



Zlínský kraj



MODERNÍ KOSMOLOGIE

aneb Jak přednášet o kosmologii?

Petr Kulhánek



Vzdělávací a metodický materiál vydaný v rámci projektu
Výstavou ke spolupráci a poznání



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLOČNE BEZ HRANÍČ



PROGRAM
CEZHRANIČNEJ
SPOLUPRÁCE
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



Obsah

1. SLOVO AUTORA	4
2. CO JE TO KOSMOLOGIE	6
3. STOVKY LET HLEDÁNÍ JAK VZNIKAL SVĚT	8
Pohled dnešní	8
Pohledy minulé	10
4. ÚSVIT NAŠEHO POZNÁNÍ	12
Problém síly ve fyzice	12
Deset velkých událostí v novodobém poznání Vesmíru	15
5. VELKÝ TŘESK A DALŠÍ VÝVOJ VESMÍRU	20
Částicový zvěřinec	21
Sjednocování interakcí	25
Časová osa	27
6. POZOROVACÍ DŮKAZY STANDARDNÍHO MODELU	31
Přímá pozorování struktur	31
Nepřímá pozorování	35
Částicové experimenty	37
7. NEOVĚŘENÉ TEORIE A HYPOTÉZY	39
Co bylo před Vesmírem?	39
Mnohorozměrný svět	40
Superpartneři	42
Ekpyrotický model, pokračování modelu stoiků	42
Hypotézy o temné hmotě a temné energii	43
Antihmota ve Vesmíru	45
Role Planckových škál	46
Vesmír a topologie	47
8. MÍSTO ZÁVĚRU - BUDOUCNOST VESMÍRU JE NEJISTÁ	48
9. REJSTRÍK OSOBNOSTÍ	50
10. REJSTRÍK ZKRATEK	63

1. Slovo autora

Pohled na noční oblohu ve většině z nás vzbuzuje pocit hloubky prostoru, neznámých končin Vesmíru a tajemna. Člověk si uvědomí, jak nepatrný je jeho svět v porovnání s rozlehlým Vesmírem. Ten pocit je o to silnější, pokud víme, že noční pohled nám umožní uvidět jen malé procento celku – svítící atomární látku. Co tvoří zbývající část? Jaký Vesmír je? Jak vzniknul a jaký bude jeho osud? A co bylo před Vesmírem? Má Vesmír nějakou hranici? A co je za ní? Myslím, že každého někdy v životě tyto otázky napadly. Před sto lety jsme na ně neznali odpovědi a ptát se na ně považovala tehdejší věda za nepatřičné. Časy se ale mění...

V průběhu dvacátého století vznikla *obecná relativita*, která úspěšně popisuje gravitaci a *kvantová teorie pole*, která skvěle charakterizuje ostatní interakce. Lidstvu se dostaly do rukou opravdu mocné nástroje. Spolu s rychle se rozvíjející experimentální technikou jsme začali hlouběji chápat zákonitosti, jimiž se Vesmír řídí. S každou odhalenou pravdou ale vyvstávají další a další otázky. Uspokojivá odpověď na jeden jev s sebou nese řadu dalších otazníků. V současnosti již nikdo nepochybuje o tom, že Vesmír není stacionární, že se vyvíjí, vznikají v něm a zanikají hvězdy, expanduje (dokonce zrychlenou expanzí) a na počátku byl velmi hustý a horký. Nevíme ale, co je temná hmota a temná energie, neznáme celkový tvar Vesmíru a neznáme jeho původ ani budoucí osud. V poslední době jsme svědky splnutí velkého a malého. Přemýšlíme o obřích vzdálenostech ve Vesmíru, o jeho stavbě a původu. A naše myšlenky nás vedou k počátku světa, kdy o jeho budoucnosti rozhodovalo vzájemné působení elementárních částic v horké a husté zárodečné polévce, kde vzájemné vzdálenosti mezi částicemi byly velmi malé. Kosmologické bádání si zde podává ruku s titěrným světem elementárních částic. Odpovědi na naše zvědavé otázky nepřicházejí jen z pozorování propastných dálav, ale také z velkých urychlovačů, ve kterých se lidé naučili připravovat extrémní stavy látky, ne nepodobné divokému reji částic v raném Vesmíru. V poznávání světa nejsme tedy bezmocní. A pokud spojíme současné technologické možnosti s teoretickým zázemím a schopností člověka logicky uvažovat, začnou se vzdáleně oddělené jevy spojovat do jediné mozaiky. V této mozaice pozorujeme první obrysy obrazu světa, kterému se snažíme ze všech sil porozumět.

