimku neúspešne) častice temnej hmoty zachytiť.

1948 - predpoveď existencie reliktného žiarenia. Americký fyzik ruského pôvodu George Gamow (1904–1968) v roku 1948 navrhol, že v chladnúcom vesmíre muselo v určitej fáze dôjsť k tvorbe atómových obalov a z horúcej plazmy sa stal neutrálny plyn. V tej dobe sa elektromagnetické žiarenie oddelilo od látky. V plazme je totiž žiarenie viazané na látku, zatiaľ čo v neutrálnom plyne nie. (Poznamenajme, že na výpočtoch sa podieľali Gamowovi študenti Ralph Alpher a Robert Herman.)

Inak to nie je ani vnútri Slnka, kde fotóny preletia len niekoľko centimetrov a vzápätí sú zachytené horúcou plazmou a vyžiarené úplne náhodným smerom. Fotón tak zvnútra Slnka putuje k povrchu stotisíce až milióny rokov, zatiaľ čo v neutrálnom plyne by vzdialenosť od jadra k povrchu preletel o čosi viac ako za dve sekundy. V súčasnosti vieme, že k oddeleniu žiarenia od látky došlo približne 400 tisíc rokov po vzniku sveta a tento okamih považujeme za skutočný koniec Veľkého tresku. Vo vesmíre akoby niekto mávnutím prútika zhasol, začína temný vek vesmíru. Ten končí až 400 miliónov rokov po začiatku, kedy vznikli prvé obrie hviezdy, ktoré opätovne ionizovali svoje okolie.

Žiarenie oddelené od látky nazývame reliktové žiarenie. V dobe svojho vzniku išlo o svetelné žiarenie. V priebehu expanzie vesmíru sa jeho vlnová dĺžka naťahovala spolu s expanziou až na jeden milimeter. Teraz je teda v tzv. mikrovlnnej oblasti, a preto sa mu niekedy hovorí mikrovlnné žiarenie pozadia. Jeho teplota je približne 3K. Gamow márne vyzýval vedcov so svojom okolím, aby toto žiarenie hľadali. Povojnové obdobie nebolo kozmológii príliš naklonené a kozmológovia boli ostatnými fyzikmi považovaní za čudákov, rojkov a neškodných bláznov. Dnes je reliktové žiarenie najvýznamnejším zdrojom informácií o ranom vesmíre.

1965 - objav existencie reliktového žiarenia. Reliktové žiarenie bolo objavené náhodne až v roku 1965. Arno Penzias (1933) a Robert Wilson (1936) robili testy lievikovitej antény, pomocou ktorej chceli urobiť rádiovú prehliadku oblohy. Anténa patrila Bellovým telefónnym laboratóriám, skôr bola využívaná na komunikáciu s družicou Echo. Po rekonštrukcii antény na astronomické účely zaznamenali Penzias a Wilson neobvyklý šum. Postupne vylúčili ako možný zdroj šumu párik v anténe hniezdiacich holubov, blízke mestá, Slnko aj stred galaxie. Šum prichádzal rovnomerne z celého vesmíru. Americký teoretik Peebles navrhol, že by mohlo ísť o reliktové žiarenie. Za objav reliktného žiarenia získali Penzias a Wilson Nobelovu cenu za fyziku v roku 1978. V súčasnosti skúmajú reliktové žiarenie sondy Planck a WMAP, v minulosti to bola slávna družica COBE. Objav reliktového žiarenia ukončil debaty o existencii

či neexistencii Veľkého tresku. V reliktovom žiarení sa totiž pozeráme na samotný záver Veľkého tresku. Poznamenajme na záver, že anténa Penziasa a Wilsona mala maximálnu citlivosť pre vlnovú dĺžku 7,3 cm a nebola preto na pozorovanie reliktného žiarenia s vlnovou dĺžkou 1 mm príliš vhodná.

1980 - inflačný model. Štandardný model Veľkého tresku má rad problémov. Tým najväčším je samozrejme počiatočná singularita (nekonečné hodnoty teploty a hustoty), ktorá nutne vznikne, pokiaľ sa opierame len o všeobecnú relativitu. Ak ale pri zrode vesmíru uvažujeme aj ostatné interakcie, počiatočná singularita už nie je nutná. Ďalším problémom je, že z merania sa zdá, že v súčasnosti je vesmír približne plochý, čo by znamenalo, že v minulosti musel byť "nastavený" s vysokou presnosťou na tzv. kritickú hustotu. Tiež homogenita vesmíru na veľkých škálach je problémom, lebo v minulosti bol vesmír zložený z mnohých oblastí, ktoré spolu nemali šancu nijako komunikovať a pre na homogenitu tak nie je zjavný dôvod. V roku 1980 sa Alan Guth (1947) pokúsil tieto ťažkosti vyriešiť za pomoci tzv. inflačného modelu. Predpokladal, že sa vesmír krátko po svojom vzniku veľmi prudko zväčšil, rozpál, o mnoho rádov. Pôvodcom tejto tzv. inflačnej fázy mohla byť energia uvoľnená pri prechode vákua z jedného energetického stavu do druhého, alebo uvoľnenie energie pri oddeľovaní interakcií. V každom prípade krátka inflačná fáza rieši problém plochosti vesmíru a aj problém homogenity. Pri prudkej inflácii sa vesmír stane efektívne plochým - obdobne sa zníži krivosť povrchu nafúknutého balóna oproti nenafúknutému. Možno taktiež dokázať, že inflačná fáza zaisť možnosť komunikácie medzi jednotlivými časťami vesmíru v minulosti. Inflačný model ďalej rozvíjal Andrej Linde (1948) a Paul Steinhardt (1952) a ďalší.

1992 - objav fluktuácií reliktného žiarenia. V roku 1989 štartovala družica COBE (COsmic Backgroud Explorer, výskumník kozmického pozadia), ktorá mala za úlohu zistiť, či je šum objavený Penziasom a Wilsonom naozaj reliktovým žiarením z konca Veľkého tresku. Úspech misie bol obrovský. Za prvých 8 minút prevádzky táto družica zmerala teplotu reliktného žiarenia (2,73 K) s relatívnou presnosťou 10^{-3} a premerala závislosť intenzity od vlnovej dĺžky, z ktorej vyplynulo, že ide o reliktové žiarenie. Dodnes ide o najrýchlejšie splnené ciele kozmického programu. Družica COBE ale pracovala až do roku 1993 a najväčší objav na ňu ešte len čakal. V roku 1992 zistila, že reliktové žiarenie má v rôznych smeroch rôznu teplotu. Ide síce o veľmi malé zmeny teploty (až na piatom desatinnom mieste), ale nesmierne dôležité. Tieto fluktuácie sú prvé štruktúry vôbec, ktoré vo vesmíre vidíme už na konci Veľkého tresku a ktoré sa neskôr vyvinuli na dnešné galaxie a skupiny galaxií. Môžeme ich chápať ako akýsi paleolitický odtlačok, ktorý rozvlnená látka vtlačila do obrazu reliktového žiarenia. Dnes sú tieto fluktuácie jedným z najdôležitejších zdrojov informácií o ranom vesmíre. Pri pohľade na ne sa pozeráme na samotný záver obdobia Veľkého tresku. Právom boli autori experimentov na družici COBE, John Mather (1946) a George Smoot (1945) odmenení Nobelovou cenou za fyziku za rok 2006.

1998 - objav zrýchlenej expanzie. Na prelome rokov 1998 a 1999 oznámili dve vedecké skupiny objav zrýchlenej expanzie vesmíru. Jednu z nich viedol Adam Riess (1969) a druhú Saul Perlmutter (1959), obe skupiny využívali na meranie vzdialenosti galaxií supernovy typu Ia, ktoré slúžili ako akési štandardné sviečky. A obe skupiny dospeli k záveru, že vesmír

Moderná kozmológia alebo ako prednášať o kozmológii

v súčasnosti expanduje zrýchlenou expanziou. Tento záver bol neskôr potvrdený aj na základe rozboru fluktuácií reliktového žiarenia a analýzy veľkoškálových štruktúr vo vesmíre. Je zrejmé, že gravitácia ako príťažlivá sila môže expanziu len brzdiť. Za expanziu vesmíru teda v súčasnosti nie je zodpovedná gravitačná interakcia. Čo ale rozfukuje vesmír? Pracovne sme túto entitu, ktorá vyplňa celý vesmír, je homogénna a jej hustota sa buď vôbec alebo len málo mení s časom, nazvali temnou energiou. Na bedrách súčasnej fyziky leží neľahká úloha. Dať tomuto termínu fyzikálny obsah. V hre je niekoľko možností. Môže ísť o dynamické prejavy gravitácie, ktorá má pri veľkých vzdialenostiach úplne iné vlastnosti, ako sme dosiaľ predpokladali. Možno sa objaví aj úplne iné riešenie tohto problému. Temná energia by mala predstavovať približne 73% celkovej hmoty vo vesmíre.

2000 – kvark - gluónová plazma. V európskom stredisku jadrového výskumu CERN sa podarilo v roku 2000 pripraviť látku v stave, v akom sa vo vesmíre nachádzala len 10 mikrosekúnd po jeho vzniku. Zrýchlené jadro olova bolo nastrelené na statický terčik. Uvoľnená energia látku zahrial na teplotu 10^{12}K , teda 100 000 krát vyššiu než vo vnútri Slnka. Jadrá boli natoľko stlačené, že ich hustota vzrástla na dvadsaťnásobok jadrovej hustoty. Za týchto „pekelných“ podmienok došlo k uvoľneniu kvarkov a gluónov z protónov a neutrónov a na krátky okamih vznikla kvark-gluónová plazma. To je forma látky, z ktorej vo vesmíre kedysi neutróny a protóny vznikali. Ukázala sa úplne nová cesta výskumu vesmíru – priame experimenty na najväčších urýchľovačoch sveta. Experimentom tohto typu sa hovorí Malý tresk.

2003 – znalosť základných parametrov. Na slávnostnej tlačovej konferencii dňa 11.februára 2003 boli zverejnené výsledky analýzy fluktuácií reliktového žiarenia zo sondy WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), ktorá štartovala v roku 2001. Ako prvé zariadenie vôbec mala sonda WMAP citlivosť umožňujúcu urobiť tzv. frekvenčnú analýzu fluktuácií (roztriediť ich štatisticky podľa veľkosti). Priemerný fliach reliktového žiarenia na oblohe má veľkosť 1° . Družica COBE mala rozlíšenie 7° , čo neumožnilo sledovanie potrebných detailov, zatiaľ čo WMAP mala uhlové rozlíšenie $0,3^\circ$, čo bolo dostatočné. Z analýzy získanej mapy fluktuácií reliktového žiarenia sa zistilo množstvo dôležitých údajov. Vek vesmíru je 13,7 miliardy rokov, sú v ňom 4% atomárnej látky, 23% temnej hmoty a 73% temnej energie. Reliktové žiarenie sa oddelilo od látky 400 000 rokov po vzniku vesmíru, čím skončil Veľký tresk a začal Temný vek vesmíru. Ten ukončili prvé vznikajúce hviezdy v období približne 400 miliónov rokov po vzniku vesmíru. Vesmír je ako celok s vysokou pravdepodobnosťou plochý a Hubblova konštanta určujúca rýchlosť expanzie má hodnotu $73 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ (dve galaxie vzdialené 1 Mpc, t.j. cca 3 milióny svetelných rokov, sa vzdďaľujú rýchlosťou 73 km/s). Z nepatrných fliachikov na oblohe ľudstvo zistilo presné odpovede na mnohé otázky, ktoré ho doposiaľ trápili.

5. Veľký tresk a ďalší vývoj vesmíru

Od roku 1929 vieme z meraní Edwina Hubbľa, že vesmír expanduje. Predtým musel byť hustejší a teplejší. Samotný počiatok vesmíru je stále zahalený tajomstvom. Ak by sme extrapolovali chovanie vesmíru pomocou všeobecnej relativity, dospejeme k záveru, že na počiatku (v čase 0) mal vesmír nekonečnú hustotu a nekonečnú teplotu. Takému stavu

matematici hovoria singularita. Zrodil sa teda vesmír s počiatočnou singularitou? My fyzici nemáme nekonečnú príliš veľmi radi. Ide o matematickú abstrakciu, ale skutočné nekonečno nikdy nikto v prírode nevidel. A pokiaľ sa nekonečno objaví v nejakej teórii, snažíme sa ho odstrániť. Pri vzniku vesmíru nemožno uvažovať len gravitačnú interakciu (všeobecnú relativitu). V hustom a horúcom vesmíre určite zohrali svoju úlohu aj ostatné tri interakcie. Z mnohých podobných úvah sa ukazuje, že zakomponovanie kvantových interakcií do modelu vesmíru odstráni počiatočnú singularitu. Vesmír nemusel byť singulárny, mohol mať na počiatku síce vysokú, ale aj tak konečnú hustotu a teplotu.

Teória horúceho vzniku sveta z malej hustej oblasti mala spočiatku mnohých odporcov. Jedným z nich bol Fred Hoyle, ktorý posmešne nazval obdobné teórie „veľkým treskom“. Chcel tým naznačiť, že ide o akési tresknutie alebo čľupnutie do vody, ktoré je nezmyselné. Názov sa ale prekvapivo ujal a budúcnosť dala za pravdu zástancom Veľkého tresku. Debaty o existencii či neexistencii Veľkého tresku boli ukončené po zverejnení meraní družice COBE, ktorá preukázateľne detegovala reliktové žiarenie, ktoré má pôvod v samotnom konci Veľkého tresku. Pôvodne bol názov Veľký tresk používaný len pre počiatočnú singularitu. Dnes ho chápeme všeobecnejšie. Pod Veľkým treskom chápeme celé počiatočné obdobie, kedy bol vesmír v plazmatickom stave, niekedy nie úplne správne hovoríme o počiatočnej žeravej guli (po anglicky fireball).

Čo je vlastne **plazma**? Ide o tzv. štvrté skupenstvo hmoty, ktoré prirodzeným spôsobom dopĺňa rad pevná látka – kvapalina – plyn. V plazme sú narušené elektrónové obaly atómov, časť elektrónov sa plazmou voľne pohybuje, sú tu teda prítomné voľné nosiče nábojov. Počet kladných a záporných nábojov (elektrónov a iónov) je rovnaký, a tak sa plazma navonok javí elektricky neutrálne (hovoríme o tzv. kvázineutralite). Vďaka voľným nábojom sa plazma chová ako vodivá tekutina, reaguje kolektívne na elektrické a magnetické polia a sama plazma je schopná ich vytvárať. Tieto **základné vlastnosti plazmy** sa dajú zhrnúť do troch jednoduchých bodov:

- v plazme sú voľné nosiče náboja
- plazma je kvázineutrálna
- plazma vykazuje kolektívne správanie

Na Zemi nájdeme plazmu v kanáloch bleskov, v ionosfére a samozrejme v laboratóriách plazmových fyzikov. Plazma je na našej Zemi v menšine, dominantne prevládajú ostatné 3 skupenstvá látky. Vo vesmíre je to inak.

Na počiatku bol horúci vesmír v plazmatickom stave. Vesmír prudko expandoval a postupne chladol. Približne po 400 000 rokoch ochladol na niekoľko tisíc kelvinov a za týchto podmienok sa elektróny začali spájať s protónmi a jadrami ľahkých prvkov a vo vesmíre vznikali prvé neutrálne atómy. V **plazmatickej ére** elektromagnetické žiarenie silno interagovalo s látkou. Bolo ňou rozptyľované, pohlcované a znovu vyžarované. Žiarenie bolo súčasťou látky v plazmatickom skupenstve a keby sme sa na ňu mohli pozrieť, videli by sme svietiacu nepriehľadnú (snáď opalizujúcu) tekutinu. Zo vznikom neutrálnych atómov sa situácia dramaticky zmenila. Žiarenie s neutrálnym plynom interagovalo minimálne, oddelilo sa od látky a začalo žiť svoj vlastný život. Atomárna látka prestala svietiť, skončil

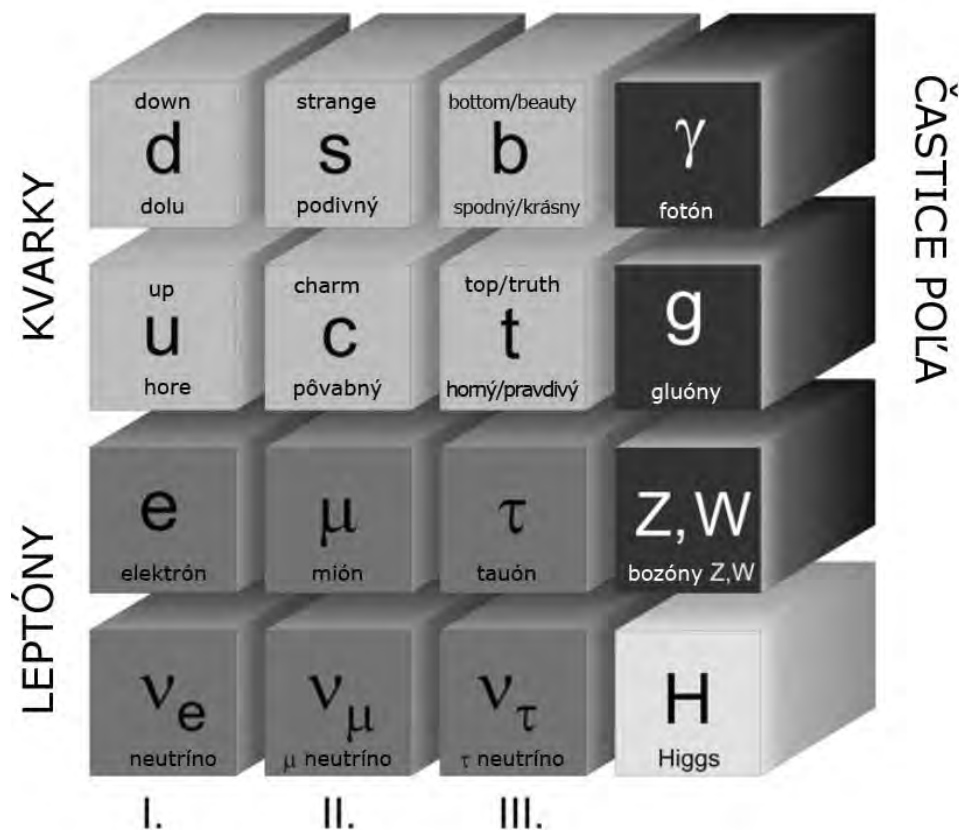
Moderná kozmológia alebo ako prednášať o kozmológii

Veľký tresk a začal Temný vek vesmíru. Ten trval až do obdobia 400 miliónov rokov po vzniku vesmíru, kedy vznikli prvé hviezdy a opätovne ionizovali svoje okolie.

O konci Veľkého tresku často hovoríme ako o sfére posledného rozptylu. Skutočne išlo o posledný rozptyl svetla pred jeho oddelením od látky (plazmy). A slovo svetlo tu bolo skutočne na mieste. Vtedy šlo o svetelné vlny, pretože látka s teplotou niekoľko tisíc kelvinov žiari vo svetelnej oblasti a žiarenie preto malo vlnovú dĺžku niekoľko sto nanometrov, čo je v mikrovlnnej oblasti, ako sme sa už zmienili.

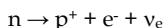
Časticový zverinec

Aby sme pochopili niektoré základné deje v priebehu Veľkého tresku, musíme sa aspoň rámcovo zoznámiť s dnešným svetom elementárnych častíc. Nasledujúce vymenovanie chápte ako akýsi stručný slovník časticovej fyziky.



Leptóny. Ide o skupinu častíc, pri ktorých nebola pozorovaná žiadna štruktúra, javia sa bodovo až do 10^{-18} m, čo je hranica súčasných pozorovacích možností. Ich spin je $\frac{1}{2}$. Najznámejšou časticou z tejto skupiny je stabilný **elektrón**, podlieha slabšej a elektromagnetickej interakcii

a jeho elektrický náboj je rovný $1,6 \times 10^{-19}$ C. Elektrón má dve ťažšie alternatívy: **mión** ($207 m_e$) a **tauón** ($3500 m_e$). Obe častice sa elektrónu veľmi podobajú, majú rovnaký náboj aj rovnaké vlastnosti, ale sú nestabilné. Stredná dĺžka života miónu je 2×10^{-6} s, stredná dĺžka života tauónu je 10^{-13} s. V súčasnosti je všetka látka vybudovaná z elektrónov, mióny sa vyskytujú len v procesoch s vysokou energiou (vznikajú napríklad pri interakcii kozmického žiarenia s hornou vrstvou atmosféry) a tauóny vieme vytvoriť len umelo na urýchľovačoch. V počiatočnom období existencie vesmíru boli ale všetky tri generácie elektrónov zastúpené rovnomerne (1/3 elektrónov, 1/3 miónov a 1/3 tauónov). Neskôr, ako vesmír chladol, sa elektróny druhej a tretej generácie rozpadli. Vznik ľubovoľného elektrónu je vždy sprevádzaný vznikom príslušného antineutrína (počet leptónov sa v bežných procesoch zachováva). Príkladom môže byť **beta rozpad**:



Obdobne pri vzniku antielektrónov (pozitrónu, antimiónu, antitauónu) vznikajú príslušné neutrína. Neutrína nemajú príslušný elektrický náboj, neinteragujú preto elektromagneticky a bežnou látkou prechádzajú. Zem je pre ne takmer ideálne priehľadná. Každým cm^2 povrchu nášho tela prejde za sekundu 60 miliárd neutrín, ktoré vznikli pri termojadrovej syntéze vo vnútri Slnka. Neutrína majú veľmi malú hmotnosť (dosiaľ nie je presne známa), čo spôsobuje ich osciláciu; ide o jav, pri ktorom sa neutríno jedného druhu mení na neutríno iného druhu.