Dostáváte do rukou text, v němž se snažíme ukázat stav současného poznání Vesmíru jako celku. Dozvíte se o postupném zdokonalování našeho pohledu na Vesmír, o objevech, které vyvrátily běžně zakořeněné představy o fungování světa i o objevech, jejichž význam nám dosud zůstává skrytý. V závěrečné části se zmíníme i o odvážných hypotézách, které mo-

hou a nemusí být pravdivé. Jejich nárok na existenci prověří až čas. Ale právě odvážné hypotézy a dostatečně fantastické teorie posouvají naše znalosti kupředu. Nebýt jich, nevznikl by ani text, který se chystáte číst a o kterém doufáme, že Vám napomůže lépe se orientovat v bouřlivě se rozvíjícím vědním oboru – *kosmologii*.

V Praze, 15. 12. 2010, Petr Kulhánek

2. Co je to kosmologie

Samotné slovo kosmos je řeckého původu a znamená ozdobu, šperk nebo řád. S největší pravděpodobností použil toto slovo pro Vesmír jako celek poprvé Filoláos z Krotónu (asi 470-385 př. n. l.), který byl Sókratovým vrstevníkem a žil na Sicílii. Dnes pod *kosmologií* chápeme souhrn vědeckých poznatků, které vedou k pochopení Vesmíru jako celku, zejména s ohledem na jeho původ a budoucnost. Kosmologie se z dřívějších filosofických úvah přeměnila v průběhu 20. století v exaktní vědeckou disciplínu, která má široké experimentální zázemí. S vysokou přesností dnes víme, že Vesmír vznikl před 13,7 miliardami let z extrémně horké a husté plazmatické koule.

Na první pohled by se mohlo zdát, že pátrání po původu Vesmíru je odvažné a nereálné. Opak je ale pravdou. Většinu současných informací o Vesmíru získáváme prostřednictvím *elektromagnetického záření*. To se ale šíří konečnou rychlostí, a tak určitou dobu trvá, než k nám toto záření ze vzdálených objektů doletí. Na hvězdy, mlhoviny a galaxie se proto vždy díváme s určitým zpožděním. Pohlédnete-li ve dne na Slunce, uvidíte na něm děje, které nastaly před osmi minutami. Noční pohled na hvězdy ukazuje tyto vzdálené světy před desítkami, stovkami a někdy i tisíci let. U galaxií jde o miliony a miliardy let. Čím dále se díváme, tím vzdálenější minulost našeho Vesmíru pozorujeme. Nejmodernějšími přístroji, jako jsou Hubblov vesmírný dalekohled nebo Herschelova infračervená observatoř, můžeme dnes dohlédnout až téměř na samý počátek Vesmíru a pozorovat objekty staré necelou miliardou let.

V oněch dobách, kdy *Vesmír* vznikl, byl velmi hustý a horký. Dnes dokážeme takové extrémní stavy látky uměle připravit. Již v 50. letech 20. století bylo možné při srážkách částic na prvních urychlovačích vytvořit látku ve stavu, v jakém byl Vesmír několik sekund po svém vzniku. V roce 2000 se v Evropském středisku jaderného výzkumu CERN podařilo připravit *kvarkové-gluonové plazma*, stav látky ve kterém se Vesmír nacházel pouhých deset mikrosekund po svém vzniku. Z této „pralátky“ vznikaly první neutrony a protony. Na dnešním urychlovači LHC (Large Hadron Collider, Velký hadronový kolider) bude možné připravit látku svými vlastnostmi podobnou látce ve Vesmíru starém desetinu biliontina sekundy (10^{-13} s). Právem se těmto experimentům říká *Malý třesk*, neboť napodobují v laboratoři to, co se v přírodě odehrávalo na počátku světa. Svět obřích vesmírných dálav si v našich laboratořích podává ruku s titěrným světem elementárních částic s vysokými energiemi.

Za *nejvýznamnější zdroje kosmologických informací*, které máme k dispozici, v současnosti považujeme:

- 1) **sledování velmi vzdálených galaxií a kup galaxií**, jejichž vzdálenosti odhadujeme za pomoci standardních svíček – tzv. supernov typu Ia. Rychlosti těchto galaxií se určují z červeného kosmologického posuvu spektrálních čar.
- 2) **analýzu reliktního záření**, které pochází z konce Velkého třesku. V reliktním záření jsou patrné drobné flíčky, anizotropie neboli fluktuace – prvotní struktury přítomné již 400 000 let po vzniku Vesmíru, které se vyvinuly v dnešní galaxie a kupy galaxií. Ve fluktuacích reliktního záření je zakódováno mnoho informací o našem Vesmíru, například stáří, doba trvání Velkého třesku, zastoupení různých entit ve Vesmíru, zakřivení Vesmíru, čas vzniku prvních hvězd atd.
- 3) **velkorozměrové přehlídky oblohy**. Z nich je možné určit současnou velkorozměrovou strukturu Vesmíru a porovnat ji se zárodečnými fluktuacemi, ze kterých vznikala.
- 4) **laboratorní experimenty s extrémními stavy látky** na největších urychlovačích světa. Tyto experimenty nám umožňují studovat vlastnosti elementárních částic při vysokých energiích a pochopení chování jednotlivých interakcí mezi nimi.

Od prvních filosofických úvah o vzniku světa prošla kosmologie dlouhou cestou. K nejvýznamnějším milníkům bezesporu patří *vznik obecné relativity* (současné teorie gravitace), kterou publikoval Albert Einstein v roce 1916. Již v roce 1922 ruský vědec Alexandr Fridman našel řešení, ze kterého vyplynulo, že *Vesmír nemůže být stacionární*, ale musí buď expandovat, anebo kolabovat. V té době byl stacionární Vesmír velmi módní a i Albert Einstein podlehl jeho kouzlu a upravil své rovnice obecné relativity tak, aby potlačil tato nechtěná řešení. V roce 1929 ale Edwin Hubble (1889–1953) prokázal při pozorování vzdálených galaxií, že Vesmír opravdu expanduje.

V roce 1948 navrhli astronomové George Gamow (1904–1968), Ralph Alpher (1921–2007) a Robert Herman, že Vesmír musel být na počátku velmi hustý a horký a publikovali jednoduché úvahy o zastoupení vodíku a hélia ve Vesmíru. Současně Gamow přišel na to, že by se v chladnoucím Vesmíru mělo v určitém období oddělit záření od látky. Konkrétní výpočty publikovali Alpher a Herman v témže roce. Gamow sice vyzval současníky k hledání tohoto „zbytkového“ záření, ale nikdo tomu bohužel nevěnoval pozornost.

Reliktní záření bylo nalezeno až v roce 1965 Arno Penziasem (1933) a Robertem Wilsonem (1936). Základní parametry tohoto záření změřila družice COBE v roce 1989, v roce 1992 našla fluktuace reliktního záření.

Dnes reliktní záření podrobně analyzují sondy WMAP (od roku 2001) a Planck (od roku 2009). V roce 1998 zjistili Adam Riess (1969) a Saul Perlmutter (1959) zrychlenou expanzi Vesmíru, za kterou by měla být odpovědná mysteriózní temná energie. V roce 2002 navrhli Neil Turok (1958) a Paul Steinhardt (1952) alternativní model k Velkému třesku, tzv. ekpyrotický model, který popisuje vznik Vesmíru jako dotek dvou brán, dvou pravesmírů v mnohorozměrném světě. Kosmologie od svých počátků urazila obrovský kus cesty poznání. Stejně velkou, ne-li větší část má však před sebou.

3. Stovky let hledání jak vznikal svět

Úvahy o vzniku světa patří k uvědomění si sebe sama a pátrání po našem původu. První úvahy se potýkaly s hranicí časovou i prostorovou. V čase nás zajímá minulost a budoucnost. Je Vesmír věčný nebo má nějaký počátek? Pakliže má i počátek, bude mít i svůj konec? Z prostorového hlediska zajímaly filosofy dvě základní otázky: Kde je střed Vesmíru? A má nějakou hranici? Pokud ano, co je za touto hranicí?