Kvarky. Ide o šesticu bodových častíc, ktoré interagujú elektromagneticky, slabo a silno. Spin všetkých kvarkov je $\frac{1}{2}$. Kvarky majú neceločíselný elektrický náboj a nevyskytujú sa osamote, sú súčasťou zložených častíc. **Všetky častice obsahujúce kvarky nazývame hadróny.** Hadróny delíme na **mezóny** zložené z kvarku a **antikvarku** a **baryóny** zložené z 3 kvarkov. K najznámejším baryónom patrí **protón** (ddu) a **neutrón** (uud). Preto sa atomárnej látke hovorí tiež **baryónová**, lebo je zložená prevažne z baryónov (neutrónov a protónov). Kvarky majú tzv. farebný náboj silnej interakcie alebo farbu. Nejde o skutočnú farbu, ale o kvantovú vlastnosť, ktorou sa odlišujú kvarky, ak ich je v častici viac jedincov rovnakého druhu (napríklad $\Omega^- = sss$). Farba môže nadobúdať hodnoty: červená, zelená, modrá. Zložené častice sú navonok bezfarebné (biele). V baryóne je jeden červený, jeden zelený a jeden modrý kvark. V mezónoch je kvark určitej farby a antikvark, ktorý má príslušnú „antifarbu“, čo dá dohromady opäť bielu. Farebný náboj je pri silnej interakcii analógiou elektrického náboja pri interakcii elektromagnetickej. Kvarky sa, podobne ako leptóny, vyskytujú v troch generáciách. Prvú generáciu tvoria kvarky „d“, „u“, druhú kvarky „s“, „c“ a tretiu kvarky „b“, „t“. V súčasnom bežnom svete sa vyskytujú len častice zložené z prvej generácie kvarkov. Za vysokých energií (napríklad v produktoch interakcie kozmického žiarenia s atmosférou) nájdeme ešte častice s kvarkom „s“ (takéto mezóny nazývame **kaóny**, v prípade baryónov sa ujal názov **hyperóny**). Ostatné kvarky vieme pripraviť len umelou cestou. Na počiatku vesmíru boli ale kvarky všetkých troch generácií zastúpené rovnomerne, podobne ako to bolo pri leptónoch. Kvarky s leptónmi tvoria spolu so svojimi antičasticami základné elementy látky.

Častice poľa. Podľa kvantovej teórie sú za interakcie zodpovedné poľné častice, ktoré si medzi sebou vymieňajú interagujúce elementy. Častice poľa nemôžu nikdy skončiť

Moderná kozmológia alebo ako prednášať o kozmológii

s registračnom prístroji, a tak nemusia spĺňať zákon zachovania hybnosti ani energie. Dva elektróny si napríklad môžu vymeniť poľný fotón, čo spôsobí ich odpudzovanie. Vzhľadom na to, že poľný fotón nespĺňa zákon zachovania hybnosti, môže spôsobiť aj priťahovanie, napríklad pri elektróne a pozitróne. Hybnosť častíc, ktoré vstupujú do reakcie, musí ale byť samozrejme rovná hybnosti častíc, ktoré vystupujú z reakcie. Pri elektromagnetickej reakcii je poľnou časticou fotón. Spôsobuje interakciu, ktorý má ale nekonečný dosah a pôsobí len na elektricky nabitú časticu.

Silnú interakciu spôsobuje osem gluónov. Názov týchto častíc pochádza z anglického glue (lepiť). Ide o akési spojivo či lepidlo, ktoré drží pohromade kvarky v hadrónoch. A je to prazvláštne lepidlo. Pokiaľ majú kvarky veľkú energiu (môžu sa k sebe dostať blízko), toto lepidlo takmer nelepiť a kvarky sa správajú ako voľné častice. Hneď ako sa ale od seba dva kvarky vzdialia viac než 10^{-15} m, začne gluónové lepidlo pôsobiť a silno spojovať kvarky dohromady. Je to podobné ako gumový opasok; keď je zmotaný, nepôsobí na jeho koncoch žiadna sila. Keď ho ale natiahneme, začne sila pôsobiť. Príkladom môžu byť neutróny a protóny, v ktorých je gluónovým spojivom uväznená trojica kvarkov. Gluóny sú zodpovedné aj za súdržnosť atómového jadra ako celku. Dosah silnej interakcie je 10^{-15} m, nábojom silnej interakcie je farba. Na rozdiel od elektromagnetickej interakcie, v ktorej fotón nemá náboj interakcie, pri silnej interakcii majú farbu aj gluóny. Práve tým sa silná interakcia výrazne odlišuje od elektromagnetickej.

Slabú interakciu spôsobujú častice poľa W_+ , W_- a Z_0 . Dve z nich sú nabité a môžu pri interakcii častíc odniesť elektrický náboj. Jedna z častíc poľa slabej interakcie (Z_0) náboj nemá. Slabá interakcia má dosah cca 10^{-17} m, typickým príkladom je beta rozpad, rozpad miónu alebo rozpad lambda hyperónu. Slabou interakciou môže tiež byť tu a tam zachytené neutríno vo vodnej nádrži, čo sa využíva pri jeho detekcii.

Gravitačná interakcia nezapadá do kvantovej schémy. Gravitáciu vieme popísať len v rámci pokriveného sveta Alberta Einsteina. Predpokladá sa, že keď raz vznikne kvantová teória gravitácie, časticou poľa bude hypotetický gravitón. Ten zatiaľ v našej schéme chýba.

Higgsov bozón. Ide o zatiaľ jedinú neobjavenú časticu štandardného modelu elementárnych častíc. V teórii zjednotenia elektromagnetickej a slabej interakcie spôsobuje táto častica nenulovú hmotnosť častíc poľa slabej interakcie a tým jej konečný dosah.

Fermióny. Ide o súhrnný názov pre častice, ktoré sú „neznášateľné“. To znamená, že dve takéto častice nemôžu obsadiť rovnaký kvantový stav (tzv. Pauliho vylučovací princíp). K fermiónom patria všetky elementárne častice látky, t.j. kvarky a leptóny. Typickým zástupcom rodiny fermiónov je teda elektrón. Našťastie nemôže nastať situácia, že by si všetky elektróny „sadli“ do rovnakého kvantového stavu. Potom by totiž atómy všetkých prvkov (ortuť, bróm, vodík, zlato...) mali celkom náhodné vlastnosti a náš svet by bol nesmierne chudobný. Vďaka „neznášateľnosti“ elektróny postupne zaplňujú stavy v atómovom obale a rôzne prvky tak majú rôzne vlastnosti. Fermióny sú pomenované podľa talianskeho fyzika Enrica Fermiho (1901–1954). Počet fermiónov sa v prírode zachováva.

Pre odborníkov: fermióny majú poločíselný spin, vlnovú funkciu antisymetrickú vzhľadom k zámene častíc, podliehajú Fermiho-Diracovej štatistike a ich kreačné operátory spĺňajú antikomutačné relácie.

Bozóny. Ide o súhrnný názov pre častice, ktoré sú „znášateľné“. To znamená, že dve takéto častice môžu byť v rovnakom kvantovom stave (nespĺňajú tzv. Pauliho vylučovací princíp). K bozónom patria všetky častice poľa a Higgsove častice. Typickým zástupcom rodiny bozónov je fotón. Bozóny sú pomenované podľa indického fyzika Satyendry Boseho (1854–1948). Počet bozónov sa v prírode nezachováva. Skúste večer stlačiť vypínač osvetlenia. Miestnosť hneď zaleje prúd fotónov, ktoré tu predtým neboli.

Pre odborníkov: bozóny majú celočíselný spin, vlnovú funkciu symetrickú vzhľadom k zámene častíc, podliehajú Boseho-Einsteinovej štatistike a ich kreačné operátory spĺňajú komutačné relácie.

Antičastice. Ku každej častici by mala existovať antičastica, ktorá má opačné kvantové charakteristiky. Napríklad k elektrónu existuje pozitron, ktorý má opačný (kladný) elektrický náboj. Jeho existenciu predpovedal Paul Dirac (1902–1984) v roku 1928 a v kozmickom žiarení ho objavil Carl Anderson (1905–1991) v roku 1932. Išlo o prvú predpovedanú a objavenú antičasticu. Látku zloženú z antičastíc nazývame antihmota. Umelo dokážeme vyrobiť antivodík (CERN, Fermilab). Vo vesmíre sporadicky nájdeme niektoré antičastice, ale nikdy nebol detegovaný žiadny antiatóm. Pre túto asymetriu medzi hmotou a antihmotou vo vesmíre musíme hľadať príčiny.

Zjednocovanie interakcií

Intenzita interakcií (presnejšie väzbová konštanta) sa s energiou mení. Za vysokých energií sa väzbové konstanty začínajú podobať, interakcie sa prejavujú jednotným spôsobom. Vo vesmíre na počiatku pravdepodobne existovala jediná prainterakcia a ako vesmír chladol, postupne sa interakcie od seba oddeľovali. Na urýchlňovačoch postupujeme opačnou cestou. S každým desaťročím sa zvyšuje energia dosiahnuteľná v urýchlňovačoch. V súčasnosti nie je problém vytvoriť častice s energiami, pri ktorých sa elektromagnetická a slabá interakcia správajú jednotným spôsobom ako tzv. **elektroslabá interakcia**.

Javy elektrické a magnetické

Z mnohých experimentov sa v 18. a 19. Storočí ukázalo, že javy elektrické a magnetické majú rovnakú podstatu. Prispeli k tomu pokusy André Ampera (1775–1836), Hansa Öersteda (1777–1851), Heinricha Hertza (1857–1894), Michaela Faradaya (1791–1867), Charlesa Coulomba (1736–1806) a ďalších. Tento trend bol zavŕšený vznikom klasickej elektrodynamiky roku 1873, ktorej tvorcom sa stal James Clerk Maxwell (1831–1879). Jeho rovnice neskôr upravili do vhodnejšej podoby Oliver Heaviside (1850–1925) a Heinrich Hertz (1857–1894).

Elektroslabá interakcia

Pri energiách častíc vyšších ako 10^2 GeV sa interakcia slabá a elektromagnetická správajú ako jedna jediná elektroslabá interakcia. Vo vesmíre, ktorý postupne chladol, došlo pri tejto energii k narušeniu symetrie elektroslabej interakcie a k oddeleniu slabej interakcie od elektromagnetickej. Jednotnú teóriu elektroslabej interakcie navrhli Abdus Salam (1926–1996),

Moderná kozmológia alebo ako prednášať o kozmológii

Steven Weinberg (1933) a Sheldon Glashow (1932). Do teórie museli začleniť Higgsovo pole (dosiaľ neobjavenú Higgsovu časticu), ktoré je zodpovedné za narušenie elektroslabej interakcie a za nenulovú hmotnosť častíc poľa slabej interakcie. Higgsova častica je pomenovaná po škótskom teoretickom fyzikovi Higgsovi (1929), ktorý mechanizmus narušenia navrhol. Častice poľa slabej interakcie objavili na prelome rokov 1983/1984 v Európskom stredisku jadrového výskumu CERN Carlo Rubbia (1934) a van der Meer (1925).

Silná interakcia a Veľké zjednotenie (GUT)

Prvú teóriu silnej interakcie navrhol Hideki Yukawa (1907–1981) už v roku 1935. Na súčasnej podobe teórie silnej interakcie (kvarky uväznené gluónovým spojivom) sa podieľali predovšetkým Frank Wilczek (1951), David Gross (1941) a David Politzer (1941). Silná interakcia sa pri energiách nad 10^{14} GeV chová spolu s elektroslabou interakciou ako jedna jediná interakcia, tzv. GUT interakcia (Grand Unified Theory, Veľké zjednotenie). Táto energia nie je na našich urýchľovačoch dosiahnuteľná. Mali by pri nej podľa našich predstáv vznikať exotické častice poľa X a Y, ktoré by mali byť schopné meniť kvarky na leptóny podľa schémy

$$\begin{aligned}\text{kvark} &\leftrightarrow \text{antileptón}, \\ \text{antikvark} &\leftrightarrow \text{leptón}.\end{aligned}$$

Teória všetkého (TOE)

Predpokladáme, že pri teóriách vyšších ako Planckova (10^{19} GeV) by sa mali všetky štyri interakcie spojiť do jednej jedinej „prainterakcie“. Hodnotu Planckovej energie získame kombináciou základných konštánt (rýchlosti svetla, gravitačnej konštanty a Planckovej konštanty). Obdobne môžeme získať Planckov čas a Planckovu dĺžku (ešte sa s nimi stretneme):

$$\begin{aligned}E_P &\approx 10^{19} \text{ GeV}, \\ t_P &\approx 10^{-43} \text{ s}, \\ l_P &\approx 10^{-35} \text{ m}\end{aligned}$$

V súčasnosti sú o tomto zjednotení len rámcové predstavy, k cieľu možno povedie tzv. teória strún v mnohorozmernom svete. Pracovne sa budúca teória všetkých interakcií nazýva TOE (Theory of Everything, Teória všetkého).

Časová os

Ak sa zaoberáme ranými fázami Veľkého tresku, mali by sme vždy mať na pamäti, že do času približne 10^{-13} s sú naše predstavy overiteľné pri zrážkach jadier na urýchľovačoch. V kratších časoch ide len o hypotézy a čím bližšie k počiatku, tým neistejšie naše predstavy sú. Nasledujúce teploty, časy a popisy dejov preto chápť len rámcovo, hlavne ak ide o časy extrémne krátke.

10^{-43} s, oddelenie gravitácie

$T \approx 10^{32}$ K, $E \approx 10^{19}$ GeV, $\rho \approx 10^{94}$ g/cm³. Ide o Planckov čas, častice majú Planckovu energiu. V tomto období by sa mala z pôvodnej prainterakcie oddeliť gravitačná interakcia. Vo vesmíre dominuje žiarenie, sú tu kvarky, leptóny, častice poľa a pravdepodobne aj ďalšie, pre nás exotické častice, napríklad častice X a Y schopné meniť kvarky na leptóny a opačne. V dôsledku existencie týchto častíc

by mal byť protón nestabilný, jednako sa jeho polčas rozpadu odhaduje na väčší než 10^{33} rokov. Je možné, že energia uvoľnená pri oddelení gravitácie spôsobila prudkú expanziu vesmíru (infláciu).

10⁻³⁵ s, oddelenie silnej interakcie

$T \approx 10^{27}$ K, $E \approx 10^{14}$ GeV. V tomto období by malo dôjsť k oddeleniu silnej interakcie od ostatných. S tým môže byť opäť spojená následná inflácia a ohriatie vesmíru uvoľnenou energiou. Častice X a Y sa rozpadajú na kvark-antikvarkové páry alebo na dvojice antikvarkov a leptónov. Antičastice X a Y sa rozpadajú na dvojice kvarkov a antileptónov. Súčasne pri interakcii kvarkov, antikvarkov, leptónov a antileptónov vznikajú opätovne častice X a Y. Častice X a Y sú v termodynamicknej rovnováhe s kvarkmi a leptónmi.

10⁻³⁰ s, narušenie symetrie medzi hmotou a antihmotou

$T \approx 10^{25}$ K, $E \approx 10^{12}$ GeV. Energia klesá pod prahovú energiu nutnú pre samovoľný vznik častíc X a Y. Bozóny X a Y sa postupne rozpadajú na dvojicu antikvarkov a leptónov, antibozóny X a Y sa dvojicu kvarkov a antileptónov. Procesy prechodu medzi leptónmi a kvarkmi prebiehajú mierne asymetricky a postupne ustávajú. V reakciách *kvark* $\leftrightarrow$ *antileptón* a *antikvark* $\leftrightarrow$ *leptón* nepatrne prevládne smer *kvark* $\leftarrow$ *antileptón* a *antikvark* $\rightarrow$ *leptón*. Tým v budúcnosti dôjde k nadvláde hmoty nad antihmotou. V tejto chvíli sa však na miliardu reakcií v oboch smeroch vyskytne len jedna navyše v prospech hmoty (pomer 1 000 000 000 : 1 000 000 001).

10⁻¹⁰ s, oddelenie slabej interakcie

$T \approx 10^{15}$ K, $E \approx 10^2$ GeV. Dochádza k narušeniu elektrosľabej symetrie vplyvom dosiaľ neobjavených Higgsových častíc a následnému oddeleniu slabej interakcie od elektromagnetickej. Od tohto okamihu majú všetky 4 interakcie vlastnosti, aké poznáme z našich experimentov. Vesmír je stále zložený z kvarkov, leptónov, častíc poľa a častíc vznikajúcich pri zrážkach ktoré zodpovedajú energii 10^2 GeV.

10⁻⁵ s, hadronizácia látky

$T \approx 10^{13}$ K, $E \approx 1$ GeV. Energia poklesla natoľko, že jej zodpovedajúca priemerná vzdialenosť medzi kvarkmi je väčšia ako 10^{-15} m. Končí éra voľných kvarkov (kvark-gluónovej plazmy). Od tejto chvíle gluóny pospájajú kvarky do dvojíc (mezónov) a trojíc (baryónov). Počet vzniknutých častíc a antičastíc zostáva v pomere 1 000 000 001 : 1 000 000 000. Pri následnom procese anihilácie spolu baryóny a antibaryóny anihilujú za vzniku žiarenia a leptónov. Z každej miliardy baryónov a antibaryónov zostane vo vesmíre jediný baryón. A z týchto zostávajúcich baryónov je vytvorená súčasná atomárna látka vo vesmíre.

1 s, oddelenie neutrín.

$T \approx 3 \times 10^{10}$ K, $E \approx 1$ MeV. Stredná voľná dráha neutrín narástla natoľko, že prestávajú interagovať s látkou. Do tejto doby boli vďaka zrážkam v termodynamicknej rovnováhe s ostatným žiarením a hmotou. Od tejto chvíle neutrína žijú vlastným životom a postupne chladnú. Dnes by reliktové neutríno malo mať teplotu okolo 2 K, hustotu 300 neutrín na cm^3 a niesť v sebe obraz vesmíru z doby jeho oddelenia. Doposiaľ prebiehala intenzívna slabá interakcia medzi neutrínami, elektrónmi, neutrónmi a protónmi. Neutróny a protóny

Moderná kozmológia alebo ako prednášať o kozmológii

sa vzájomne premieňali a bolo ich rovnaké množstvo. Teraz prevláda rozpad neutrónov nad ich tvorbou a ich počet začína oproti protónom klesať. Stredná dĺžka života voľného neutrónu je necelých 15 minút. Začína boj neutrónov o holý život. Ten neutrón, ktorý si zachytí protón a stane sa súčasťou atómového jadra, zostane stabilný. Voľné neutróny sa časom rozpadnú.

10 sekúnd, anihilácia elektrónov a pozitronov

T = 5×10^9 K, E = 500 000 eV. Nad touto teplotou sú elektróny a pozitrony v rovnováhe so žiarením a prebieha rovnaký počet anihilačných procesov aj kreačných procesov: elektrón + pozitron $\leftrightarrow$ žiarenie. V tomto okamihu po prvýkrát prevláda anihilácia, mizne elektrón-pozitronová plazma. Z anihilujúcich párov vzniká žiarenie, ktoré zahreje celý vesmír (okrem už oddelených neutrín). Teplota vesmíru bude nakoniec o 40% vyššia ako teplota reliktových neutrín. Vďaka slabému nadbytku hmoty nad antihmotou zostane na každú miliardu anihilovaných elektrónov a pozitronov jeden nadbytočný elektrón. Ten oveľa neskôr poslúži pri stavbe atómových obalov. Naďalej klesá počet neutrónov vzhľadom k protónom, spôsobený ich rozpadom.

4 minúty, tvorba ľahkých jadier

T = 9×10^8 K, E = 90 000 eV. Táto energia je väzbovou energiou deutéria. Nad teplotou 9×10^8 K žiarenie zabránilo spájaniu neutrónov a protónov k sebe. Od tohto okamihu môže časť neutrónov a protónov vytvárať dvojice - atómové jadrá (samozrejme bez obalov). Je odštartovaný proces tvorby ľahkých prvkov. Stav nukleónov: 13% neutrónov a 87% protónov. Ďalej sa už pomer nebude meniť, neutróny prestávajú existovať ako voľné neutróny, a preto sa naďalej nerozpadajú. Tomu zodpovedá vznik 29% hélia a 74% vodíka. Vodík sa v dnešnom vesmíre skladá z 94% izotopu H a 6% izotopu D. V malom množstve mohli prvky vzniknúť už pred touto teplotou. Ťažšie prvky v tomto období nevznikajú, na ich vznik nie je dostatok času, vesmír rýchlo expanduje a zrážky prestávajú byť efektívne. Prvotvorné obdobie je veľmi krátke (3 až 5 minút po vzniku sveta). V časoch kratších je pre vznik prvkov vesmír príliš horúci, v neskorších časoch príliš riedky.