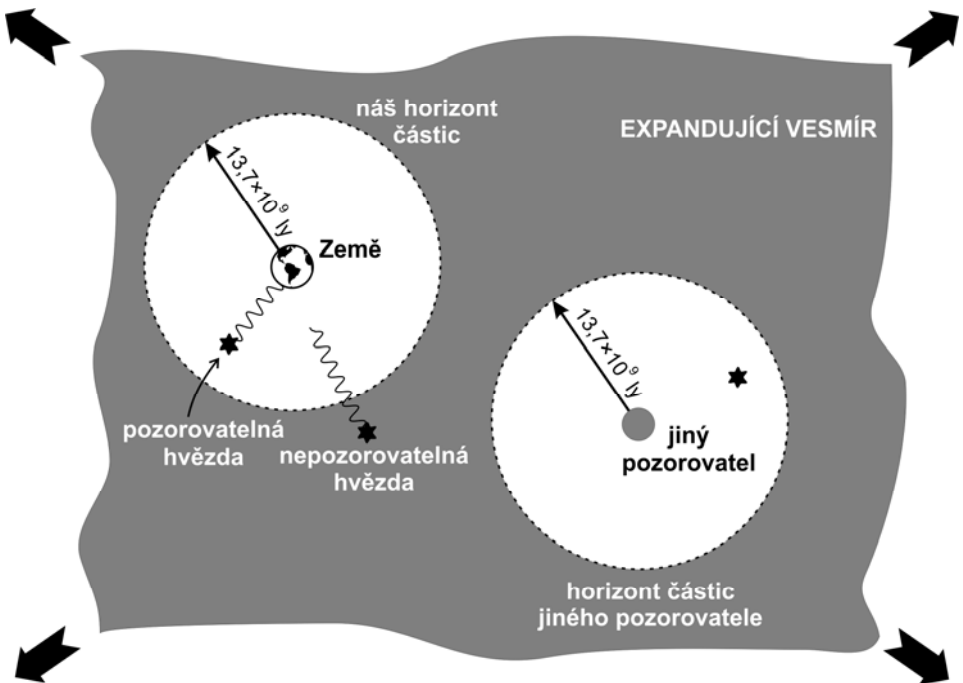
Pohled dnešní

Než se pustíme do popisu, jak se s těmito otázkami vypořádaly různé civilizace, naznačme, jak je vnímáme dnes. Od roku 1929 víme, že *Vesmír expanduje* a v roce 1998 jsme zjistili, že jde dokonce o *zrychlenou expanzi*. Tento výsledek je neslučitelný se stacionárním Vesmírem existujícím trvale v čase. *Vesmír se vyvíjí*, v minulosti byl jiný, než bude v budoucnosti. Z pozorování je zřejmé, že Vesmír vzniknul před 13,7 miliardami let z extrémně husté a horké plazmatické koule. Nevíme, kde se tato počáteční koule vzala, nevíme dokonce, zda šlo skutečně o kouli a nevíme ani co bylo předtím, pokud nějaké předtím vůbec bylo. Z dnešního pohledu ztrácí totiž pojem času smysl bez přítomnosti hmoty a energie. Pokud ve Vesmíru nebyla hmota a energie, neexistoval ani čas a otázka co bylo před Vesmírem postrádá smysl. Steven Hawking na otázku co bylo před Velkým třeskem kdysi odpověděl novinářům velmi jednoduše: „*Byl zde Bůh, který připravoval peklo pro lidi, kteří se budou na takové otázky ptát.*“

Budoucnost Vesmíru je i v našich dnešních představách značně nejistá. Dokud nebudeme přesně vědět, co rozfukuje Vesmír zrychlenou expanzí a jaké má tato entita (pracovně ji nazýváme *temná energie*) vlastnosti, nemůžeme zodpovědně předpovědět budoucí osud Vesmíru. Většina kos-

mologů předpokládá, že expanze bude pokračovat a Vesmír čeká v daleké budoucnosti mrazivá smrt. Otevřené jsou ale i jiné možnosti, včetně budoucího kolapsu Vesmíru.

Z prostorového hlediska dnes předpokládáme, že *Vesmír expanduje* ze všech svých bodů. Představte si prádelní gumu, na které jsou navěšeny kancelářské sponky. Budeme-li gumu natahovat, sponky se od sebe budou vzdalovat. Posadíme-li nějakého broučka na libovolnou sponku, bude se mu zdát, že se galaxie (ostatní sponky) vzdalují právě od něho. Je to ale mylná představa. Stejný pocit by náš brouček zažil na kterékoli sponce. Žádný střed expanze neexistuje, v libovolném místě Vesmíru vnímáme expanzi stejně. Vždy se nám bude zdát, že jsme právě ve středu expanze. Tomuto tvrzení říkáme *kosmologický princip*. Naše paralela se sponkami a gumou má ještě jeden důležitý důsledek. Při natahování gumy se nemění velikost sponek, pouze prostorové vzdálenosti mezi nimi. Je to dáno tím, že jiné síly určují velikost sponky a jiné natahování gumy. Stejně tak se v reálném Vesmíru nemění při expanzi velikost galaxií, hvězd ani planet (tyto rozměry jsou dány gravitační interakcí).



Dnes předpokládáme, že *Vesmír nemá žádnou prostorovou hranici* (kdyby ji měl, co by bylo za ní?). To ale neznamená, že musí být nutně nekonečný – při pohybu po povrchu balónku také na žádnou hranici nenarazíme a přesto je tento povrch z hlediska velikosti plochy konečný. Z pozorování se zdá, že Vesmír je skutečně nekonečný, ale s definitivní platností to ještě potvrzené nemáme. V každém případě nemůžeme vidět celý Vesmír, ale jen jeho část. Tu část, ze které k nám stihlo dolétnout světlo za dobu existence Vesmíru. Vzdálenější oblasti nevidíme, ale to neznamená, že neexistují. Pokud si počkáme dostatečně dlouho, dorazí k nám i světlo z těchto odlehlých oblastí. Část Vesmíru, kterou můžeme vidět, nazýváme *pozorovatelný Vesmír*. Jeho „hranicí“ je tzv. *horizont částic*. Nachází se ve vzdálenosti 13,7 miliard světelných roků. Čím dále se díváme, tím mladší Vesmír vidíme. A ve vzdálenosti 13,7 miliardy roků bychom viděli samotný zdroj Vesmíru. Nejde o žádnou prostorovou hranici, ale o časovou hranici danou existencí počátku Vesmíru. V reliktním záření dnes dohlédneme až na samotný konec Velkého třesku, tj. vidíme struktury, které zde byly pouhých 400 000 roků po vzniku světa.

Pohledy minulé

Pojďme nyní heslovitě popsat názory na Vesmír až po Newtonovu dobu, kdy vznikají první zárodky současné kosmologie. Pověšimněte si, že většina filozofických názorů z minulosti využívá i myšlenky, které jsou dnešnímu pojetí velmi blízké.

Babylónie (1900–1200 př. n. l.). Babylóňané chápou Zemi a nebesa jako nedílný celek. Obdobně jako jiné civilizace jsou okouzleni kulovým tvarem, který preferují nad ostatními. Ve středu světa není ani Země, ani Slunce, ale centrální božstvo, kolem kterého vše kolotá. Babylónský Vesmír je neosobní, bez účasti člověka.

Anaxagorás (500–428 př. n. l.). Anaxagorás byl pravděpodobně prvním zastáncem atomického Vesmíru – vesmíru složeného z mnoha opakujících se zárodků – atomů, kolem nichž je nekonečná prázdnota. Atomy jsou ze stejné látky, ale liší se velikostí a tvarem. Vesmír je řízen chováním atomů (potřebou, rozumem), nikoli bohy. Na Anaxagora navazuje Epikúros (341–270 př. n. l.) a další atomisté. Sám Anaxagorás slovo atom nepoužíval, zárodky věcí označoval jako „spermata“.

Pythagorás (570–495 př. n. l.). Pythagorás a jeho následovníci předpokládali, že ve středu Vesmíru je centrální oheň, kolem kterého se pohybuje Země, Slunce, Měsíc i planety. Slunce obkrouží centrální oheň za jeden rok. Hvězdy jsou stálice, nepohybují se. Centrální oheň nevidíme, protože je na druhé straně Země. Na svou dobu šlo o velmi pokrokový názor, který jako první neumísťuje do středu světa Zemi.

Aristotelés (384–322 př. n. l.). Aristotelův model se udržel díky jeho autoritě po dvě tisíciletí. Do středu Vesmíru klade kulatou Zemi, kolem které se nacházejí otáčející se nebeské sféry, na kterých jsou připevněny Měsíc, Slunce, planety a stálice. Sférami otáčel jakýsi „první hybatel“, kterému Aristotelés přisoudil částečně božské vlastnosti. Aristotelův Vesmír je kulově symetrický a ohraničený. Není tedy nekonečný. Svět je složen ze čtyř elementů (země, vody, ohně a vzduchu). Pátým elementem (kvintescencí) je éter, ze kterého jsou tvořena nebesa.

Vesmír stoiků (200 až 300 př. n. l.). Stoicismus je celý filosofický směr ve starém Řecku. Základem je představa Vesmíru jako osamělého ostrova v nekonečné prázdné dutině. Vesmír může periodicky pulzovat. Z dnešního pohledu Vesmír stoiků elegantně řešil paradox noční tmy. Tím, že Vesmír není nekonečný, neuvidíme ve všech směrech hvězdy (což by znamenalo, že ve dne i v noci musí být světlo) a v noci spatříme mezi hvězdami tmu.

Ptolemaios (90–168 n. l.). Ptolemaios byl tvrdým zastáncem geocentrického modelu. Jeho zjevný nesouhlas s pozorováním řešil zavedením epicyklů, pomocných kruhů. Planety se pohybovaly po obvodě epicyklů, jejichž středy obíhaly po obvodě větších kruhů, tzv. deferentů. Tímto způsobem bylo do jisté míry možné vysvětlit skutečné pohyby planet. Složením dvou kruhových pohybů se výsledná dráha podobala elipse. Nejznámějším Ptolemaiovým spisem je *Almagest*.