400 tisíc rokov, tvorba atómových obalov

T = 4 000 K, E = 0,4 eV. Teplota poklesla natoľko, že elektróny začínajú vytvárať atómové obaly, prestávajú existovať voľné elektróny, na ktorých dochádzalo k rozptylu fotónov. V dôsledku toho žiarenie prestáva interagovať s hmotou a oddeľuje sa od látky. Toto elektromagnetické žiarenie nazývame reliktové žiarenie a dnes má teplotu 2,73 K. Teplota tohto žiarenia je cca o 40% vyššia ako teplota reliktových neutrín (bolo zohriate pri procese anihilácie). Končí éra Veľkého tresku a začína tzv. Temný vek vesmíru.

400 miliónov rokov, vznik hviezd

T = 100 K, E = 10 meV. Obdobie prudkej tvorby veľmi hmotných hviezd (megahviezd). Vo veľkom množstve vznikajú obrie hviezdy nulte generácie s veľmi rýchlym vývojom. Už nikdy v budúcnosti nebude produkcia hviezd natoľko intenzívna a ich životný cyklus taký krátky. Látka vo vesmíre je znovu ionizovaná prenikavým žiarením vzniknutých hviezd, končí Temný vek vesmíru. Vo vnútri prvých megahviezd vznikajú ťažké prvky až po železo (má

najvyššiu väzbovú energiu) a tie sú rozmetané do okolia v následných explóziách supernov. V explodujúcich obálkach prebieha zlučovanie aj na prvky ťažšie ako železo.

5 miliárd rokov, počiatok zrýchlenej expanzie

S expanziou najrýchlejšie klesá hustota žiarenia ($1/R^4$) pre častice s nulovou pokojovou hmotou, pomalšie hustota látky ($1/R^3$). Hustota temnej energie s expanziou podľa našich poznatkov neklesá. Tým sa samozrejme mení percentuálne zastúpenie jednotlivých zložiek vo vesmíre. Na počiatku dominovalo žiarenie (Éra žiarenia, do 400 000 rokov), potom dominovala látka (Éra látky, 400 000 až 5 miliárd rokov) a nakoniec prevládla temná energia (Éra temnej energie, od cca 5 miliárd rokov), ktorá spôsobuje zrýchlenú expanziu vesmíru.

14 miliárd rokov, dnes

Vo vesmíre je 73% temnej energie, 23% temnej hmoty a 7% atomárnej látky, z ktorej vznikli hmloviny, hviezdy, galaxie a kopy galaxií. Na jednej z mnohých planét obiehajúcej jednu z mnohých hviezd v jednej z mnohých galaxií sa objavil človek, ktorý premýšľa o tom, prečo je vesmír taký, aký je.



6. Pozorovacie dôkazy štandardného modelu

Štandardným kozmologickým modelom nazývame model založený na horúcom pôvode vesmíru, v priebehu ktorého bol vesmír v plazmatickom skupenstve. Ako vesmír postupne chladol, vytvárali sa jednotlivé štruktúry až po dnešné galaxie a kopy galaxií. Slovné

Moderná kozmológia alebo ako prednášať o kozmológii

spojenie „štandardný model“ sa ale vyskytuje aj v iných vedných disciplínach, používa sa napríklad v časticovej fyzike pre model častíc obsahujúcich leptóny, kvarky, častice poľa a Higgsovu časticu.

Pre štandardný kozmologický model máme v súčasnosti množstvo experimentálnych dôkazov. O niektorých z nich sme sa už zmienili, išlo napríklad o Hubblov objav expanzie vesmíru v roku 1929 alebo o objav reliktového žiarenia v roku 1965. V tejto časti sa s niektorými dôležitými pozorovacími dôkazmi štandardného kozmologického modelu zoznámime podrobnejšie.

Priame pozorovania štruktúr

Za prvé priame kozmologické pozorovanie možno označiť Hubblovo pozorovanie expanzie vesmíru v roku 1929. Od tej doby sa možnosti pozorovacej techniky značne zlepšili. Existuje mnoho rutinných automatických prehliadok oblohy, robia sa špecializované snímky veľmi vzdialených oblastí (hovorí sa im hlboké polia), vyhľadávajú sa vzdialené galaxie a kvazary, atď.

Hubblovo hlboké pole

Hubblovo hlboké pole (HDF, Hubble Deep Field) je naozaj mimoriadna snímka. V roku 1995 bolo vybrané „najobyčajnejšie“ miesto na oblohe, v ktorom na prvý pohľad nebolo nič zaujímavé. Malo rozmery $3' \times 3'$ (Mesiac má uhlový rozmer $30'$) a nachádzalo sa v súhvezdí Veľká medvedica. Hubblov vesmírny teleskop spravil 342 snímok tohto miesta v dňoch 18.12.1995 až 28.12.1995 pomocou kamery WFPC2. Čas expozície bol 15 až 40 minút. Snímky boli fotografované v rôznych oboroch spektra a počítačom zložené do jedinej snímky, ktorá bola zverejnená 15.1.1996. Vtedy šlo o najdetailnejšiu dosiahnutú snímku vesmíru, v ktorej bolo objavených 1 500 galaxií v rôznych stupňoch vývoja, niektoré priamo pri svojom zrode.

Krátko po tom, ako bola získaná snímka HDF vo Veľkej medvedici, sa začalo uvažovať o rovnakom pokuse uskutočnenom na južnej oblohe rovnakým ďalekohľadom. Tentoraz sa Hubble svojím dvaapolmetrovým skleným okom pozrel do súhvezdia Tukan. Pole bolo (rovnako ako na severnej pologuli) zvolené tak, aby nerušili slabé hviezdy Mliečnej dráhy ani žiadna blízka skupina galaxií. Snímka bola spravená v októbri 1998, expozícia prebiehala opäť 10 dní a snímka sa označuje HDF-S (Hubble Deep Field South).

Mnoho objektov hlbokého poľa je kozmologickým červeným posuvom posunutých do infračervenej oblasti. Preto bolo hlboké pole znovu exponované infračervenou kamerou NICMOS Hubblovho teleskopu v roku 1998. Boli pozorované zhľuky až 12 miliárd rokov staré a zárodky hviezd vo vzdialených obrích galaxiách.

Obdobné snímky ako HDF a HDF-S boli získané aj inými prístrojmi. Menujme napríklad AXAF Deep Field, NTT Deep Field a Chandra Deep Field snímané v röntgenovom obore.

Prirodzeným pokračovaním týchto snáh bola snímka Hubblove ultrahlboké pole (HUDF, Hubble Ultra Deep Field). Výsledná fotografia bolo zložená z 800 snímok exponovaných v priebehu septembra 2003 a januára 2004 kamerami ACS a NICMOS na Hubblovom teleskope. Celková expozičná doba bola zhruba 1 milión sekúnd, t.j. 11 dní čistého času. Jedna expozícia

trvala v priemere 20 minút. Ďalekohľad obletel pri snímkovaní Zem 400krát. Snímkované pole malo veľkosť $202'' \times 202''$ a nachádzalo sa v súhvezdí Pec. Na snímke vidno 10 000 galaxií v rôznych vývojových štádiách, asi stovka z nich je stará 13 miliárd rokov a patria k najstarším galaxiám vesmíru vôbec. Ľudstvu sa touto snímkou podarilo dovidieť až k samým počiatkom nášho vesmíru.

Snímky HDF a HDF-S odštartovali veľa ďalších projektov, ktoré veľmi starostlivo sledujú určitú časť oblohy vymenujme napríklad projekty GOODS, GEMS a COSMOS.

Projekt GOODS (Great Observatories Origins Deep Survey) je program zameraný na sledovanie vývoja veľmi starých objektov, vedľajším produktom je množstvo pozorovaní supernov SN Ia. Do projektu sú zapojené 4 vynikajúce vesmírne ďalekohľady: HST (vizuálny obor), SST (infračervený obor), Chandra (röntgenový obor) a XMM Newton (röntgenový obor). Na pozorovanie boli vybrané dve malé oblasti oblohy ($20' \times 16'$): na severnej oblohe vo Veľkej medvedici a na južnej oblohe v súhvezdí Pec.

Projekt GEMS (Galaxy Evolution from Morphology and Spectral Energy Distributions) zahŕňa plochu 900 štvorcových minút, ktorá je sledovaná pomocou kamery ACS na Hubblovom teleskope. Táto oblasť je centrovaná na Južné hlboké pole observatória Chandra. Projekt GEMS zahŕňa 10 000 galaxií do 24 magnítúdy.

Od roku 2001 prebieha časopriestorová prehliadka vo vybranej oblasti oblohy pod názvom **COSMOS** (Cosmic Evolution Survey). Prehliadka oblohy na časopriestorovej škále miliárd svetelných rokov je základom pre poznávanie vývoja galaxií a kôp galaxií. Ide o prvý pokus zmapovať vývoj vesmíru v takom obrovskom meradle. Zo skreslenia obrazov vzdialených objektov sa v projekte COSMOS dopočítava priestorové rozloženie temnej hmoty, ktorá je kľúčová pre štruktúru vesmíru. Výsledkom je časopriestorová mapa temnej hmoty, ktorý zaberá zhruba 3×3 priemery Mesiaca a tiahne sa do hĺbky 6,4 miliardy svetelných rokov. Priestorová mapa vznikla zlúčením 575 obrazových polí získaných Hubblovým teleskopom pomocou širokouhľých kamier ACS a WFPC. Dáta boli získané behom 1 000 hodín pozorovacieho času. Na vytvorenie mapy boli použité skreslené obrazy 500 000 vzdialených galaxií. Vzdialenosti galaxií boli určené spektroskopicky pomocou ďalekohľadov SUBARU na Havaji a VLT v Chile. Na priestorové rozloženie medzigalaktického plynu poslúžili pozorovania röntgenového ďalekohľadu XMM Newton.

Celooblohové prehliadky

Existuje zhruba desiatka projektov, ktorých cieľom je mapovanie veľkorozmerových štruktúr vo vesmíre. Ukazuje sa, že na najväčších škálach tvoria kopy galaxií steny a vlákna, medzi ktorými je relatívne prázdny priestor (aspoň čo sa atomárnej látky týka). Tieto projekty spravidla automaticky deň čo deň skenujú oblohu a zaznamenávajú stovky tisíc galaxií. Pri niektorých z nich premeriavajú spektrá a ďalšie charakteristiky. K vôbec najrozsiahlejším prehliadkam tohto druhu patrí Sloanova digitálna prehliadka oblohy (**SDSS**, Sloan Digital Sky Survey). Projekt je podporovaný nadáciou Alfreda Pritcharda Sloana, ktorá bola založená v roku 1934. Sloan (1875-1976) bol americký obchodník a výkonný riaditeľ spoločnosti General Motors viac ako dvadsať rokov. Sloanova nadácia podporuje taktiež vedu a školstvo. Projekt

Moderná kozmológia alebo ako prednášať o kozmológii

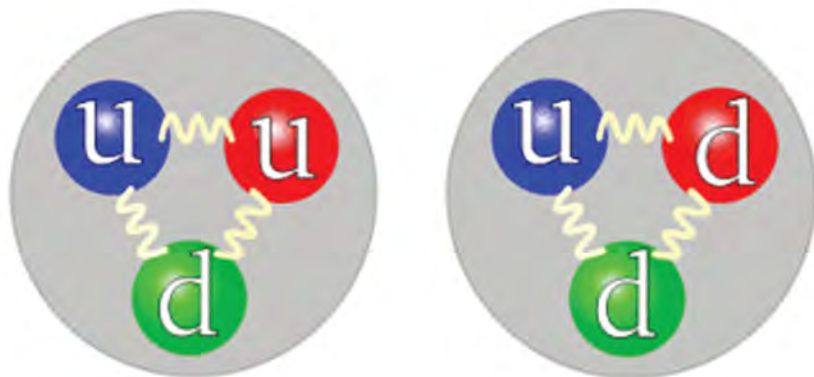
katalogizuje od roku 2000 všetky galaxie s medznou jasnosťou do 23. magnitúdy na štvrtine severnej oblohy. Prehliadka zahŕňa asi 5000 miliónov galaxií a ešte viac hviezd. U každej galaxie je určená pozícia, jasnosť, farba. Pre asi milión galaxií a 100 000 kvazarov sú získané spektrá. Stanica SDSS je postavená v Novom Mexiku v Sacramento Mountains na observatóriu Apache Point. Hlavným prístrojom projektu SDSS je ďalekohľad s priemerom primárneho zrkadla 2,5 metra.



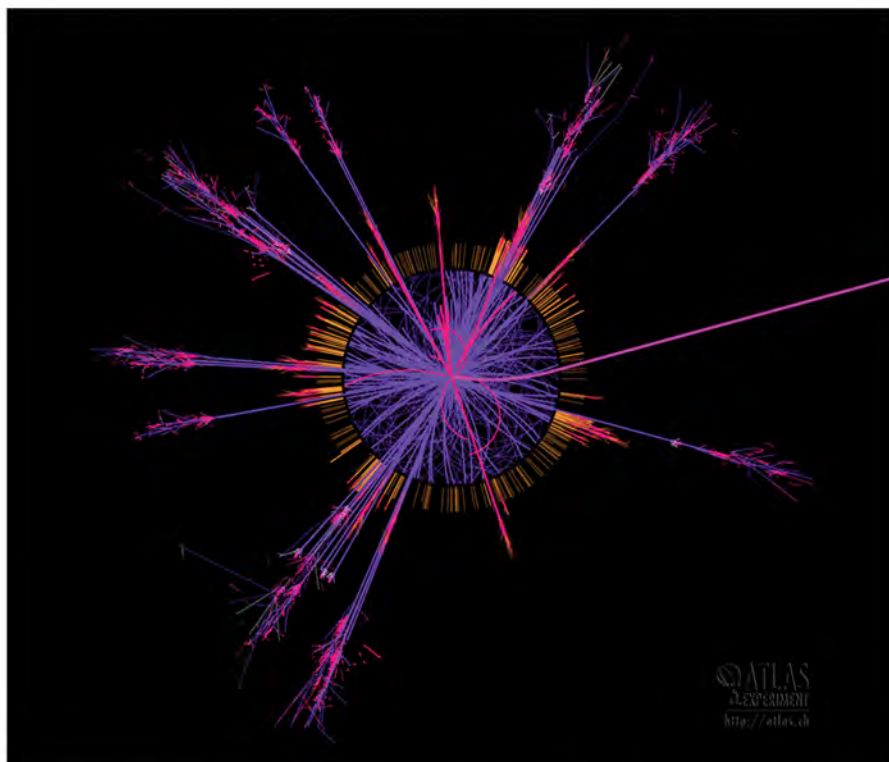
Ďalším významným prehliadkovým projektom bola prehliadka **2dFGR** (2 degree Field Galaxy Redshift Survey, prehliadka červených posuvov galaxií so zorným poľom 2°). Projekt fungoval v rokoch 1997 až 2002. Pomocou unikátneho spektrografu 2dF (Two degree Field) pripojeného k ďalekohľadu AAT boli vyhotovené spektrá viac než 260 000 galaxií. Anglicko-austrálsky ďalekohľad AAT (Anglo Australian Telescope) má zrkadlo s priemerom 3,9 metrov a je umiestnený od roku 1974 na Anglo-austrálskom observatóriu (AAO, Anglo Australian Observatory) v Austrálii v nadmorskej výške 1150 m. Spektrograf získaval v poli o veľkosti 2° naraz spektrá 400 objektov.

Treťou najrozsiahlejšou celooblohovou prehliadkou bol projekt **6dFGS** (Six-degree-Fields Galaxy Survey, prehliadka galaxií so zorným poľom 6°). Prehliadka prebiehala v rokoch 2001 až 2009 na Anglo-austrálskom observatóriu na Schmidtovom ďalekohľade so zrkadlom s priemerom 1,2 m. Prehliadka sledovala takmer polovicu celej oblohy, získala spektrá 136 000 galaxií a zisťovala objemové pohyby galaxií v miestnej časti vesmíru.

Z neoptických prehliadok menujme napríklad **2MASS** (Two Micron All Sky Survey, celooblohová prehliadka na vlnovej dĺžke dva mikrometre). Prehliadka bola vykonávaná automaticky dvoma ďalekohľadmi s priemerom 1,3 metra umiestnenými na Mt. Hopkins (Arizona) a na Cerro Tololo (Chile). Prehliadka bola vykonávaná v pásmach J (1,25 μm), H (1,65 μm) a K (2,17 μm) v rokoch 1997 až 2001.

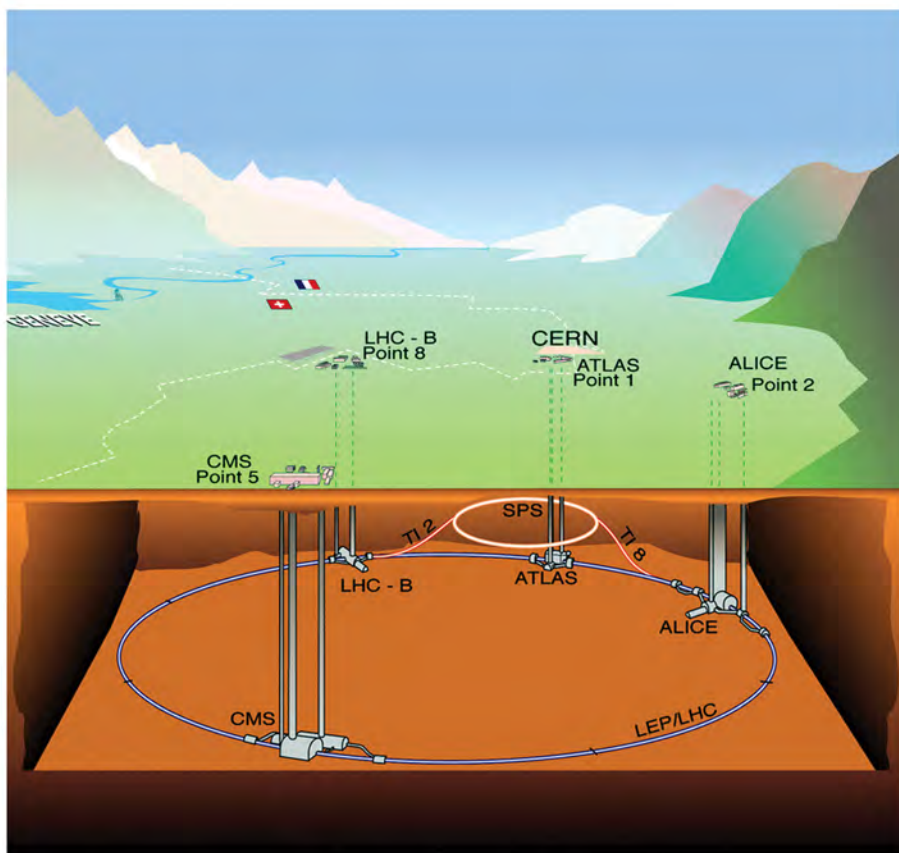


Kvarková štruktúra protónu (vľavo) a neutrónu (vpravo). © Arpad Horvath

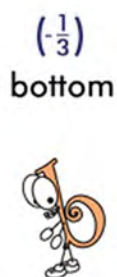
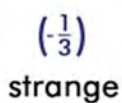


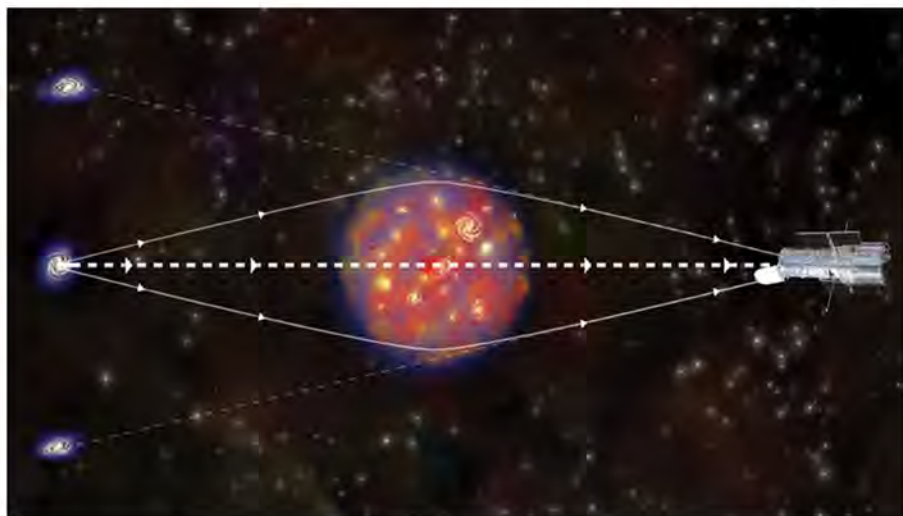
Simulácia vzniku mikroskopickej čiernej diery v detektore ATLAS pri zrážke dvoch protónov.

ATLAS Experiment © 2011 CERN

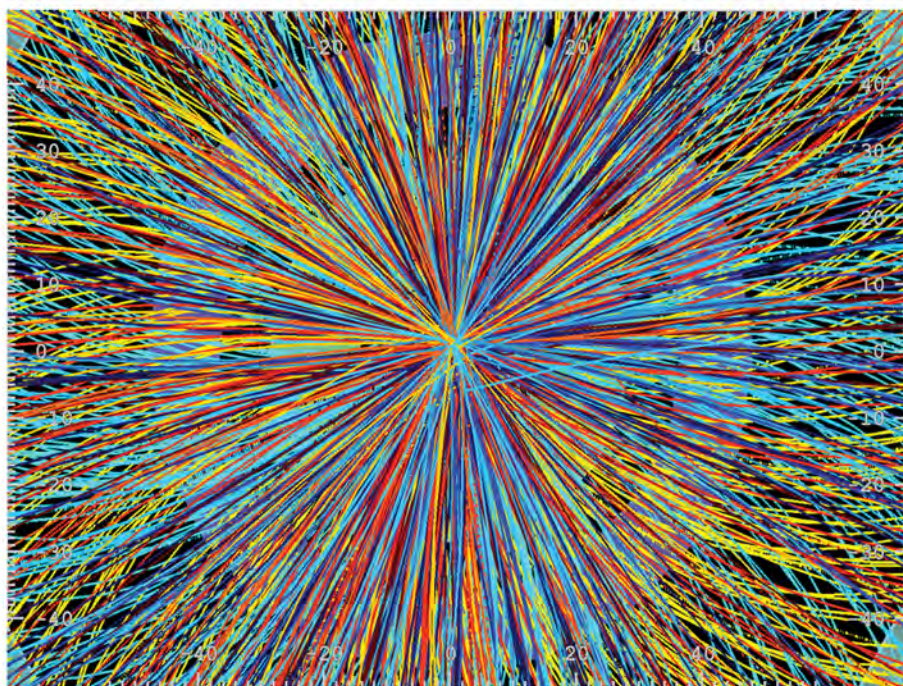


Štyri hlavné experimenty na LHC. © 1999 CERN





Gravitačná šošovka. Vzniká viacnásobný obraz vzdialeného objektu.
NASA/CXC/M.Weiss



Prvá zrážka iónov olova zaznamenaná na detektore ALICE. Množstvo čiar predstavuje rekonštrukciu trajektórií jednotlivých častíc a farebná škála ich energie. ALICE/CERN



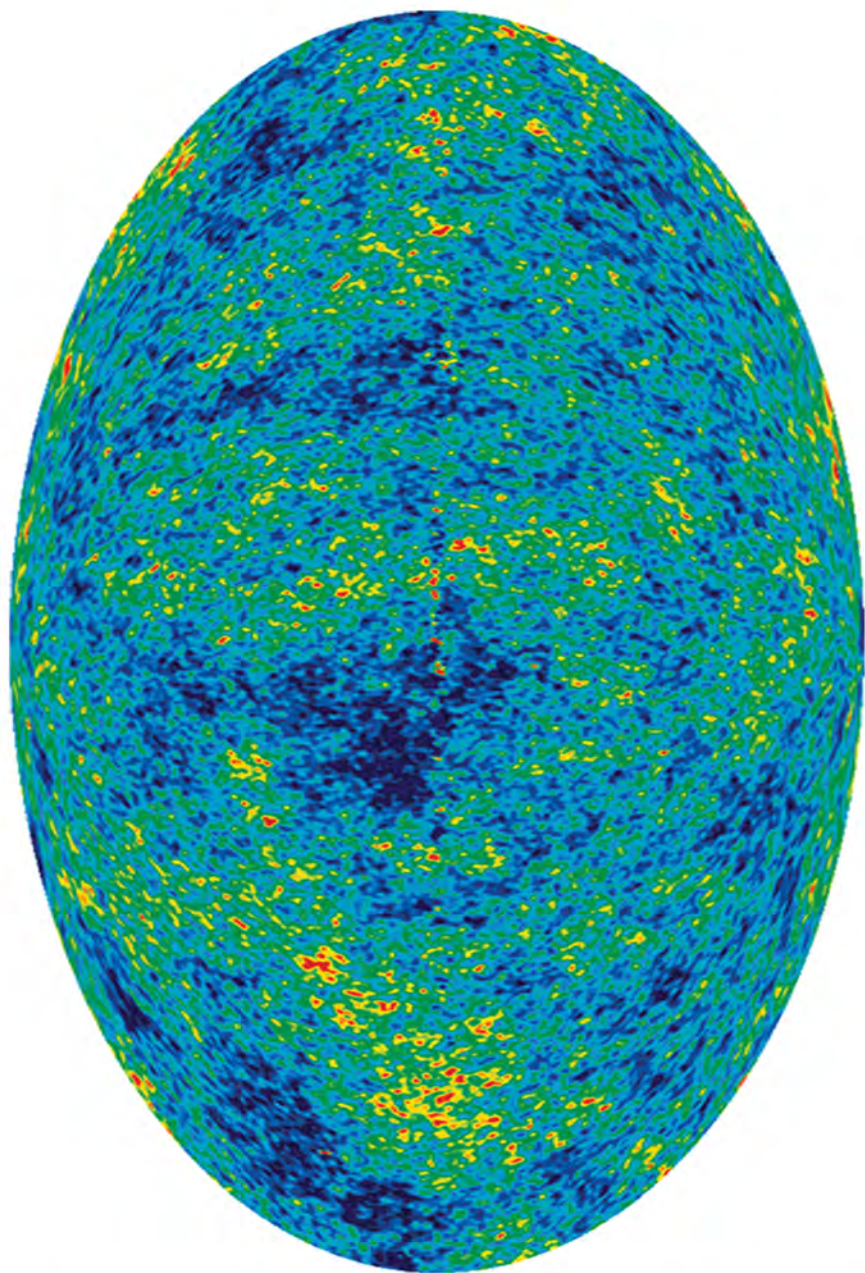
Kopa galaxií Abell 2744. Pravdepodobne vznikla zrážkou najmenej štyroch kôp galaxií. Asi 5% hmoty kopy predstavujú samotné galaxie, okolo 20% horúci plyn (červená) a okolo 75% temná hmota (modrá).

NASA, ESA, J. Merten (Institute for Theoretical Astrophysics, Heidelberg/Astronomical Observatory of Bologna), D. Coe (STScI)



Sonda WMAP a pohľad na štruktúru vesmíru počas jeho vývoja.

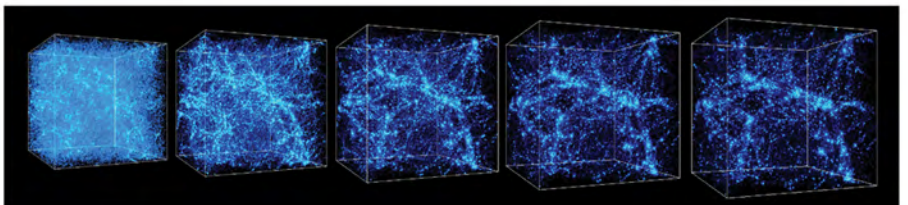
NASA/WMAP Science Team



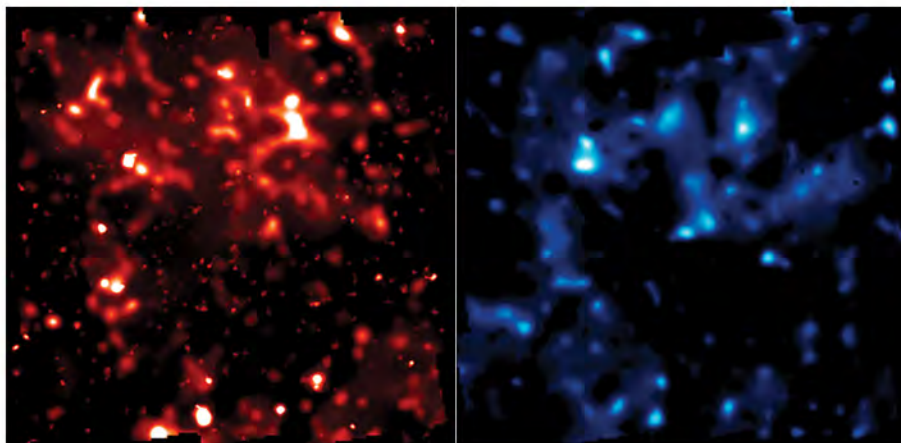
Teplotné fluktuácie v rozsahu $\pm 200\mu\text{K}$ na mape mikrovlnného kozmického pozadia zo sedemročných dát sondy WMAP. Signál Mliečnej cesty bol z obrázka odčítaný.
NASA/WMAP Science Team



Hubblovo Ultra-hlboké pole (Hubble Ultra-Deep Field) v súhvezdí Pec.
 Pokrýva oblasť oblohy s plochou 11 uhlových minút štvorcových.
 NASA, ESA, S. Beckwith (STScI) and the HUDF Team

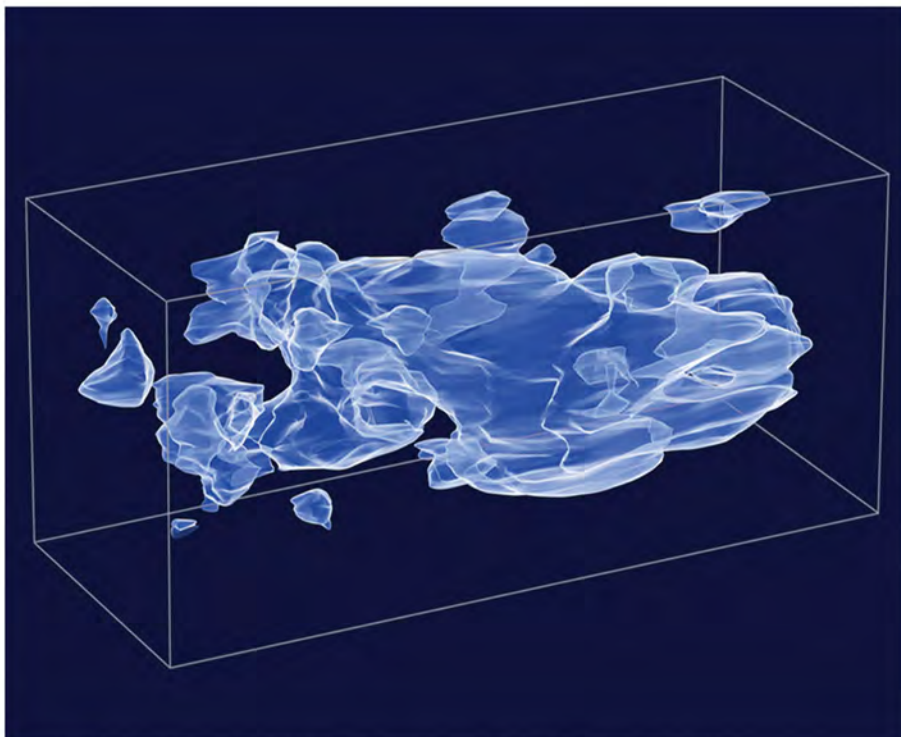


Vizualizácia vývoja veľkoškálových štruktúr vesmíru. Andrey Kravtsov



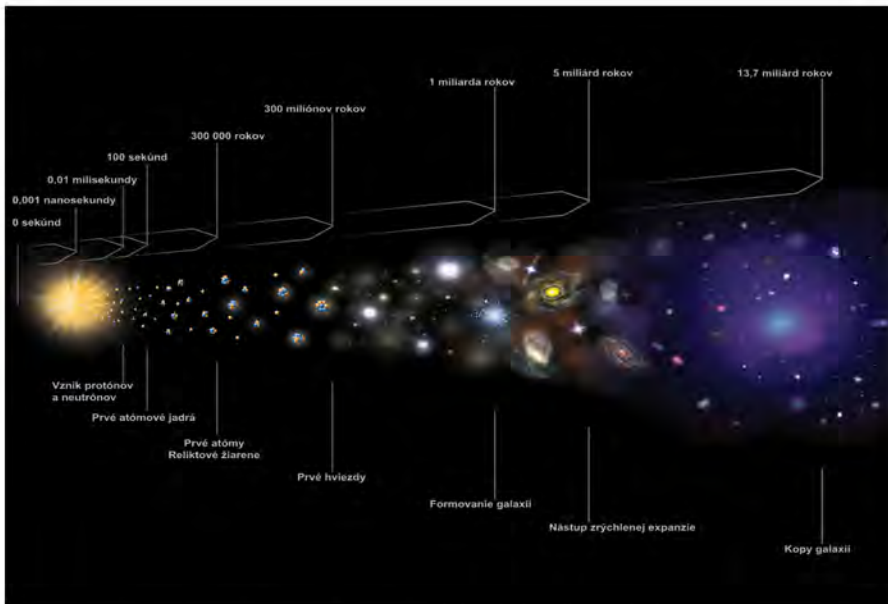
Distribúcia viditeľnej (baryónovej) hmoty (červená, vľavo) a temnej hmoty (modrá, vpravo) vo vesmíre.

NASA, ESA, and R. Massey (California Institute of Technology)

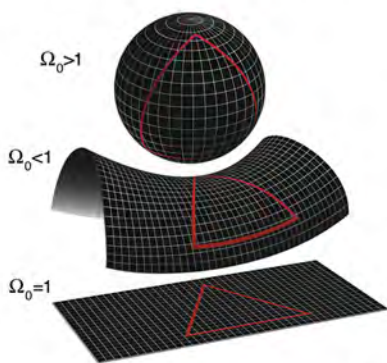


Trojrozmerná mapa distribúcie temnej hmoty vo vesmíre.

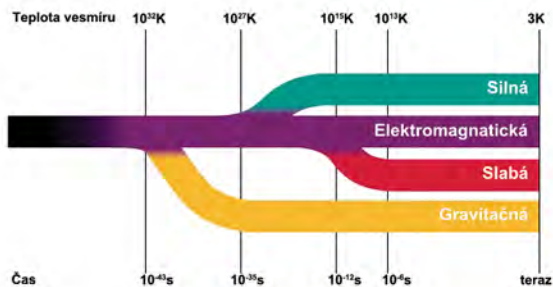
NASA, ESA, and R. Massey (California Institute of Technology)



Vývoj vesmíru. NASA/CXC/M.Weiss



Geometria vesmíru v závislosti na jeho hustote. Parameter Ω_0 je podiel hustoty vesmíru a kritickej hustoty.
NASA / WMAP Science Team



Zjednocovanie interakcií.

<http://web.williams.edu/astronomy/Course-Pages/330/images/forces.jpg>

Vyhľadávanie veľkorozmerových štruktúr má veľký význam pre kozmológiu. Na tieto štruktúry sa vyvinuli prvotné hustotné zhluky vo vesmíre (označujú sa BAO, Bayron Acoustic Oscillations, baryonové akustické oscilácie), ktorých odtlačok pozorujeme ako fluktuácie reliktného žiarenia.

Supernovy Ia

Veľmi dôležité sú projekty, ktoré v galaxiách vyhľadávajú supernovy typu Ia. Tieto supernovy slúžia ako štandardné sviečky, z ktorých svitu je možné určiť relatívne presne vzdialenosť galaxie, v ktorej supernova vybuchla. Supernovy typu Ia sú binárne objekty, v ktorých jednou zložkou je biely trpaslík. Medza stability bielych trpaslíkov je 1,44 hmotnosti Slnka (tzv. Chandrasekharova medza). Po prekročení Chandrasekharovej medze sa biely trpaslík zrúti do neutrónovej hviezdy, dôjde k explozívnomu termonukleárnemu horeniu uhlíka a kyslíka na nikel 56 v celom objeme trpaslíka a uvoľnená potenciálna energia sa prejaví ako supernova typu Ia.

Množstvo energie je vždy zhruba rovnaké, takže z relatívnej pozorovanej jasnosti sa dá vypočítať vzdialenosť príslušnej supernovy a tým aj materskej galaxie. Presnejšie hodnoty sa potom určia z tvaru svetelnej krivky (z priebehu nárastu a poklesu jasnosti). Supernova typu Ia sa dá identifikovať podľa tvaru jej spektra. V priemernej galaxii explodujú približne dve supernovy typu Ia za storočie. S pomocou supernov typu Ia našli Adam Riess a Saul Perlmutter v roku 1998 zrýchlenú expanziu vesmíru. Dnes najvýznamnejším projektom na vyhľadávanie týchto objektov je SCP (Supernova Cosmology Projekt) vedený Saulom Perlmutterom, ktorý analyzoval dáta zo 719 explózií supernov typu Ia, 557 z nich bolo použiteľných na ďalšie spracovanie. Aktivita tímu SCP vyústila v roku 2010 v zatiaľ najpresnejší odhad zastúpenia množstva temnej energie, temnej hmoty a baryónovej látky. Vo vesmíre je približne 27% látky (atomárnej a temnej) a 73% temnej energie, pre ktorú je podiel tlaku a hustoty rovný približne -1 (presná hodnota -1 by bola v súlade s temnou energiou ako prejavom kvantových vlastností vákua). Supernovy typu Ia bude možné v budúcnosti vyhľadávať aj špecializovanými prístrojmi priamo z vesmíru. NASA pripravuje štart sondy SNAP (Supernova/Acceleration PRobe), ktorá by za pomoci supernov typu Ia mala skúmať expanziu vesmíru. Uvažuje sa o ďalekohľade s priemerom 1,8m. Sonda SNAP by mala štartovať okolo roku 2020.

Nepriame pozorovania

Reliktové žiarenie

Toto žiarenie uvoľnené od látky v závere Veľkého tresku v sebe nesie cenné informácie o rannom vesmíre. Do istej miery ide o nepriame (sprostredkované) informácie, pretože do fluktuácie reliktného žiarenia boli odtlačené vtedajšie štruktúry látky len vďaka tomu, že tesne pred ich oddelením bolo žiarenie sprevádzané látkou. Detailný prieskum reliktového žiarenia vykonávala družica **COBE** (1989-1993) a v súčasnosti sondy **WMAP** (2002) a **Planck** (2009). Na prelome tisícročí sa reliktové žiarenie taktiež úspešne pozorovalo z balónových experimentov, ktoré boli presnejšie než družicové, ale postihli iba malú časť oblohy. K najslávnejším patrili MAXIMA a BOOMERANG

Moderná kozmológia alebo ako prednášať o kozmológii

BOOMERANG (Balloon Observations Of Millimetric Extragalactic Radiation And Geophysics) bol rádioteleskop vynesý stratosférickým balónom v roku 1998 do výšky 37 km nad Antarktídu. Presná poloha rádioteleskopu bola sledovaná pomocou družíc. Let trval 10,5 dňa a bol ukončený pristaním rádioteleskopu do snehu na padáku. Primárne zrkadlo malo priemer 1,2 m s detektormi chladenými na teplotu 0,28K. Prístroj bol schopný detegovať mikrovlnné žiarenia v štyroch vlnových dĺžkach: 0,75 mm, 1,25 mm, 2 mm a 3 mm a jeho rozlišovacia schopnosť bola 10'. Celková vynášaná hmotnosť bola 1400 kg. Experiment v svojej dobe výrazne spresnil naše znalosti fluktuácií reliktného žiarenia.

Rekonštrukcia rozloženia temnej hmoty

Súčasná prístrojová technika umožňuje taktiež mapovanie temnej hmoty. Spravidla sa tak deje z analýzy deformácií obrazu vzdialených objektov v celooblohových prehliadkach alebo štatistickou analýzou gravitačných šošoviek na snímkach rozsiahlych kôp galaxií. U nás sa touto problematikou zaoberá David Heyrovský, vnuk Jaroslava Heyrovského, nositeľa Nobelovej ceny za polarografiu.

Zastúpenie ľahkých prvkov

Pomerné zastúpenie jednotlivých ľahkých prvkov (hlavne podiel vodíka, deutéria a hélia) je dôsledkom procesov prebiehajúcich v priebehu Veľkého tresku a slúži nezriedka ako primárny filter našich hypotéz. Nie je bez zaujímavosti, že zo zastúpenia ľahkých prvkov vo vesmíre bolo zistené, že vo vesmíre boli a sú len tri generácie elementárnych častíc. Keby existovala štvrtá generácia, vesmír by sa vyvíjal inak a percentuálne zastúpenie prvkov by sa líšilo od pozorovaného.

Reliktové gravitačné vlny

NASA plánuje stavbu obrieho interferometra LISA, trojicu sond vzdialených 5 miliónov kilometrov, ktoré budú vzájomne sledovať svoje polohy laserovým lúčom. Projekt by sa mal uskutočniť po roku 2020. Pokiaľ sa to podarí, bude LISA sledovať gravitačné vlny z najrôznejších objektov a otvorí sa nám ďalšie pozorovacie okno do vesmíru. A pokiaľ budeme mať šťastie, nie je vylúčené, že objavíme aj reliktové gravitačné vlny z inflačnej fázy Veľkého tresku. To je ale ešte v tejto chvíli hudbou budúcnosti.

Časticové experimenty

V posledných desaťročiach sa kozmologický výskum koná i priamo v laboratóriách časticových fyzikov alebo na detektoroch, ktoré boli v týchto laboratóriách vyvinuté. Stručne sa zmienime o niektorých z nich.

Malý tresk

Ako sme opísali vyššie, v roku 2000 sa v Stredisku jadrového výskumu CERN podarilo pripraviť kvark-gluónovú plazmu - formu látky, ktorá sa vo vesmíre nachádzala 10 mikrosekúnd po vzniku vesmíru. Experimenty potom desať rokov pokračovali v Spojených štátoch, v Brookhavenskom národnom laboratóriu na urýchľovači RHIC (Relativistic Heavy Ion

Collider), Teraz pokračujú opäť v Európe na najväčšom urýchľovači sveta LHC (Large Hadron Collider).