Roger Bacon (1214–1294). Anglický filosof a františkánský mnich, který jako první prosazoval vědeckou metodu, tj. součinnost pozorování (experimentu) a teorie. Sám si Vesmír představoval neosobně, bez účasti člověka. Údajně byl vynikajícím pedagogem.

Mikuláš Koperník (1473–1543). Polský hvězdář, který umístil do středu světa Slunce, roztočil Zemi a zastavil sféru stálic. Vzhledem k období náboženského fanatismu váhá s publikováním svých výsledků. Heliocentrickou soustavu vylíčil v nenápadném spisku *Malý komentář*. Hlavní poznatky publikoval až v díle *O obězích nebeských sfér*, které vyšlo v době jeho smrti. Spis se mu dostal do rukou až na smrtelné posteli a není dochováno, zda v té době byl ještě schopen vnímat.

Tycho Brahe (1546–1601). Brahe byl především vynikajícím pozorovatelem. Jde o dánského astronoma, který strávil svá poslední (a velmi plodná) léta v rudolfínské Praze. Oproti Koperníkovi znamenaly jeho názory v jistém smyslu krok zpět. Uvažoval model, ve kterém sice planety obíhají kolem Slunce, ale Slunce samotné obíhalo v jeho modelu Zemi, která byla středem Vesmíru.

Johannes Kepler (1571–1630). Kepler se setkal s Tychonem v rudolfínské Praze. Základem jeho výpočtů pohybu nebeských těles se stala právě Tychonova pozorování. Kepler na základě nich odvodil, že se planety pohybují po elipsách, v jejichž ohnisku je Slunce, určil vztah mezi oběžnou dobou a vzdáleností planety od Slunce a objevil zákon zachování momentu hybnosti pro planety (v oblastech dráhy bližších ke Slunci se planeta pohybuje kolem Slunce rychleji než ve vzdálenějších oblastech).

Isaac Newton (1643–1727). Isaac Newton byl vědec nesmírně širokého záběru. Objevil základní zákony mechaniky, spolupodílel se na vzniku diferenciálního počtu, zabýval se optikou. K nejvýznamnějším objevům patří jeho gravitační zákon, podle kterého se pohybuje nejen hozený kámen, ale i planety kolem Slunce nebo celé galaxie v kupách galaxií. Lze říci, že s nástupem Isaaca Newtona definitivně končí doba tmářství a nevědeckých úvah a nastupuje období logického myšlení a vědeckých experimentů.

4. Úsvit našeho poznání

Novodobá éra nazírání na Vesmír začíná zrodem *Newtonovy fyziky*. Sám Newton argumentoval ve prospěch nekonečného Vesmíru. Konečný Vesmír by podle jeho představ musel zkolabovat díky vzájemné přitažlivosti hvězd. Takový argument je ale pravdivý jen pro stacionární, v čase neproměnný Vesmír, který byl v té době jedinou uvažovanou alternativou.

Problém síly ve fyzice

Celá Newtonova fyzika je založena na pojmu síly. Síla vystupuje v pohybových zákonech a její znalost umožňuje předpovídat pohyby těles. Pokud chápeme znalost síly jen jako znalost vhodného matematického předpisu, je vše v pořádku. Jakmile se pokusíme sílu nějak definovat, narazíme ale na potíže. Dodnes se nikomu nepodařilo sílu definovat, všechny definice končí v kruhu. Řešení problému síly přineslo až 20. století. A jak už to bývá, neobjevilo se řešení jedno, ale hned dvě: *obecná relativita* a *kvantová teorie pole*.

Obecná relativita. Obecnou relativitu jakožto *alternativní teorii gravitace* publikuje Albert Einstein v roce 1916. Základem jsou dvě tvrzení:

1. Každé těleso kolem sebe svou přítomností zakřivuje prostor a čas.
2. Tělesa se pohybují po nejrovnějších možných drahách (tzv. *geodetikách*) v jimi pokriveném světě.