Pierre Auger

Časticové experimenty taktiež sledujú kozmické žiarenie. Ide o prúd urýchlených častíc z hlbín vesmíru. Pri interakcii týchto častíc s atmosférou vzniká sprška miliónov miliárd častíc. Najenergetickejšie častice kozmického žiarenia, ktoré sa doposiaľ podarilo detegovať, majú energiu až 10^{20} eV. Sprška z takejto častice zasiahne na zemskom povrchu veľa desiatok km². Takáto energetická častica sa objaví približne raz za sto rokov. Kozmické žiarenie je majoritným zdrojom antihmoty na našej planéte. Môže vznikať v supernovách, pulzaroch, aktívnych galaktických jadrách atď. Väčšinu častíc kozmického žiarenia, okolo 88%, tvoria protóny, približne 10% sú jadrá hélia (alfa žiarenie), 1% elektróny a pozitrony a 1% ťažké prvky. Mnohé častice, ktoré sa dnes vedci pokúšajú nájsť v moderných urýchľovačoch, sa môžu nachádzať práve v kozmickom žiarení a pomôcť nám zodpovedať kľúčové otázky o pôvode a vlastnostiach hmoty. Kozmické žiarenie bolo objavené v roku 1912 rakúskym fyzikom Victorom Hessom (1883–1964) pri balónových experimentoch vo výške až 5500 metrov. S rastúcou výškou stúpala ionizácia atmosféry a tým bol dokázaný kozmický pôvod žiarenia. Za objav získal Hess v roku 1936 Nobelovu cenu za fyziku.

Doposiaľ najväčším projektom pre sledovanie kozmického žiarenia je projekt Pierre Auger, pomenovaný podľa objaviteľa spršok kozmického žiarenia. Observatórium obsahuje celkom 24 fluorescenčných detektorov a 1600 Čerenkovových detekčných staníc pokrývajúcich územie 3000 km². Ako vhodné miesto bola zvolená Argentína, oblasť Pampa Amarilla, čo je polo vyprahnutá planina v blízkosti mesta Malaragüe. Do projektu, ktorého realizácia začala v roku 2005, je zapojená aj Česká republika. Observatórium je v plnej prevádzke od roku 2007.

AMS 02

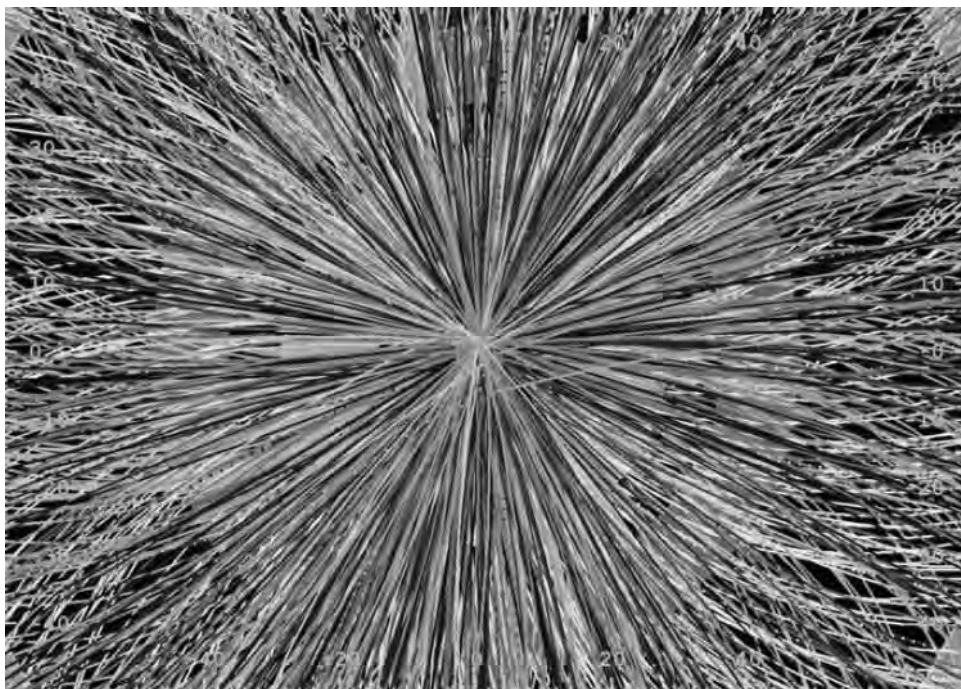
Detektor AMS (Alpha Magnetic Spectrometer) je zmenšeninou obrích časticových detektorov používaných na urýchľovačoch, jednako aj táto zmenšenina má úctyhodnú hmotnosť 6,7 tony. Prístroj bol vyvíjaný v Európskom stredisku jadrového výskumu CERN a bol umiestnený v roku 2011 na ramene Medzinárodnej kozmickej stanice. K hlavnému vybaveniu patrí sledovač stôp, elektromagnetický kalorimeter a Čerenkovov detektor, ktorý zachytáva kužele elektromagnetického žiarenia tiahnuceho sa v aerogeli za časticami, ktoré sa pohybujú nadsvetelnou rýchlosťou v danom prostredí. Magnetické pole s veľkosťou 0,9 T generuje supravodivý magnet s objemom 0,6 m³. Základným cieľom AMS je sledovanie primárnych častíc kozmického žiarenia, hľadanie antihmoty vo vesmíre a detekcia častíc temnej hmoty. Antiprotóny a pozitrony sú vo vesmíre bežnou záležitosťou, vznikajú pri procesoch s vysokou energiou - nikdy ale nebol pozorovaný antiatóm najjednoduchšieho prvku - vodíka. Detektor by mal prispieť k objasneniu základných otázok pôvodu temnej hmoty, asymetrie medzi hmotou a antihmotou vo vesmíre a pôvodu kozmického žiarenia. Tento kolos bude pripevnený na Medzinárodnú kozmickú stanicu pri poslednom lete raketoplánu.

7. Neoverené teórie a hypotézy

Čo bolo pred vesmírom?

Štandardný kozmologický model nerieši otázku, čo bolo pred vesmírom. Človeka ale svojim spôsobom desí každá hranica, či už priestorová alebo časová, a pýta sa, čo je za ňou. Pokiaľ zostaneme na pozícii všeobecnej relativity, je všetko jasné. Na počiatku nutne bola singularita, teplota a hustota mali nekonečnú hodnotu a otázka na „predtým“ nemá zmysel, pretože pokiaľ tu nebola látka, neexistoval ani priestor, ani čas. A pokiaľ tu bola látka, nemohla s nami žiadnym spôsobom komunikovať, ide o tzv. kauzálne nespojené oblasti.

Lenže časy sa menia. Na samotnom počiatku, v mimoriadne hustej a horúcej látke sa nepochybne uplatňovali aj zákony kvantovej teórie a svoj diel k vývoju vesmíru pridali aj kvantové interakcie: elektromagnetická, silná a slabá. A ako náhle sa pokúsime počítať aj s nimi, počiatočná hustota a teplota už nemusí byť nekonečná. Okamžite sa vkráda otázka. Ide teda len o maximum hustoty a teploty? A „predtým“ mala hustota a teplota nižšie hodnoty?



Dnes sa celý rad teórií zaoberá tým, ako vypadal vesmír pred jeho počiatkom. Súhrnne ich označujeme skratkou **PBB (Pre Big Bang)**. Jednou z možností je, že sa vesmír nachádzal v stave akejsi prvej kvantovej peny - ide o bezčasový kvantový stav bez klasických vlastností. V priebehu došlo k tzv. dekoherencii - nevratnej interakcii kvantového subsystému s prirodzeným okolím, ktoré viedlo k objaveniu sa klasických vlastností. Inou z možností je predstava cyklického vesmíru, v ktorom po fáze expanzie nasleduje fáza kontrakcie, pri ktorej

sa vesmír dostane do veľmi malej časopriestorovej oblasti a všetko sa znova opakuje. Po prvýkrát sa obdobný názor objavil v stolickej filozofii. Dnes ho zastáva napríklad vynikajúci matematik Roger Penrose.

V závere roka 2010 vyšiel článok Penrosa a Gurzadyana, podľa ktorého sa na mape fluktuácií reliktového žiarenia objavujú sústredné kruhy, v ktorých sú fluktuácie menej výrazné ako v okolí. Podľa autorov článku môže ísť o namapovanie akejsi ozveny z minulých cyklov. V každom prípade by podobný výsledok bol v príkrom rozpore s inflačným modelom. Článok vyvolal radu búrlivých reakcií, z ktorých citujeme:

1) môže ísť o artefakt, o skreslenie dát spôsobené ich spracovaním, vôbec nemusí ísť o reálne kruhy

2) článok bol publikovaný na serveri Cornellovej univerzity v úložisku nazývanom „Arxive“. Ide o najväčšiu databázu článkov na svete. Články nie sú oponované, čo znižuje ich vedeckú hodnotu.

3) do archívu vložil článok druhý z autorov (Gurzadyana). Je Penrose skutočným autorom? Neboho jeho meno len zneužitý?

4) nejde nakoniec o žartik podobný kruhom v obilí? Existujú profesionálne skupiny, ktoré tieto kruhy vytvárajú. Niektorí mohli analogicky „vytvoriť“ aj kruhy na mape reliktového žiarenia.

V dobe písania tohto textu nie je jasné, či ide o prelomový článok alebo o vydarený predsilvestrovský vtip.

Mnohorozmerný svet

Za normálnej situácie nám k popisu udalostí postačia štyri údaje (hovoríme o štyroch dimenziách): jeden časový údaj a tri priestorové. Viac dimenzií po prvýkrát použil nemecký matematik Theodor Kaluza (1856–1945). Zaujímal ho, ako sa zmení riešenie Einsteinových rovníc všeobecnej relativity, ak pridá k bežným štyrom dimenziám ešte jednu, piatu dimenziu. Šlo o matematické cvičenie, ktorému spočiatku neprikladal hlbšiu fyzikálnu súvislosť. K svojmu údivu ale v roku 1921 zistil, že sa v Einsteinových rovniciach v piatich dimenziách prirodzenou cestou objavujú aj Maxwellove rovnice pre elektromagnetické pole. Spolu so švédskym teoretickým fyzikom Oskarom Kleinom (1894–1977) sa potom pokúšali nájsť jednotnú teóriu gravitácie a elektromagnetizmu. Svojich snáh zanechali po objave slabšej a silnej interakcie, ktoré do ich schémy nezapadali a ich teória sa zdala byť slepou uličkou. Vzkriesená bola až o veľa desiatok rokov neskôr.

Po vzniku kvantovej teórie bolo jasné, že otázka jednotnej teórie všetkých interakcií je otázkou zlúčenia všeobecnej relativity (založenej na pokrivenom časopriestore) a kvantovej teórie poľa (založenej na výmenných časticách a nekomutujúcom svete). Vnútorne nerozporné zlúčenie oboch teórií je ale možné až vo viacerých dimenziách. Najmenším počtom dimenzií je desať (nasleduje 26, 506...). Prvé pokusy preto boli vykonávané v desaťrozmernom svete. Ako si ho ale predstaviť? Keď sa z diaľky pozeráte na chumáč vaty, zdá sa vám, že ide o trojrozmerné teleso. Až pri bližšom skúmaní zistíte, že vnútri sa nachádzajú rôzne vlákna a štruktúry. Podobne aj náš svet vyzerá našimi očami ako štvorrozmerný. Keby sme mali mimoriadne

Moderná kozmológia alebo ako prednášať o kozmológii

kvalitnú lupu, ktorou by boli viditeľné útvary s rozmermi 10^{-35} metra (Planckova dĺžka), videli by sme divoký roj kvantových fluktuácií a štruktúry, ktoré sú tými ďalšími šiestimi zvinutými (kompaktifikovanými) dimenziami. Ibaže takúto lupu nemáme a nikdy mať nebudeme. O svete Planckových škál sa môžeme dozvedieť len nepriamo. V týchto teóriách už nie sú leptóny a kvarky bodovými časticami, ale lineárnymi útvarmi, ktoré nazývame **struny**. Rôzne vibrácie strún odpovedajú rôznym časticiam. Veľkosť strún je zrovnateľná s Planckovou dĺžkou.

Strunových teórií sa vynoril celý rad, ale vo všetkých sa objavovali neprirodzené nekonečná. Niektoré z nich sú odstrániteľné pomocou špeciálnej matematickej procedúry. Strunové teórie, v ktorých je možné nekonečnú odstrániť, sú vhodnými kandidátkami na Teóriu všetkého. A tu došlo ku vzkrieseniu Kaluzovej-Kleinovej piatej dimenzie. Pokiaľ sa k teórii strún pridá ešte jedna (makroskopická, kolmá na zvyšných desať) dimenzia, v tomto prípade jedenásta, všetky teórie strún s odstrániteľnými nekonečnami sa stanú nízkoenergetickou limitou jednej jedinej teórie, tzv. M teórie.

To bol ale len počiatok. Dnes sa k popisu sveta využíva v strunových teóriách až 27 dimenzií. Prvé 4 dôverne poznáme, ide o čas a priestor. Ďalších 6 kompaktifikovaných (zvinutých) dimenzií je zodpovedných za existenciu strún, ktorých vibrácie tvoria častice látky (leptóny a kvarky). Potom tu je 16 kompaktifikovaných dimenzií, ktoré sú zodpovedné za existenciu častíc poľa. A posledná dimenzia je opäť makroskopická Kaluzova-Kleinova dimenzia. V tomto mnohorozmernom svete môžu existovať menejrozmerné podmnožiny, tzv. brány. Ich jediný vzájomný kontakt umožňuje Kaluzova-Kleinova dimenzia, ktorá je kolmá na tieto brány.

Predstavte si listy v knihe. Každý list je samotným svetom (bránou) a Kaluzova-Kleinova dimenzia je kolmá na tieto listy. Kvantové interakcie pôsobia len v rámci jednotlivých stránok. Jediná gravitácia má tú výsadu, že pôsobí ako v rámci stránok (brán), tak aj v Kaluzovej-Kleinovej dimenzii, teda sa šíri aj kolmo na brány smerom k ostatným bránam. Možno práve preto je gravitačná interakcia v našom svete tak slabá. Kaluzovou-Kleinovou dimenziou uniká gravitácia k ostatným paralelným svetom a ovplyvňuje ich. Je to šialenstvo alebo reálny opis nášho sveta? Priame experimentálne overenie týchto hypotéz bohužiaľ nie je možné. Nedajú sa ale vylúčiť niektoré nepriame pozorovania na výkonných urýchľovačoch, ktoré by mohli extradimenzie objaviť. Možno nesú aj svoj podpis na reliktových gravitačných vlnách z obdobia vzniku vesmíru. Experimentálne možnosti sú teda veľmi obmedzené, ale nie nulové. Pohybujeme sa na hranici našich znalostí a teória strún je v tejto chvíli len jednou z predstáv, ako pripojiť gravitačnú interakciu k ostatným. Možno správnou a možno nesprávnou. To ukáže len dlhší výskum.

Superpartneri

Prečo sú všetky elementárne častice hmoty „neznášateľné“ (patria do rodiny fermiónov) a všetky častice poľa znášateľné (patria do rodiny bozónov)? V najnovších teóriách spájajúcich gravitáciu a kvantovú teóriu poľa tomu tak byť nemusí, v niektorých prípadoch sa objavila požiadavka na tzv. supersymetriu. Ku každému fermiónu by mal pri vysokých energiách (také boli v ranom vesmíre) existovať superpartner, ktorý je bozónom a naopak ku každému bozónu

by mal existovať superpartner, ktorý je fermiónom. Každá častica by teda mala existovať v dvoch prevedeniach, znášanlivom a neznašanlivom.

Superpartnerov k bozónom označujeme príponou „-ino“ (napríklad fotino, higgsino, wino, gluino). Superpartnerov k fermiónom značíme predponou „s-“ (napríklad selektrón, s-neutrino). So superpartnermi sa viažu ešte dva názvy: neutralína - tak nazývame všetkých superpartnerov bez elektrického náboja a chargina - tak nazývame nabitých superpartnerov. O časticach v strunových teóriach, do ktorých je zahrnutý princíp supersymetrie, hovoríme ako o superstrunách. Minimálny supersymetrický model (s minimálnym počtom častíc) je najjednoduchším rozšírením štandardného modelu elementárnych častíc.

Superpartnerom sa niekedy taktiež hovorí „**tieňové častice**“. Superpartneri sa vyskytovali len v najranejších fázach vývoja vesmíru a postupne sa rozpadali na bežné častice. Doposiaľ žiadny dôkaz o ich existencii nemáme, jednou z uvažovaných možností je, že temná hmota je tvorená najľahšími superpartnermi, ktorí sa už nemali na čo rozpadnúť a zostali vo vesmíre ako tzv. reliktovní superpartneri. Ide o neutralína, ktoré by mali byť zmesou kvantových stavov higgsína, zína a fotína. Tieto hmotné častice by mali podliehať len slabej interakcii a preto sa im niekedy hovorí slabo interagujúce hmotné častice, tzv. wimpsy (z anglickej skratky WIMP, Weakly Interacting Massive Particle) . Ich nájdenie je cieľom mnohých špičkových laboratórií, napríklad talianskeho laboratória pod horou Gran Sasso.

Ekpyrotický model, pokračovanie modelu stoikov

V roku 2002 predložili Neil Turok (1958), Paul Steinhardt (1952), Burt Ovrut a Justin Khoury astronómom úplne fantastickú a mimoriadne odvážnu hypotézu, náš vesmír mohol vzniknúť náhodným dotykom dvoch brán vo viacrozmernom svete (dvoch paralelných prelínajúcich sa vesmírov). Áno, znie to neuveriteľne, ale táto na prvý pohľad šialená domnienka má aj svoje reálne jadro a merateľné dôsledky. Zatiaľ nebola ani vyvrátená a ani potvrdená. Názov modelu znamená „z ohňa pochádzajúci“ (oheň sa po latinsky povie „pyr“, spomeňte si na slovo pyroman) a má pripomínať cyklický model stoikov, ktorí ho nazývali ekpyrosé.

Model vychádza zo strunovej teórie, v ktorej sú častice lineárnymi útvarmi v mnohorozmernom svete. Základom modelu je tvrdenie, že vesmír predstavuje menejrozmerný objekt vo viacrozmernom svete (tzv. bránu). Počiatok vesmíru je stotožnený so stretnutím dvoch brán v mieste najväčšej kvantovej fluktuácie. Základné prírodné konštanty (gravitačná, Planckova, rýchlosť svetla) môžu byť v rôznych bránach rôzne. Po dotyku dôjde v „našej“ bráne k prudkej expanzii a následne k tvorbe galaxií. Pokračujúca expanzia zriedi látku v bráne a gravitačná sila pôsobiaca aj v dimenzii kolmej na náš vesmír pritiahne opäť druhú bránu a dôjde k ďalšiemu dotyku. Výsledkom je jednoduchý model dvoch oscilujúcich brán, ktorý je cyklický, t.j. stále sa opakujú fázy dotyku a následné expanzie (nie je tu však fáza kontrakcie). Model predpovedá, že pri dotyku brán vzniknú gravitačné vlny, ktorých amplitúda rastie smerom ku krátkovlnnej časti spektra. Zo štandardného inflačného modelu plynie naopak smerom ku kratším vlnovým dĺžkam pokles amplitúdy.

Ide zatiaľ o jediný experimentálne overený dôsledok ekpyrotického modelu. Po roku 2020 by mala štartovať trojica sond LISA (Laser Interferometry Space Antenna), ktorá vytvorí obří laserový interferometer so základňou 5 miliónov kilometrov. Zariadenie by malo byť dostatočne citlivé pre detekciu bežných gravitačných vĺn z blízkych objektov a pri troche šťastia by mohlo detegovať aj reliktové gravitačné vlny. Zmeranie spektra týchto vĺn by definitívne vylúčilo jeden z modelov (buď inflačný alebo ekpyrotický), avšak druhý by nepotvrdilo.

Hypotézy o temnej hmote a temnej energii

V predchádzajúcich kapitolách sme sa zoznámili s tým, že vo vesmíre sú 4% atomárnej (presnejšie baryónovej) látky, 23% temnej hmoty a 73% temnej energie. O povahe týchto entít sa vedú vášnivé diskusie a existuje rad vážnych i menej vážnych hypotéz. Zhrňme tie, ktoré sú z dnešného pohľadu najbližšie k cieľu.

Temná hmota je zložená z horúcich častíc (za dobu existencie vesmíru preleteli podstatnú časť pozorovaného vesmíru) a chladných častíc (za dobu existencie vesmíru preleteli len malú časť pozorovaného vesmíru). Podstatnú časť temnej hmoty musí tvoriť chladná temná hmota, jedine tá mohla zvýrazniť a prehĺbiť počiatočné fluktuácie (pozorované v reliktovom žiarení) do dnešnej veľkorozmerovej štruktúry vesmíru. Časticami horúcej temnej hmoty sú napríklad neutrína objavené v roku 1956 a v súlade s predpokladmi tvoria tieto častice len malú časť temnej hmoty. Za najhorúcejších kandidátov na častice chladnej hmoty sú považované wimpsy, slabo interagujúce hmotné častice. Malo by ísť o reliktových superpartnerov, tzv. neutralína.

Druhým najvýznamnejším kandidátom na častice temnej hmoty sú axióny, hypotetické častice, ktoré potrebuje súčasná teória silnej interakcie. Na Zemi existuje niekoľko desiatok detektorov, ktoré sa pokúšajú tieto častice temnej hmoty polapiť za pomoci najrôznejších metód. Pre wimpsy sú to napríklad DAMA/LIBRA (talianske Gran Sasso), Boulby (Anglicko) alebo DAMIC (USA), pre axióny CAST (CERN) alebo ALPS (Nemecko).

Temná energia je bezštruktúrne fluidum zodpovedné za zrýchlenú expanziu vesmíru. Môže ísť o **kvantové prejavy vákua** (potom by hustota temnej energie bola v priebehu expanzie konštantná), o nové kvantové pole či interakciu, tzv. **kvintescenciu** (potom by sa hustota temnej energie v priebehu expanzie menila) alebo ide o prejavy gravitácie, ktorá sa chová na veľkých vzdialenostiach inak, než sme doposiaľ predpokladali. Z uskutočnených meraní sa zdá, že najlepšie skutočnosti odpovedá rozfukovanie vesmíru spôsobené prejavmi vákua. Kvantové prejavy vákua sú dôsledkom Heisenbergových relácií neurčitosti.

Podme si najprv vysvetliť pojem absolútnej nuly teplotnej stupnice. Pri ochladzovaní telies sa znižuje množstvo chaotického pohybu atómov a molekúl látky. Zdalo by sa teda prirodzené definovať absolútnu nulu ako stav božského kľudu a mieru bez akéhokoľvek pohybu. Lenže takýto stav odporuje kvantovej teórii, podľa ktorej nemôžeme nikdy poznať polohu a rýchlosť častíc súčasne. Pokiaľ by napríklad v kryštalickej látke ustal všetok pohyb, poznali by sme polohu iónov (vo vrcholoch kryštálovej mriežky) a rýchlosť iónov (bola by nulová). V kryštáli preto vždy existuje určitý základný pohyb, ktorému hovoríme nulové kmity.

Absolútna nula je teda stav s minimálnym množstvom pohybu, ktorý nám umožňujú zákony kvantovej teórie.

Podobne je to s vákuom. Podľa kvantovej teórie nemôže byť nulová súčasne hodnota elektrického poľa a jeho hybnosti. Vo vákuu budú vždy prítomné určité základné fluktuácie elektromagnetických a ďalších polí. Z nich sa budú rodiť elektrón-pozitrónové (alebo iné) páry častíc a antičastíc a opäť zanikať. Vákuum teda nie je z pohľadu kvantovej teórie prázdnota, ale stav sveta s najmenším množstvom fluktuácií polí a častíc, ktoré nám dovoľujú zákony kvantovej teórie. Vákuum nemá nenulovú energiu a ta by mala byť zodpovedná (alebo jej časť) za zrýchlenú expanziu vesmíru. Situáciu komplikuje fakt, že pokiaľ sú správne teórie mnohorozmerných svetov, tak časť vákbovej energie bude viazaná v extradimenziách.

Antihmota vo vesmíre

V roku 1928 našiel Paul Adriane Maurice Dirac relativistickú kvantovú rovnicu pre elektrón (dnes jej hovoríme Diracova rovnica). Ešte toho roku interpretoval záporné energetické riešenia svojej rovnice ako riešenie s kladnou energiou, ale pre pozitron – antičasticu k elektrónu. Tú objavil Carl Anderson v sekundárnych spŕškach kozmického žiarenia až v roku 1932. Za objav dostal Nobelovu cenu za fyziku pre rok 1936 a v tom istom roku sa mu ešte podarilo objaviť mión – ťažký elektrón. Postupne boli objavené aj ďalšie antičastice.

V pozemských podmienkach vznikajú antičastice pri zrážkach v urýchľovačoch alebo pri rádioaktívnom rozpade. V komplexoch laboratórií CERN (EU) a Fermilab (USA) je možné dokonca umelo vyrobiť najjednoduchší antiatóm vodíka. Predmetom usilovného skúmania je jeho chovanie pri elektromagnetickej a gravitačnej interakcii. Z doposiaľ uskutočnených experimentov sa zdá, že sa antivodík chová rovnako ako vodík.

Vo vesmíre vznikajú antičastice vo vysoko energetických procesoch v blízkosti čiernych dier a neutrónových hviezd alebo k nám prichádzajú z hĺbín vesmíru ako súčasť kozmického žiarenia (predovšetkým pozitrony a antiprotóny). Nikdy k nám z vesmíru nepriletel žiadny antiatóm.

Hannes Alfvén, nositeľ Nobelovej ceny za objav magnetohydrodynamiky, veril, že vo vesmíre sú celé rozsiahle oblasti z antihmoty, že existujú antihviezdy, antihmloviny a antigalaxie. S dnešnými experimentálnymi znalosťami je táto možnosť vylúčená. Na styku oblastí hmoty a antihmoty by prebiehala plošná anihilácia a my by sme museli detegovať žiarenie s výraznými charakteristickými anihilačnými čiarami. Nič takéto sa nedeje.

Teória Veľkého tresku ale počíta s tým, že na počiatku vzniklo rovnaké množstvo hmoty aj antihmoty. Všeobecne sa dnešný stav chápe ako dôsledok narušenia tzv. **CP symetrie**. Ide o kombinovanú symetriu častice – antičastice (C z anglického slova Charge, náboj) a ľavý – pravý (P z anglického slova Parity). Pokiaľ by symetria platila, choval by sa prístroj vyrobený z antihmoty podľa zrkadlového obrazu rovnako ako pôvodný prístroj. Táto symetria ale v prírode neplatí, ako bolo dokázané pri rozpade kaónov v roku 1964. Celá vec je ešte zložitejšia. Nestačí totiž len narušenie CP symetrie. V roku 1968 ukázal sovietsky fyzik Andrej Sacharov (1921-1989), že hmota prevláda vo vesmíre nad antihmotou, pokiaľ sú splnené nasledujúce tri podmienky (tzv. Sacharovove podmienky):

protón je nestabilný,
existuje narušenie CP symetrie,
vesmír prešiel fázou rýchlej expanzie.

Najmenej jasné je splnenie prvej podmienky. Protón sa nám javí ako mimoriadne stabilná častica. Podľa teórie Veľkého tresku zjednotenie (elektroslabé a silnej interakcie) by mali existovať za vysokých energií častice poľa X a Y , ktoré môžu premieňať kvarky/antikvarky na antileptóny/leptóny. Tieto častice by mali spôsobiť nestabilitu protónu, odhadovaný polčas rozpadu je ale dlhší než 10^{33} rokov a nikomu sa takýto rozpad nepodarilo doposiaľ detegovať. Obrovskú dobu rozpadu je možné kompenzovať obrovským množstvom protónov, takže je pozorovanie nestability protónu principiálne možné. Otázka nadvlády hmoty nad antihmotou nie je uspokojivo vysvetlená dodnes.

Úloha Planckových škál

Na začiatku 20. storočia ukázal Max Planck, že tri **fundamentálne konštanty** (rýchlosť svetla, gravitačnú konštantu a Planckovu konštantu) môžeme jednoznačným spôsobom (až na násobiaci číselný faktor) skombinovať tak, aby sme získali veličinu, ktorá má rozmer času. Podobne je možné vytvoriť jednoznačné kombinácie, ktoré majú rozmer dĺžky, energie a ďalších veličín. Týmto veličinám sa hovorí **Planckove škály**.

Výsledné hodnoty sú viac než zarážajúce. Planckova dĺžka je rovná 10^{-35} m, Planckov čas 10^{-43} s a Planckova energia má hodnotu 10^{19} GeV. Potom sa ale musíme pýtať:

„Prečo je náš vesmír taký veľký a taký starý? Aký je význam Planckových škál?“

Zdá sa, že na niektoré otázky dávajú odpoveď dnešné kozmologické modely založené na zjednocovacích teóriách gravitácie s ostatnými interakciami. Planckov čas tu korešponduje s okamihom oddelenia gravitačnej interakcie od ostatných interakcií. Až od doby 10^{-43} s tu začína fungovať samostatná gravitačná interakcia a pre popis vesmíru je možné použiť všeobecnú relativitu. Predtým musíme uvažovať aj ostatné interakcie. Planckova energia je potom typickou energiou častíc v Planckovom čase, teda v dobe oddelenia gravitačnej interakcie. A Planckova dĺžka by mala symbolizovať rozmery zvinutých dimenzií.

Všetky štyri interakcie by sa mali chovať jednotne pri energiách vyšších, než je Planckova energia, t.j. v časoch kratších, než je Planckov čas. Vesmír mal pred týmto časom asi úplne iné vlastnosti a platili v ňom prírodné zákony, ktoré nepoznáme. Teplota vesmíru v Planckovom čase sa odhaduje na 10^{32} K a hustota na 10^{94} g cm⁻³.

V roku 2006 sa pokúsil Frank Wilczek spočítať náboje jednotlivých interakcií za predpokladu, že je gravitácia kvantovaná a na procesoch sa podieľa aj hypotetická častica poľa gravitačnej interakcie – gravitón. Elektrický náboj najprv s rastúcou energiou rastie (to je dané tienením elektrónu vákuovými elektrón-pozitronovými párami), potom pri extrémne vysokých energiách (nad 10^{18} GeV) začnú náboje všetkých troch interakcií prudko klesať, a preto budú mať v najranejších fázach vesmíru všetky tri kvantové interakcie veľmi malé väzbové konštanty. Predložené výpočty boli mnohými vedcami kritizované a boli v nich nájdené zásadné chyby.

Na sklonku roku 2010 boli publikované dva nové články na obdobnú tému. Prvý zhrňa výpočty Davida Tomsa z univerzity v Newcastle a druhý výpočty čínsko-japonskej skupiny vedcov (Hong-Jian He, Xu-Feng Wang, Zhong-Zhi Xianyu). V oboch článkoch je opäť vykonávaný výpočet závislosti väzbových konštánt na energiu. Do úvahy je braný vplyv kvantovej gravitácie. Oba články dokazujú, že základná myšlienka Wilczeka bola správna a korektné výpočty skutočne vedú k prudkému poklesu väzbových konštánt nad Planckovou energiou 10^{19} GeV. Všetky tri väzbové konštanty (náboje) sa stanú pre vyššie hodnoty energie nulové. V ranom vesmíre by podľa týchto výpočtov elektrón o svoj náboj prišiel... Pokiaľ sa ukáže, že výpočty sú skutočne správne a že tieto modely odpovedajú realite, bude to znamenať výrazný posun v riešení mozaiky jednotnej teórie všetkých štyroch interakcií a fakt, že na počiatku vesmíru žiadna prainterakcia neexistovala a všetky interakcie vznikli až v Planckovom čase.

Vesmír a topológia

Veľmi často kladenou otázkou je celkový tvar, čiže topológia vesmíru. Je vesmír konečný či nekonečný? Tvorí jednoducho súvislú množinu alebo sú v ňom diery ako v ementáli? Opäť si ale nepredstavujte existenciu nejakej hranice. Veď trebárs povrch kola pre neplavcov nemá žiadnu hranicu a aj napriek tomu je v ňom diera (v tej je zapasovaný dotýčny neplavec) a navyše je jeho povrch konečný! Keby sa po povrchu kruhu pohybovala dvojrozmerná bytosť, mohla by sa po čase dostať do toho istého miesta (dokonca opakovane). Pre takto topologicky usporiadaný vesmír by boli charakteristické mnohonásobné obrazy vzdialených galaxií. Na počiatku tisícročia boli obdobné modely veľmi populárne a dodnes existujú vedecké programy na vyhľadávanie periodicky sa opakujúcich štruktúr vo vesmíre. Seriózne ale musíme konštatovať, že celkovú topológiu vesmíru nepoznáme.

S topológiou súvisí ešte jedna zaujímavosť. Podľa teórie by sa v ranom vesmíre mali vytvárať topologické defekty v podobe kozmických strún (nezamieňajte so strunami ako elementárnymi časticami). Kozmické struny by mali byť lineárne gravitačné útvar, akési hmotné nite, ktoré sa postupne rozpadajú a pritom vznikajú gravitačné vlny. Odhaduje sa, že v dnešnom vesmíre by nemalo byť viac než 40 kozmických strún. Pre predstavu: cca 10km kozmickej struny by malo mať hmotnosť ako naša zemeguľa. Lenže kozmické struny doposiaľ nikto nevidel a žiaľ nič nenasvedčuje tomu, že by šlo o reálne útvar.

8. Miesto záveru – budúcnosť vesmíru je neistá

Doposiaľ sme sa zaoberali hlavne súčasným vesmírom, jeho globálnymi vlastnosťami a veľkorozmerovou štruktúrou. Zaujímali nás tiež prvotné fázy, v ktorých sa rodil vesmír a látka v ňom. Aká budúcnosť ale čaká náš vesmír? V priebehu 20. storočia sa odpoveď na túto otázku zdala ľahká. Podľa Fridmanovho riešenia z roku 1922 závisí osud vesmíru len na jeho priemernej hustote.

Ak je hustota vyššia než určitá kritická hranica, prevládne gravitácia, rozpínanie sa v budúcnosti zastaví a vesmír sa začne opäť zmršťovať. Jeho existencia skončí vo veľmi malej hustej a horúcej oblasti. Možno to bude koniec, a možno počiatok. Počiatok ďalšieho vesmíru

Moderná kozmológia alebo ako prednášať o kozmológii

v nekonečnom cykle narodenia a smrti. Takýto vesmír je kladne zakrivený a má konečný objem. V dvojrozmernej analógii odpovedá kladná krivosť napríklad povrchu lopty.

Pokiaľ je hustota vesmíru naopak nižšia než kritická, bude vesmír expandovať neustále, jednako sa expanzie budú spomaľovať. Takýto vesmír je nekonečný a má zápornú krivosť. V dvojrozmernej analógii tejto situácii zodpovedá horské sedlo alebo sedlo koňa. **Pokiaľ by hustota bola presne rovná kritickej, vesmír by mal nulovú krivosť (hovoríme, že by bol plochý), bol by nekonečný a expanzia by opäť neustále pokračovala.**

Zdalo sa teda, že stačí jediné: zmerať priemernú hustotu vo vesmíre a zistiť tak jeho budúci osud. Podľa mnohých meraní sa zdá, že vesmír je približne plochý, t.j. jeho hustota je rovná práve kritickej. Nemusí ísť o náhodu, pokiaľ vo vesmíre v ranej fáze prebehla inflácia, vesmír sa „vyhladiť“ a jeho parametre sa automaticky nastavili na parametre plochého vesmíru. Vesmír by teda mal byť nekonečný a expanzia by mala pokračovať naveky.

Lenže situácia nie je taká jednoduchá, ako sa zdalo v 20. rokoch 20. storočia. Uvedené úvahy platia, pokiaľ vesmír tvorí súvislú množinu (t.j. nie sú v ňom diery ako v ementáli). Pokiaľ by vesmír vyzeral ako torus (nafúknutá pneumatika), bude konečný, nikde nenarazíme na žiadnu hranicu, a aj napriek tomu bude obsahovať „dieru“. U množín, ktoré sú jednoducho súvislé, je možná aj kombinácia konečného vesmíru so zápornou krivosťou.

Ďalšou komplikáciou je objav zrýchlenej expanzie z roku 1998. Kým nebudeme presne poznať podstatu zrýchlenej expanzie, t.j. podstatu temnej energie, môžeme o budúcom osude vesmíru len špekulovať. V hre sú opäť všetky možnosti, záleží na vlastnostiach temnej energie. Na osude vesmíru sa môže podpísať aj to, či ide skutočne o akúsi bránu v mnohorozmernom časopriestore, ako predpovedá ekpyrotický model. Potom by vesmír mohol byť cyklický, opakovali by sa v ňom husté a horúce fázy zrodu s fázami zrýchlenej expanzie. V ekpyrotickom modeli nenájde nikde fázu zmršťovania.

Najpočetnejšia je skupina astronómov a fyzikov, ktorá predpokladá, že zrýchlená expanzia bude naďalej pokračovať. Pokiaľ by to bola pravda, čo sa stane s látkou vo vesmíre? Máme na mysli atomárnu látku, z ktorej sme stvorení a ktorú vnímame najviac. Všetko záleží na tom, či je protón stabilný alebo nie. Pokiaľ je nestabilný, tak sa v ďalekej budúcnosti rozpadne baryónová látka na obyčajné leptóny a žiarenie a z vesmíru veľmi veľa nezostane.

Podme popísať túto víziu tzv. **tepelnej smrti vesmíru**, ktorá pochádza od vynikajúceho sovietskeho a ruského teoretika Igora Novikova (1935), podrobnejšie. Majme na pamäti, že ide len o jeden z možných scenárov, ktorý by mohol platiť, pokiaľ bude expanzia naďalej pokračovať a protón je nestabilná častica.

Z látky vznikne ešte niekoľko generácií hviezd, ktoré ju budú obohacovať o stále ťažšie a ťažšie prvky tak dlho, až nebude tvorba ďalších hviezd možná. Zostanú tu len záverečné štádiá vývoja hviezd – bieli trpaslíci, neutrónové hviezdy a čierne diery. Tie budú v galaxiách obiehať okolo centrálnych, veľmi hmotných čiernych dier. Látka bude postupne chladnúť, ale tento proces sa v bielych trpaslíkoch zastaví na teplote približne 5K a v neutrónových hviezdach na teplote približne 100 K. Ďalšiemu poklesu teploty zabráni postupný rozpad protónov na leptóny a energia pri ňom uvoľňovaná. Látka trpaslíkov a neutrónových hviezd

bude pomaly rozkladaná a degradovaná zvnútra až z pôvodných hviezd zostanú len leptóny a žiarenie, ktoré sa rozptýli do priestoru. V tejto dobe (po uplynutí 10^{33} rokov, čo je minimálny odhadovaný polčas rozpadu protónu) tu zostanú už len čierne diery v mrazivom prostredí rozptýlených leptónov a žiarenie. Ale i čierne diery sa **Hawkingovým vyparovaním** budú veľmi pomaly meniť na leptóny a žiarenie. V čase 10^{100} rokov by tak vesmír mal zostať mrazivou pustatinou, v ktorej len tu a tam preletí elektrón, pozitron, neutríno či fotón.

9. Register osobností

Alpher, Ralph Asher (1921–2007). Americký fyzik známy hlavne svojou prácou o Veľkom tresku a predpovediach mikrovlnného žiarenia pozadia. Spolupracoval s Georgom Gamowom (bol jeho doktorandským študentom). Vydali spolu veľa článkov. Ich najznámejší článok, vydaný s Gamowom a Bethem podporuje teóriu Georga Lemaîtra o Veľkom tresku. Ich teória navrhuje realistické mechanizmy, akým mohlo v počiatkoch nášho vesmíru dôjsť. V rovnakom roku publikoval spolu s Robertom Hermanom článok, v ktorom predpovedá, že niekoľko stoviek rokov po Veľkom tresku muselo dôjsť k oddeleniu žiarenia od hmoty, ktoré by sme mali pozorovať ako reliktové žiarenie.

Ampere, André Maria (1775–1836). Francúzsky matematik a fyzik, ktorý ukázal, že okolo vodiča s pretekajúcim prúdom sa nachádza magnetické pole. Uskutočnil pokusy s natáčajúcou sa ručičkou kompasu a zistil vzájomný vzťah medzi smerom prúdu a magnetických siločiar, ktorý dnes nazývame Ampérove pravidlo pravej ruky. Magnetizmus vysvetľoval pomocou elektrických prúdov v molekulách. Zistil, že cievka s prúdom sa chová ako tyčový magnet. Taktiež ukázal, že dva vodiče s prúdom so zhodným smerom sa priťahujú, obrátené sa potom odpudzujú. Na jeho počesť je pomenovaná jednotka elektrického prúdu.

Anaxagoras (500–428 p. n. l.). Grécky filozof, patril k tzv. iónskej filozofickej škole. Podobne ako prvý atomisti považuje vesmír za zložený zo zárodkov s hierarchickou štruktúrou. Tento svet je riadený potrebou (mysľou, duchom, rozumom).

Anderson, Carl (1905–1991). Americký fyzik, ktorý spolu s Victorom Francisom Hessom z Rakúska získal v roku 1936 Nobelovu cenu za objav pozitronu (kladného elektrónu), prvej známej častice antihmoty. V roku 1936 Abderson objavili mión, ťažší elektrón.

Aristoteles zo Stageiry (384–322 p. n. l.). Grécky filozof považovaný za jedného z najväčších velikanov všetkých dôb. Bol žiakom Platóna. Aristoteles nesúhlasil s tým, že zákony prírody je možné získať experimentálnou cestou. V zoológii sa pokúsil o prvé triedenie živočíšnych druhov. Za centrum vesmíru považoval Zem (guľatú). Celý svet bol vybudovaný zo základných 4 elementov: zeme, ohňa, vody a vzduchu. Odmietal Demokritovo atomistické poňatie hmoty. Zaoberal sa deduktívnou logikou. Na základe svojej predstavy o pohybe (každý pohyb, proces, vývoj vedie k postupnému zdokonaľovaniu vecí alebo človeka) dospel k názoru, že každý pohyb má svoj cieľ, tzn. že každá vec speje k určitému miestu. Snažil sa ukázať, že sa planéty, Mesiac, Slnko a hviezdy pohybujú po kružnici.