Země se pohybuje kolem Slunce po elipse nikoli proto, že by na ni působila gravitační síla, ale proto, že Slunce *pokřivilo prostor a čas* kolem sebe a elipsa je nejrovnější možnou dráhou v tomto pokřiveném světě. Čas a prostor v obecné relativitě vytvářejí tělesa samotná. Bez nich neexistuje ani prostor, ani čas. Otázka „*Co bylo, když nic nebylo?*“ přestává mít smysl. A jak si představit pokřivený čas? To je jednoduché. Když řekneme, že Země zakřivuje čas kolem sebe, myslíme tím, že hodiny jdou jinak na povrchu Země, jinak 100 metrů nad Zemí, jinak v letadle a jinak na oběžné dráze. Dnes hojně rozšířený systém GPS pro určování polohy by bez uvažování různého chodu času na družici a na povrchu Země byl natolik nepřesný, že bychom při jízdě automobilem správnou cestu vůbec nenašli. S obecnou relativitou se tak setkáváme v každodenní praxi, aniž bychom si to uvědomovali. A vůbec nemusí jít o černé díry, gravitační čočky, expanzi Vesmíru, gravitační vlny nebo strhávání časoprostoru rotujícím tělesem (jde o některé významné jevy předpovězené obecnou relativitou).

Kvantová teorie pole. První polní teorie založené na kvantové mechanice se rodily v těžkých porodních bolestech ve 30. letech 20. století. Ukázalo se, že ani v kvantové teorii není potřeba síly pro popis interakce mezi dvěma tělesy (částicemi). Interagující částice si můžeme představit jako dva trpaslíčky s pingpongovými pálkami. Tito trpaslíčci hrají zvláštní hru – pinkají si mezi sebou tzv. *polní částice*, které mají leckdy velmi podivné chování. Mohou způsobovat nejen odpuzování trpaslíčků (například dvou elektronů), ale i jejich vzájemnou vazbu (elektronu s protonem v atomu vodíku). Pro polní částice (v naší paralele pingpongové míčky) se ujal mnoho názvů. Říká se jim intermediální, mezipůsobící, výměnné, virtuální nebo polní částice. Pro elektromagnetickou interakci jde o fotony, pro silnou interakci (drží pohromadě atomové jádro) jsou polními částicemi gluony a pro slabou interakci (způsobuje například beta rozpad) jde o tzv. polní bosony W^+ , W^- , Z^0 .

Až do dvacátého století jsme nevěděli, co je síla. A nyní máme teorie hned dvě: *obecnou relativitu fungující pro gravitaci a kvantovou teorii pole vhodnou pro elektromagnetickou, silnou a slabou interakci*. Obě skvěle fungují a obě razantně zasáhly do našich představ o Vesmíru. V počátcích Velkého třesku nepochybně formovaly vlastnosti Vesmíru všechny 4 interakce. Dnes se na jeho velkorozměrové struktuře podílí z našich čtyř „sil“ zejména gravitační a elektromagnetická interakce.

Fyzika dvacátého století se stala poněkud schizofrenní. Situace je do budoucna neudržitelná. Jednou určitě *vznikne jednotná teorie pro všechny 4 interakce*. Tato meta současné fyziky se většinou označuje zkratkou TOE (Theory Of Everything, teorie všeho). Slovo „*toe*“ má v angličtině

vlastní význam, znamená prst nebo palec u nohy. Součástí *Teorie všeho* bude i *kvantová teorie gravitace*, ve které by polní částicí měl být hypotetický *graviton*.



Deset velkých událostí v novodobém poznání Vesmíru

1922 – Fridmanovo řešení. Ruský matematik, meteorolog a fyzik Alexandr Fridman (1888–1925) našel v roce 1922 řešení rovnic obecné relativity pro homogenní Vesmír. Ukázalo se, že podle těchto rovnic nemůže být Vesmír statický, musí expandovat, anebo kolabovat. Samotnému Einsteinovi se řešení nelíbilo, a proto do svých rovnic zakomponoval dodatečný člen (tzv. *kosmologickou konstantu* Λ), který kompenzoval expanzi tak, aby rovnice poskytovaly stacionární řešení. Po objevu expanze Vesmíru údajně Einstein tento krok označil za největší omyl svého života. V dnešní fyzice se obdobný člen využívá k popisu zrychlené expanze Vesmíru.