Moderná kozmológia alebo ako prednášať o kozmológii

Auger, Pierre Victor (1899–1993). Francúzsky fyzik, ktorý sa zaoberal atómovou, jadrovou fyzikou a štúdiom kozmického žiarenia. Objavil sekundárne spršky kozmického žiarenia v atmosfére. Je po ňom pomenované Observatórium Pierra Augera v Argentíne.

Bacon, Roger (1214–1294). Anglický filozof a františkánsky kňaz, ktorý kládol dôraz na experimenty. Je prvým priekopníkom vedeckej metódy. Na základe fyzikálnych pokusov dospel napríklad k zákonu odrazu a lomu. Údajne bol taktiež vynikajúcim učiteľom.

Bose, Satyendra (1854–1948). Indický fyzik, ktorý sa zaoberal predovšetkým štatistikou. Na jeho počesť sú pomenované častice s celočíselným spinom, tzv. bozóny a jeho meno nesie štatistické rozdelenie týchto častíc (Bose-Einsteinovo rozdelenie). Názov bozóny pre tieto častice po prvýkrát použil P.A.M. Dirac. Zaoberal sa taktiež röntgenovou kryštalografiou, elektromagnetickými vlastnosťami ionosféry a jednotnou teóriou poľa.

Brahe, Tycho (1546–1601). Dánsky astronóm, ktorý vykonával presné merania (4'), aby experimentálne overil, či je správny Ptolemaiov alebo Koperníkov model Slnčnej sústavy. Nakoniec vytvoril model vlastný: Slnko obiehalo okolo Zeme a ostatné planéty obiehali okolo Slnka. Namerané dáta neskôr spracovával Kepler a poslúžili za základ odvodenia Keplerových zákonov. V roku 1577 pozoroval kométu a z paralaktických meraní určil, že sa nachádza za dráhou Mesiaca. V roku 1572 pozoroval supernovu (jedna z mála pozorovaných supernov v našej Galaxii – Tychova supernova).

Coulomb, Charles (1736–1806). Francúzsky fyzik, ktorý vykonával pokusy s torznými váhami (nezávisle na ňom popísal taktiež Priestley). Jeho výskumy ho viedli k záverom, že elektrické a magnetické sily ubúdajú s kvadrátom vzdialenosti. Pre javy elektrické vyšiel vzťah známi ako Coulombov zákon, aj keď ho už pred Coulombom zaviedol Robinson.

Dirac, Paul Adriane Maurice (1902–1984). Fenomenálny anglický teoretický fyzik. V roku 1928 našiel správnu rovnicu pre relativistický popis elektrónu, o rok neskôr predpovedal existenciu pozitronu (antičastice k elektrónu, bol objavený až v roku 1932). Ešte neskôr predpovedal existenciu antihmoty. Je otcom matematického formalizmu kvantovej teórie. Položil základy kvantovej elektrodynamiky a kvantovej teórie elektromagnetického poľa. Zaoberal sa dôsledkami, ktoré by so sebou niesla prípadná premenlivosť gravitačnej konštanty. Po celý život bol zástancom princípu jednoduchosti fyzikálnych rovníc. Ako jeden z prvých si uvedomil, že symetrie v prírode sú primárnym princípom pri zostavovaní správnych fyzikálnych rovníc. Bol aktívnym fyzikom až do konca života, ešte v 80. rokoch prednáša na Novom Zélande svoje revolučné teórie. Dirac získal Nobelovu cenu za fyziku za rok 1933.

Einstein, Albert (1879–1955). Nemecko-americký fyzik, v roku 1905 navrhol Špeciálnu teóriu relativity, v ktorej bol podaný korektný popis častíc pohybujúcich sa vysokými rýchlosťami. Einstein predpokladal, že rýchlosť svetla vo vákuu je konštantná a zákony fyziky platia rovnako pre všetky inerciálne sústavy. Einstein vedel o Michelsonovom-Morelyho experimente, ktorý ukázal, že rýchlosť svetla nezávisí na pohybu Zeme, ale nebol dôverne zoznámený s Lorentzovou prácou z roku 1895, preto nezávisle odvodil Lorentzovu transformáciu. V roku 1905 vysvetlil Einstein fotoelektrický jav za pomoci predpokladu, že sa

svetlo pozostáva z častíc, nazývaných fotóny. V roku 1916 Einstein publikoval Všeobecnú teóriu relativity, ktorá vysvetľuje gravitačné pôsobenie pohybom v zakrivenom časopriestore. Za objasnenie fotoelektrického javu získal Nobelovu cenu za fyziku v roku 1921.

Faraday, Michael (1791–1867). Anglický knihovník, ktorý sa zaujímal o elektrinu. Získal možnosť pracovať v Davyových laboratóriách, kde vykonával svoje experimenty. V roku 1821 napísal článok o súčasnom náhľade na elektrinu a magnetizmus, v ktorom uverejňuje Ørstedove pokusy. Bol jedným z najväčších experimentátorov vôbec. Keďže bol samouk, stávalo sa, že občas nerozumel matematike z Ampérových prác. Vlastnosti magnetickej sily viedli Faradaya k domnienke, že magnetická sila je kruhová. Taktiež objavil, že otáčanie magnetu je možné využiť k výrobe elektrického prúdu. V roku 1821 vzniklo dynamo (zariadenie, ktoré je schopné premeniť pohyb na elektrinu). V roku 1831 objavil elektromagnetickú indukciu a v roku 1857 formuloval zákony pre elektrolyzu. V rokoch 1839–1855 publikoval svoje výsledky v trojväzbovom diele *Experimental Researches in Electricity*. V roku 1845 vytvoril koncept, ktorý popisoval elektrické a magnetické polia. Experimentoval taktiež s dielektrikami v kondenzátoroch. Zobrazil magnetické pole tyčového magnetu pomocou železných pilín.

Fermi, Enrico (1901–1954). Taliansko-americký fyzik, ktorý sa venoval predovšetkým kvantovej teórii a teórii elementárnych častíc. Malú neutrálnu časticu, ktorá vzniká pri beta rozpade, pomenoval neutríno (v taliančine malý neutrón). Na jeho počesť sú pomenované častice s poločíselným spinom ako fermióny. Ide o častice, ktoré spĺňajú Pauliho vylučovací princíp, t.j. dve sa nemôžu nachádzať v rovnakom kvantovom stave (sú „neznášanlivé“). Tieto častice spĺňajú štatistické rozdelenie pomenované Fermi-Diracovo rozdelenie. Enrico Fermi skonštruoval a spustil v roku 1942 na univerzitnom štadióne v Chicagu prvý jadrový reaktor na svete. Bol postavený z grafitových tehličiek, ktoré slúžili súčasne ako moderátor. V roku 1943 založil Aragonne National Laboratory. Enrico Fermi sa taktiež zaoberal spôsobom urýchľovania kozmického žiarenia a navrhol štatistické urýchlenie nabitých častíc pri ich odrazoch od magnetických zrkadiel. Dnes tento mechanizmus nazývame Fermiho mechanizmus. V roku 1938 bol vyznamenaný Nobelovou cenou za fyziku za objav umelých rádioaktívnych prvkov, ktoré vznikajú z jadier pri ostreľovaní neutrónmi. Podľa Fermiho je pomenované röntgenové observatórium vypustené do vesmíru v roku 2008.

Filolaos z Krotónu (asi 470–385 p. n. l.). Bol Sokratovým vrstovníkom a žil na Sicílii. Pravdepodobne bol prvý, kto použil slovo kozmos pre vesmír ako celok. Slove je gréckeho pôvodu a znamená ozdobu, šperk alebo rád.

Fridman, Alexandr (1888–1925). Ruský matematik, ktorý v roku 1922 vynašiel nestacionárne riešenie Einsteinových rovníc všeobecnej relativity pre homogénny vesmír. Fridmanovo riešenie znamenalo nutnosť rozpinania alebo zmršťovania vesmíru. Vytvoril prvý kozmologický model začínajúci Veľkým treskom nezávisle na Lemaîtrevi. Ukázal tiež, že vesmíry so zápornou a nulovou krivosťou majú nekonečné rozmery, pokiaľ sú jednoducho súvislé, t.j. ich geometria nemá „diery“ ako ementál.

Gamow, George (1904–1968). Rusko-americký fyzik, ktorý pracoval na teórii alfa rozpadu, ktorého príčinu videl v tunelovaní cez jadrovú potenciálovú bariéru. Je autorom tzv.

Moderná kozmológia alebo ako prednášať o kozmológii

kvapkového modelu atómového jadra, v ktorom sa jadro chová ako kmitajúca kvapka, ktorá sa pri štiepení rozdelí na dve. Dokázal, že v momente, keď hviezda spaľuje vodík, sa zahrieva. Podporoval Lemaîtreovu teóriu Veľkého tresku. Je autorom prvého horúceho modelu vesmíru (1948), predpovedal oddelenie žiarenia od hmoty niekoľko sto tisíc rokov po Veľkom tresku a jeho ďalšiu samostatnú existenciu. Dnes toto žiarenie poznáme ako reliktové mikrovlnné žiarenie.

Glashow, Sheldon (1932). Americký fyzik, zaoberá sa kvantovou teóriou poľa. Je spoluautorom zjednocovania magnetickej a slabej interakcie. Spolu s Weinbergerom a Salamom získal za túto prácu Nobelovu cenu za fyziku v roku 1979.

Gross, David Jonathan (1941). Americký teoretický fyzik, ktorý je spoluobjaviteľom tzv. asymptotickej voľnosti silnej interakcie kvarkov a gluónov v rámci kvantovej chromodynamiky. Táto teória spolu s vtedy už známou teóriou elektroslabých interakcií vytvorila základy dnešného štandardného modelu fyziky elementárnych častíc. Spolu s Wilczekom a Politzerom získal Nobelovu cenu za fyziku pre rok 2004.

Gurzadyan, Vahe. Arménsky teoretický fyzik. Zaoberá sa teóriou chaosu, stelárnou dynamikou a kvantovou kozmológiou, reliktným žiarením a veľkoškálovými štruktúrami vo vesmíre.

Guth, Alan (1946). Vynikajúci americký teoretik, profesor na MIT, ktorý ako prvý v roku 1980 vytvoril inflačnú teóriu. V raných fázach sa vesmír po krátku dobu rozpínal exponenciálne (tzv. inflačná fáza). Táto inflačná fáza je zodpovedná za dnešný stav vesmíru (celková homogenita a krivosť blízku jednej).

Hawking, Stephen (1942). Britský teoretik, ktorý ukázal, že v rámci všeobecnej relativity je nevyhnutná počiatočná singularita vo vývoji vesmíru (Veľký tresk). Neskôr ukázal, že v prípade kombinácie všeobecnej relativity s kvantovou teóriou táto singularita nie je nevyhnutná. Študoval teóriu čiernych dier, zaviedol entropiu a teplotu čiernej diery, zaoberal sa termodynamikou čiernych dier. Navrhol mechanizmus žiarenia čiernych dier, tzv. Hawkingovo vyparovanie. Pokúša sa o spojenie kvantovej teórie a všeobecnej relativity. Je autorom niekoľkých mimoriadne kvalitných populárnych kníh (napríklad Stručná história času).

Heaviside, Oliver (1850–1925). Anglický fyzik a matematik. Odvodil techniku použitia Laplaceovej transformácie na riešenie obyčajných diferenciálnych rovníc. Spolu s Hertzom preformuloval Maxwellove rovnice elektromagnetického poľa tak, aby boli použiteľné pre výpočty polí. Odvodil pole okolo pohybujúceho sa náboja.

Herman, Robert (1914–1997). Americký fyzik, spolu s Ralphom Alpherom ako prví odhadli teplotu reliktného žiarenia. Podieľal sa aj na práci Gamowa a Alpera venovanej vzniku prvkov v počiatočných fázach Veľkého tresku, na článku z roku 1948 ale uvedený nebol, pod článkom boli na Gamowov popud podpísaní Alpher, Bethe a Gamow (išlo o Gamowov vtip, Gamow chcel, aby mená autorov pripomínali začiatok gréckej abecedy). Reliktne žiarenie objavili náhodou v roku 1965 Penzias a Wilson a za tento objav získali Nobelovu cenu za fyziku. Jej udelenie komentoval Herman so slovami: “Cenu nedávate konkrétnemu človeku, ale výsledkom práce tejto oblasti.” Neskôr sa Herman zaoberal teóriou dopravnej prevádzky

a inteligentnými dopravnými systémami. V 80. rokoch tvoril sochy zo vzácnych drieb a kovov a hľadal v nich vzťah medzi hmotou a ľudskou predstavivosťou.

Herschel, William (1738–1822). Vynikajúci anglický astronóm, skonštruoval najväčší zrkadlový ďalekohľad na svete. V roku 1781 objavil planétu Urán, v roku 1787 objavil Uránové mesiace Oberon a Titania, v roku 1789 mesiace Enceladus a Mimas. Bol mimoriadne starostlivý pozorovateľ a na základe jeho pozorovaní bol neskôr vybudovaný katalóg NGC (New General Catalog of Nebulae and Clusters of Stars). Objavil infračervené žiarenie v spektre (pomocou zvýšenej teploty na teplomere, na ktorý dopadali neviditeľné lúče z tejto oblasti spektra). Zistil, že kryštály môžu stáčať rovinu polarizácie svetla. Po Herschelovi je pomenovaný najväčší ďalekohľad dopravený ľudstvom do vesmíru, Herschelovo observatórium s 3,5 metrovým ďalekohľadom pre infračervený odbor, ktoré funguje od roku 2009.

Hertz, Heinrich (1857–1894). Nemecký fyzik, ktorý v roku 1888 dokázal experimentálne existenciu elektromagnetických vĺn. Ukázal, že jeho vlny majú rovnakú povahu ako svetlo. Spolu s Heavisidom preformuloval Maxwellove rovnice do dnešnej podoby, ktorá je použiteľná na výpočty. Kritizoval Maxwellovu definíciu náboja a posuvného prúdu a dal týmto definíciám poriadny matematický základ. Na jeho počesť je pomenovaná jednotka frekvencie Hertz.

Hess, Victor Franz (1883–1964). Rakúsko-americký fyzik, nositeľ Nobelovej ceny pre rok 1936 za objav kozmického žiarenia. Pôsobil v Rakúsku aj v Spojených štátoch. V roku 1911 vykonával pomocou balónu prieskum ionizácie atmosféry vo výške 5000 metrov a objavil kozmické žiarenie spôsobujúce túto ionizáciu. Nobelovu cenu zdieľa s americkým fyzikom Carlom Davidom Andersonom.

Higgs, Peter (1929). Škótsky teoretický fyzik a matematik, ktorý v roku 1964 predpovedal existenciu častice nazvanej neskôr Higgsov bozón. Táto častica by mala byť zodpovedná za narušenie elektroslabej symetrie a za nenulovú hmotnosť častíc poľa Z a W.

Hoyle, Fred (1915–2001). Anglický astronóm a matematik, ktorý sa zaoberal syntézou prvkov vo vnútri hviezd. Bol zarytým odporcom teórie Veľkého tresku. Je pôvodcom samotného názvu „Veľký tresk“, ktorý mal byť posmešným označením teórie horúceho pôvodu vesmíru. Hoyle sa preslávil taktiež ako spisovateľ sci-fi poviedok.

Hubble, Edwin Powell (1889–1953). Americký astronóm, vedúca osobnosť astronómie 20. storočia. V roku 1923 s 2,5 metrovým Hookovým ďalekohľadom na observatóriu Mt. Wilson skúmal hmlovinu v Andromede a zistil, že ide o cudziu galaxiu. Potom objavil množstvo ďalších galaxií. Hubble sa detailne zaoberal objavovanými galaxiami a navrhol ich klasifikáciu. V roku 1929 zistil pri pozorovaní 46 vzdialených galaxií, že sa od nás všetky vzdiaľujú a to úmerne ich vzdialenosti. Hubblove merania boli založené na Dopplerovom posune spektrálnych čiar a stali sa prvým priamym experimentálnym dôkazom rozpínania vesmíru. Podľa Edwina Hubbla je pomenovaný Hubblov vesmírny ďalekohľad, ktorý bol navedený na obežnú dráhu Zeme v roku 1990 a stal sa jedným z najvýznamnejších astronomických prístrojov súčasnosti.

Chandrasekhar, Subramanyan (1910–1995). Indický astrofyzik, ktorý pracoval v Anglicku, neskôr v USA. Zaoberal sa hlavne teóriou stavby hviezd. Odvodil maximálnu

Moderná kozmológia alebo ako prednášať o kozmológii

možnú hmotnosť bieleho trpaslíka (1,44 hmotnosti Slnka, Chandrasekharova medza). Nad touto hranicou je trpaslík nestabilný. Ďalej sa Chandrasekhar zaoberal matematickou teóriou čiernych dier a všeobecnou relativitou. Na jeho počesť je pomenovaná röntgenová družica Chandra, vypustená v roku 1999. V štatistickej fyzike a vo fyzike plazmy sa používa Chandrasekharova funkcia.

Kaluza, Theodor Franz Eduard (1885–1945). Nemecký matematik, ktorý zasvätil život tvorbe jednotnej teórie gravitačného a elektromagnetického poľa. Vykonával úspešné pokusy o nekvantové zjednotenie v piatich dimenziách. Dnes sú tieto modely známe pod názvom Kaluza-Kleinove teórie (Oskar Klein, nie Felix Klein). Tento model mal výraznú podporu Alberta Einsteina.

Kepler, Johannes (1571–1630). Nemecký matematik a astronóm, ktorý sa stal asistentom Braheho. Tým získal prístup k jeho planetárnym tabuľkám, na základe ktorých odvodiť Keplerove zákony (základné zákony mechaniky pohybu planét). Prvý zákon hovorí o tom, že planéty obiehajú okolo Slnka po elipsách s malou výstrednosťou. Druhý hovorí, že polohový vektor (Slnko - planéta) opíše za jednotku času rovnakú plochu. A tretí: druhé mocniny obežných dôb dvoch planét sú v rovnakom pomere ako tretie mocniny ich hlavných polosí. V roku 1604 Kepler pozoroval jednu z mála supernov viditeľných ľudským okom (Keplerova supernova).

Klein, Oskar Benjamin (1894–1977). Švédsky teoretický fyzik. Je spoluautorom Kaluza-Klenovho modelu, ktorý sa po prvýkrát pokúsil zjednotiť elektrinu a magnetizmus s gravitáciou pomocou pridania ďalšej, piatej dimenzie. Dnes sa podobný postup používa aj v teórii strún. Je taktiež spolutvorcom Kleinovej-Gordonovej rovnice z roku 1927, ktorá je správnou kvantovou relativistickou rovnicou pre častice s nulovým spinom. Spolu s Alfvénom zastával názor, že deje vo vesmíre dominantne ovplyvňuje elektromagnetická interakcia. Podľa Kleina je taktiež pomenovaný Kleinov paradox (relativistická nehmotná častica nie je pri prechode potenciálovou bariérou exponenciálne tlmená). Jav bol experimentálne overený pri pohybe elektrónu s nulovou efektívnou hmotnosťou v graféne.

Koperník, Mikuláš (1473–1543). Poľský astronóm, ktorý je autorom heliocentrického systému. Spektrum jeho záujmu bolo nesmierne široké. Bol nielen astronóm a matematik, ale aj lekár, právnik a rímskokatolícky duchovný. Tieto profesie skutočne vykonával, bol napríklad osobným lekárom varmiňského biskupa.

Lemaître, George (1894–1966). Belgický kňaz, profesor fyziky, astronóm a kozmológ. Nezávisle na Fridmanovi odvodiť v roku 1927 riešenie expandujúceho vesmíru z rovníc všeobecnej relativity. Bol prvým zástancom horúceho pôvodu sveta (hovoril o hypotéze prvotného atómu, názov Veľký tresk pochádza z neskoršej doby), ktorý rozpracoval George Gamow s Hermanom a Alpherom. Najčastejšie bol oslovovaný abbé (označenie francúzskeho rímskokatolíckeho kňaza).

Linde, Andrej (1948). Rusko-americký teoretický fyzik, ktorý je známy prácami venovanými inflačnej fáze vývoja vesmíru. Je autorom konceptu dcérskych vesmírov

vznikajúcich v pôvodnom vesmíre ako nový vákuový stav s nižšou energiou, než mal pôvodný vesmír.

Mather, John (1946). Americký astrofyzik a kozmológ, špecialista na infračervenú astronómiu. V Goddardovom letovom stredisku bol vedúcou osobnosťou pri návrhu družice COBE (Cosmic Background Explorer), kde priamo vyvíjal spektrometer FIRAS (Far Infrared Absolute Spectrophotometer). Na základe meraní družice ukázal, že reliktové žiarenie má charakter žiarenia absolútne čierneho telesa s relatívnou presnosťou 10^{-3} . Podieľal sa na vývoji ďalekohľadu JWST (James Webb Space Telescope, ďalekohľad Jamesa Webba), siete rádioteleskopov ALMA (Atacama Large Millimeter Array) aj ďalších významných prístrojov.

Meer, van der (1925). Holandský fyzik, pôsobí v Európskom stredisku jadrového výskumu CERN. Pripravoval spolu s Rubbiom experimenty, ktoré viedli k objavu častíc poľa slabej interakcie (W^+ , W^- , Z_0). Za tieto práce získal v roku 1984 Nobelovu cenu.

Newton, Isaac (1643–1727). Newton bol anglickým fyzikom, géniom v experimentovaní aj matematike a práve táto kombinácia mu umožnila založiť novú mechaniku. Jeho metóda bola jednoduchosť sama: “na základe pohybových javov preskúmať prírodné sily a potom použiť tieto sily k vysvetleniu ďalších javov”. Newtonova genialita ho doviedla k vytvoreniu nového a základného matematického prostriedku – matematickej analýzy (súčasne objavené Gottfriedom Leibnizom) – čo mu umožnilo vykonávať predpovede pohybov. Výsledky svojho snaženia popísal v spise *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Matematické základy prírodnej filozofie), ktorý bol vydaný v roku 1687. Tu bola obsiahnutá nová fyzika, použiteľná rovnako dobre pre pozemské aj nebeské telesá. Newtonova analýza síl dala za pravdu Koperníkovi, Keplerovi a Galileovi.

Ørsted, Hans (1777–1851). Dánsky fyzik a filozof, ktorý v roku 1819 objavil vychýľovanie ručičky kompasu v blízkosti obvodu s elektrickým prúdom a svojim objavom podnietil celý rad ďalších experimentov, ktoré viedli k pochopeniu zákonov elektromagnetizmu.

Pauli, Wolfgang (1900–1958). Nemecký fyzik, ktorý v roku 1925 sformuloval Pauliho vylučovací princíp: dva fermióny sa nemôžu nachádzať v rovnakom kvantovom stave. Významne sa podieľal na vzniku kvantovej mechaniky. Z energetickej bilancie beta rozpadu usúdil, že je časť energie odnášaná malou neutrálnou časticou. Neskôr bola táto častica nazvaná neutríno a objavená bola až v roku 1956. Je po ňom pomenovaná Pauliho rovnica, prvá kvantová rovnica, ktorá obsahovala spin. Za svoje práce, hlavne za objav vylučovacieho princípu, získal v roku 1945 Nobelovu cenu za fyziku.

Penrose, Roger (1931). Anglický teoretický fyzik a matematik, ktorý sa zaoberá hlavne všeobecnou relativitou a kozmológiou. Vždy kládol dôraz na matematickú stránku teórií. Zaoberal sa Hawkingovým žiarením a ďalšími javmi na pomedzí všeobecnej relativity a kvantovej teórie. V roku 1974 vynašiel neperiodické pokrytie roviny za pomoci rovnobežníkov.

Penzias, Arno Allan (1933). Nemecko-americký fyzik, ktorý spoločne s Robertom Wilsonom objavil v roku 1965 v Bellových laboratóriách reliktové elektromagnetické žiarenie.

Moderná kozmológia alebo ako prednášať o kozmológii

Toto žiarenie pochádza z doby 400 tisíc rokov po vzniku sveta a stalo sa významných svedectvom o prvých fázach vývoja vesmíru. Za tento objav získali Penzias a Wilson Nobelovu cenu za fyziku za rok 1978. Anro Penzias pracoval v Bellových telefónnych laboratóriách, od roku 1976 bol riaditeľom laboratória Bell Radio Research Laboratory a v roku 1981 sa stal viceprezidentom pre výskum v Bellových laboratóriách.

Perlmutter, Saul (1959). Americký astrofyzik z Lawrenceovho národného laboratória v Berkeley. Viedol tím, ktorý v roku 1998 objavil zrýchlenú expanziu vesmíru (nezávisle ju tiež objavila skupina vedená Adamom Riessom). V súčasnosti je vedúcou osobnosťou projektu SCP (Supernova Cosmology Project) a významne sa podieľa na príprave sondy SNAP (Supernova/Acceleration Probe), ktorá bude slúžiť k určovaniu vzdialenosti galaxií za pomoci supernovy typu Ia.

Planck, Max (1858–1947). Nemecký fyzik, ktorý sformuloval rovnicu popisujúcu vyžarovanie absolútne čierneho telesa za predpokladu, že energia je kvantovaná a elementárne kvantum je úmerné frekvencii. Tento predpoklad zaviedol rýdzo matematicky, aby rovnice boli riešiteľné. Fyzikálnej interpretácii príliš nedôveroval. V roku 1918 získal Nobelovu cenu za kvantovú teóriu, úspešne vyskúšanú Einsteinom na fotoelektrickom jave a Bohrom na prvom modeli atómu. Planck bol kritikom pravdepodobnostnej interpretácie entropie. V roku 1900 po prvýkrát použil univerzálnu plynovú konštantu a Avogadorove číslo. Po Maxovi Planckovi je pomenovaná najväčšia sieť vedeckých ústavov v Nemecku a európska sonda Planck určená na výskum reliktového žiarenia.

Politzer, David Hugh (1949). Americký teoretický fyzik, ktorý je spoluobjaviteľom tzv. asymptotickej voľnosti silnej interakcie kvarkov a gluónov v rámci kvantovej chromodynamiky. Za túto prácu, ktorú začal vo svojich 24 rokoch, získal spolu s Wilczekom a Grossom Nobelovu cenu za fyziku za rok 2004.

Ptolemaios (90–168 n. l.). Grécky filozof, ktorý rozpracoval a spresnil Hipparchov systém epicyklov a excentrických kružníc k vysvetleniu geocentrickej teórie Slnecnej sústavy. Tento systém, ktorý je teraz známy ako Ptolemaiov, je popísaný v diele Almagest, ktorého súčasťou je aj katalóg hviezd v 48 súhvezdiach, ktorých názvy používame dodnes.

Pythagoras (570–495 p. n. l.). Grécky filozof a matematik, zakladateľ pythagorskej školy (pythagorejci). Zaoberal sa štúdiom čísel, ktoré sú podľa pythagorejcov základom všetkého. Pythagoras bol prvý Grék, ktorý si uvedomil, že Večernica aj Zornička sú jednou a tou istou planétou – Venušou. Prehlásil, že Zem je guľatá a rozšíril Anaximandrov model sfér. Do jeho stredu kládol centrálny oheň. V matematike sa preslávil Pythagorovou vetou, podľa ktorej je druhá mocnina prepony v pravouhlom trojuholníku rovná súčtu druhých mocnín odvesien. Celočíselným riešeniam sa hovorí pythagorejské trojice.

Riess, Adam (1969). Americký astrofyzik z Univerzity Johna Hopkinsa a z STSI (Space Telescope Science Institute). Viedol tím, ktorý v roku 1998 objavil zrýchlenú expanziu vesmíru (nezávisle ju objavila aj skupina vedená Sulom Perlmutterom). V súčasnosti sa zaoberá sledovaním a objavovaním vzdialených supernov pomocou Hubblovho vesmírneho ďalekohľadu.

Rubbia, Carlo (1934). Taliansky fyzik, ktorý spolu s Van der Meerom objavil v Európskom stredisku jadrového výskumu CERN častice poľa slabej interakcie (W^+ , W^- , Z_0). Za tieto práce získali v roku 1984 Nobelovu cenu za fyziku. Neskôr sa stal na veľa rokov riaditeľom strediska CERN.

Rubínová, Vera, Cooper (1928). Americká astronómka zaoberajúca sa problematikou rýchlosti rotácie Galaxie. Jej objav plochej rotačnej krivky z roku 1968 je najvýraznejším dôkazom existencie temnej hmoty. Je po nej pomenovaný asteroid 5726 Rubin.

Sacharov, Andrej Dmitrijevič (1921–1989). Vynikajúci sovietsky teoretik, ktorý sa odmietol podieľať na stavbe sovietskej atómovej bomby, avšak od roku 1948 sa aktívne zúčastnil vývoja sovietskej vodíkovej bomby. Stál pri zrode prvej vodíkovej bomby aj pri teste doposiaľ najväčšej vyskúšanej bomby Car v roku 1961. Spolu s Igorom Tammom navrhol zariadenie tokamak dnes bežne využívané pri experimentoch s termojadrovou fúziou. V roku 1968 navrhol, že za nerovnováhu medzi hmotou a antihmotou vo vesmíre je zodpovedné narušenie CP symetrie v silnej interakcii. Sacharov sa veľmi angažoval v politickom dianí, hlavne čo sa týkalo rôznych zmlúv o obmedzení jadrového zbrojenia. V roku 1975 získal Nobelovu cenu za mier, ktorú mu sovietske vedenie neumožnilo prevziať. V roku 1979 otvorene kritizoval obsadenie Afganistanu Sovietskym zväzom. Rýchlo nasledovalo zatknutie a odobratie všetkých cien a vyznamenaní. S manželkou bol deportovaný do Gorkého. Po roku 1986 došlo k zmene pomerov a Sacharov sa mohol vrátiť a pokračovať vo svojej práci.

Salam, Abdus (1926–1996). Pakistanský fyzik, ktorý pracoval na teórii zjednotenia elektromagnetickej a slabej interakcie. Spolu s Glashowom a Weinbergom predpovedali existenciu častíc poľa elektroslabej interakcie vrátane ich vlastností. Za tieto práce získali všetci traja Nobelovu cenu za fyziku pre rok 1979. Predpovedané častice boli objavené Rubbiom a Meerom v roku 1984.

Sloan, Alfred Pritchard (1875–1966). Dlhoročný prezident a predseda správnej rady automobilovej spoločnosti General Motors. Je zakladateľom Sloanovej nadácie, ktorá podporuje významné vedecké projekty. V rámci tejto nadácie vznikla doposiaľ najväčšia celooblohová prehliadka SDSS (Sloan Digital Sky Survey).

Smoot, George (1945). Americký odborník na kozmológiu a časticovú fyziku. Zaoberá sa výskumom reliktového žiarenia. Spracoval výsledky z družice COBE (Cosmic Background Explorer), na ktorej je autorom prístroja DMR (Differential Microwave Radiometer). Zúčastnil sa ďalších leteckých, balónových a pozemných experimentov s reliktovým žiarením. Jeho zásluhou boli výrazne spresnené merania anizotropie a spektra reliktového žiarenia. Podieľal sa na balónových experimentoch, pri ktorých bolo reliktové žiarenie skúmané pomocou spektrometrov so supravodivými magnetmi. Ďalej výrazným podielom prispel pri príprave družíc HEAO (High Energy Astronomy Observatory) určených na výskum kozmického žiarenia. Tu navrhol a testoval kryostat so supravodivým magnetom a dobou životnosti 1 rok. Bol konštruktérom absorpčných čítačov spŕšok kozmického žiarenia a kalorimetrov pre Bevatron a SLAC (Stanford Linear Accelerator). Vyvíjal aj spektrometer so supravodivým magnetom pre Medzinárodnú kozmickú stanicu. V roku 2006 získal spolu s Matherom Nobelovu cenu za výskum reliktového žiarenia.

Steinhardt, Paul (1952). Americký astrofyzik, pôsobí ako profesor teoretickej fyziky v Princetone. Venuje sa kozmológii, je jedným z autorov Inflačného modelu vesmíru. Zaviedol koncept kvintesencie ako vysvetlenia podstaty temnej energie, pokiaľ by bola jej hustota premenená v čase. V roku 2002 publikoval spolu s Turokom ekpyrotický model cyklického vesmíru, podľa ktorého vznikol vesmír dotykom dvoch brán vo viacrozmernom svete. Vzkriesil tak cyklický model vesmíru gréckych stoikov.

Turok, Neil Geoffrey (1958). Teoretik juhoafrického pôvodu. Študoval v anglickom Cambridge, kde sa stal v roku 1997 vedúcim katedry teoretickej fyziky v Cambridge. Od roku 2008 vedie Perimeter Institute v Kanade. Predpovedal koreláciu medzi teplotnými fluktuáciami reliktového žiarenia a jeho polarizáciou, ktorá bola neskôr objavená sondou WMAP. Spolu s Paulom Steinhardtom publikoval v roku 2002 hypotézu ekpyrotického modelu vesmíru, podľa ktorého vznikol vesmír dotykom dvoch brán vo viacrozmernom svete. Vzkriesil tak cyklický model gréckych stoikov.

Weinberg, Steven (1933). Americký teoretický fyzik, ktorý zasvätil život kvantovej teórii poľa. Pracoval na teórii zjednotenia elektromagnetickej a slabej interakcie. Spolu s Glashowom a Salamom predpovedali existenciu častíc poľa elektroslabej interakcie vrátane ich hmotností. Za tieto práce získali všetci traja Nobelovu cenu za fyziku za rok 1979. Predpovedané častice boli objavené Carlo Rubbiom a Van der Meerom v roku 1984.

Wilczek, Frank (1951). Americký teoretický fyzik, pod vedením Davida Grossa objavil na Chicagskej univerzite tzv. asymptotickú voľnosť silnej interakcie kvarkov a gluónov. Nezávisle uskutočnil výpočet aj David Politzer z Harvardu. Podľa výpočtov sa intenzita silnej interakcie medzi farebnými kvarkmi zoslabuje až k nule, pokiaľ sa kvarky k sebe približujú. A ak sú kvarky vedľa seba vo veľmi malej vzdialenosti, tak je pôsobenie medzi nimi tak slabé, že sa chovajú ako takmer voľné častice. Všetci traja získali Nobelovu cenu za fyziku za rok 2004. Táto teória spolu s vtedy už známou teóriou elektroslabých interakcií vytvorila základy dnešného štandardného modelu fyziky elementárnych častíc. Frank Wilczek je považovaný za jedného z najvýznamnejších teoretických fyzikov súčasnosti.

Wilson, Robert Woodrow (1936). Americký fyzik. Spolu s Arno Penziasom objavil reliktové elektromagnetické žiarenie v roku 1965 v Bellových laboratóriách. Toto žiarenie pochádza z doby 400 tisíc rokov po vzniku sveta a stalo sa významným svedectvom o prvých fázach vývoja vesmíru. Za tento objav získali Penzias a Wilson Nobelovu cenu za fyziku za rok 1978. Robert Wilson pracoval v rokoch 1963-1976 v Bellových telefónnych laboratóriách v New Jersey. Od roku 1976 viedol oddelenie rádiového výskumu v Bellových laboratóriách. V roku 1979 sa stal členom americkej akadémie vied.

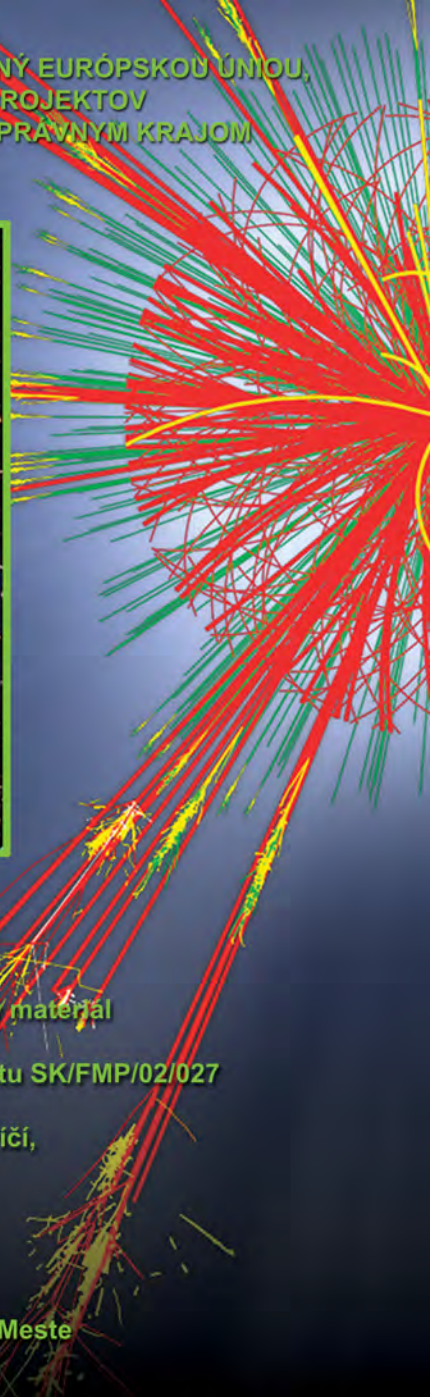
Yukawa, Hideki (1907–1981). Japonský fyzik, študoval sily držiace pohromade atómové jadro. Teoreticky predpovedal pión, ako časticu podieľajúcu sa na interakcii medzi neutrónom a protónom. Pión je približne 200krát hmotnejší než elektrón. Vytvoril prvú teóriu silnej interakcie, v ktorej ako výmenné častice fungovali mezóny. Je po ňom pomenovaný Yukawow potenciál silnej interakcie. Za práce na silnej interakcii dostal v roku 1949 Nobelovu cenu.

Zwickey, Fritz (1898–1974). Švajčiarsky astronóm, ktorý pracoval väčšinu svojho života v Kalifornii. Narodil sa v bulharskej Varne, vyštudoval vo Švajčiarsku a v roku 1925 odišiel na Caltech k Robertovi Millikanovi. Bol považovaný za vedeckého génia, ktorý sa nebál nových prístupov a postupov, ale taktiež bol aj široko známy svojim svojráznym a často urážlivým humorom. Prvým väčším prínosom bola teória „unaveného svetla“ z roku 1929, ktorá vysvetľovala červený posuv pozorovaný Hubblov postupným strácaním energie fotónov v dôsledku prítomnosti gravitačných polí vo vesmíre. V roku 1933 odhalil, že v miestach, kde sa nachádzajú galaxie musí byť niečo, čo dnes nazývame temnou hmotou. O rok neskôr s Walterom Baadeom vymyslel slovo „supernova“, o ktorej predpokladal, že vzniká pri kolapse normálnej hviezdy na neutrónovú. Neutrón bol pritom objavený len krátko predtým. Zwickyho výmyslom z roku 1937 boli gravitačné šošovky. Správne predpokladal, že kopy galaxií môžu svojím gravitačným poľom ohýbať svetlo ešte vzdialenejších zdrojov. V rokoch 1937-1941 objavil 18 supernov v iných galaxiách. Do tej doby bolo známych len 12 supernov mimo našu galaxiu. V rokoch 1943-1946 sa podieľal na vývoji prvých tryskových motorov v spoločnosti Aerojet Engineering Corporation v Arizone, kde bol riaditeľom výskumu.

Obsah

1.	Slovo autora.....	1
2.	Čo je to kozmológia.....	2
3.	Stovky rokov hľadania ako vznikol svet.....	3
	Pohľad dnešný	4
	Pohľady minulé.....	5
4.	Úsvit nášho poznania.....	7
	Problém sily vo fyzike.....	7
	Všeobecná relativita	7
	Kvantová teória poľa.....	8
	Desať veľkých udalostí v novodobom poznaní vesmíru	9
5.	Veľký tresk a ďalší vývoj vesmíru	12
	Časticový zverinec.....	14
	Zjednocovanie interakcií.....	17
	Javy elektrické a magnetické.....	17
	Elektroslabá interakcia.....	17
	Silná interakcia a Veľké zjednotenie (GUT).....	18
	Teória všetkého (TOE)	18
	Časová os	18
6.	Pozorovacie dôkazy štandardného modelu	21
	Priame pozorovania štruktúr.....	22
	Hubblovo hlboké pole.....	22
	Celooblohové prehliadky	23
	Supernovy Ia	25
	Nepriame pozorovania	25
	Reliktové žiarenie	25
	Rekonštrukcia rozloženia temnej hmoty	26
	Zastúpenie ľahkých prvkov	26
	Reliktové gravitačné vlny	26
	Časticové experimenty.....	26
	Malý tresk	26
	Pierre Auger	27
	AMS 02	27
7.	Neoverené teórie a hypotézy	28
	Čo bolo pred vesmírom?.....	28
	Mnohorozmerný svet.....	29
	Superpartneri.....	30
	Ekpyrotický model, pokračovanie modelu stoikov.....	31
	Hypotézy o temnej hmote a temnej energii.....	32
	Antihmota vo vesmíre.....	33
	Úloha Planckových škál.....	34
	Vesmír a topológia.....	35
8.	Miesto záveru – budúcnosť vesmíru je neistá	35
9.	Register osobností.....	37

TENTO MIKROPROJEKT JE SPOLUFINANCOVANÝ EURÓPSKOU ÚNIOU,
Z PROSTRIEDKOV FONDŮ MIKROPROJEKTOV
SPRAVOVANÉHO TREŇČIANSKYM SAMOSPRÁVNÝM KRAJOM



Publikácia bola vydaná ako metodický a študijný materiál
v rámci aktivít projektu
„Výstavou k spolupráci a poznaniu“, kód projektu SK/FMP/02/027

Partnerom projektu je Hvezdárna Valašské Meziříčí,
príspevková organizácia Zlínskeho kraja

Autor: prof. RNDr. Petr Kulhánek, CSc.
Zdpovedný redaktor: RNDr. Ján Mäsiar
Sadzba, obálka: Mgr. Eva Neubauerová
© 2011 Kysucká hvezdáreň v Kysuckom Novom Meste

VÝSTAVOU K SPOLUPRÁCI



KYSUCKÁ
HVEZDÁREŇ



...A POZNANÍM



ŽILINSKÝ
samosprávny kraj