1929 – objev expanze Vesmíru. Americký astronom Edwin Hubble (1889–1953) pracující na tehdejší největším dalekohledu světa na hoře Mt. Wilson (zrcadlový dalekohled o průměru 2,5 metru) posunul naše znalosti o Vesmíru hned dvakrát. V roce 1924 zjistil, že tzv. Velká mlhovina v Andromedě není ve skutečnosti žádnou mlhovinou, ale galaxií složenou z mnoha hvězd. Do té doby si většina astronomů myslela, že Vesmír je tvořen jedinou galaxií – naší Mléčnou dráhou. Od roku 1924 Hubble sledoval různé mlhoviny a u mnoha z nich zjistil, že ve skutečnosti jde o cizí galaxie. Vzdálenosti určoval pomocí cefeid, proměnných hvězd se známou závislostí mezi svítivostí a periodou. U objevených galaxií pořizoval spektra a z posuvu spektrálních čar zjišťoval pohyb těchto galaxií vzhledem k nám. V roce 1929 učinil svůj druhý významný objev. Na základě měření vzdálenosti a pohybu galaxií dospěl k závěru, že všechny vzdálené galaxie od nás letí pryč, dokonce tím rychleji čím jsou dále. Koeficient úměrnosti mezi rychlostí vzdalování galaxie a její vzdáleností se nazývá *Hubblova konstanta*. Z kosmologického principu (vzpomeňte si na rozpínající se prádelní gumu) již víme, že to neznamená, že bychom právě my byli ve středu Vesmíru. Stejný závěr by učinil i pozorovatel na jiném místě ve Vesmíru.

1934 – předpověď existence temné hmoty. Americký astronom švýcarského původu Fritz Zwickey (1898–1974) pracoval, stejně jako Edwin Hubble, na 2,5metrovém dalekohledu na hoře Mt. Wilson. V roce 1934 zjistil, že v Kupě galaxií ve Vlasech Bereniky mají v průměru jednotlivé galaxie vyšší rychlost, než by odpovídalo gravitačnímu zákonu. Nešlo o jednu konkrétní galaxii, ale o statistický výsledek. Fritz Zwickey interpretoval měření správně. V kupě galaxií musí být podstatná část hmoty, kterou vůbec nevidíme. V roce 1968 ukázala Vera Rubinová (1928), že stejný problém nastává i v rámci jedné jediné galaxie. Na periferii galaxií se hvězdy pohybují rychleji, než by měly podle Keplerových zákonů ne-

bo podle gravitačního zákona. Pohybují-li se rychleji, než mají, měla by je vymrstit odstředivá síla pryč z galaxie. To se zjevně neděje, a tak musí být v galaxii další neviditelná hmota, která hvězdy na jejich dráze drží. Této hmotě dnes říkáme temná hmota a víme, že tvoří 23 % celkové hmoty a energie ve Vesmíru. Temná hmota je podle našich představ složena z dosud neobjevených, pro nás exotických částic, které běžnou látkou procházejí. A že to zní fantasticky? Procházet látkou jako projde duch v pohádce stěnou? Ve světě elementárních částic to možné je.

Již od roku 1956 známe například neutrina, která bez okolků proletí celou Zemí stejně lehce, jako světlo projde okenní tabulí. Jediným centimetrem čtverečním Vašeho těla proletí za každou sekundu 60 miliard neutrin, která vznikla v termojaderném kotli v nitru Slunce. A povšimnete si něčeho? Určitě ne. Jak je to možné? Kdybychom zvětšili atom látky tak, aby atomové jádro bylo veliké jako pomeranč, byl by první elektron přibližně 10 kilometrů daleko od jádra. Mezi ním a jádrem je pusto a prázdno. Neutrina neinteragují elektromagneticky a tak tudy mohou snadno proletět. Jinak je to ale s námi lidmi. My podlahou nepropadneme, protože elektrony a protony v našem těle interagují s elektrony a protony v podlaze.

Neutrin je sice v našem okolí mnoho, ale mají velmi malou hmotnost, a tak problém temné hmoty nevyřeší. Dnes je na světě několik desítek experimentů, které se snaží (zatím až na jednu výjimku neúspěšně) částice temné hmoty polapit.

1948 - předpověď existence reliktního záření. Americký fyzik ruského původu George Gamow (1904–1968) v roce 1948 navrhl, že v chladnoucím Vesmíru muselo v určité fázi dojít k tvorbě atomárních obalů a z horkého plazmatu se stal neutrální plyn. V té době se elektromagnetické záření oddělilo od látky. V plazmatu je totiž záření vázáno na látku, zatímco v neutrálním plynu nikoli. (Poznamenejme, že na výpočtech se podíleli Gamowovi studenti Ralph Alpher a Robert Herman.)

Nejinak je tomu i v nitru Slunce, kde fotony uletí jen několik centimetrů a v zápětí jsou zachyceny žhavým plazmatem a vyzářeny ve zcela náhodném směru. Foton tak z nitra Slunce putuje k povrchu statisíce až miliony let, zatímco v neutrálním plynu by vzdálenost od jádra k povrchu uletěl za něco málo přes dvě sekundy.

V současnosti víme, že k oddělení záření od látky došlo přibližně 400 tisíc let po vzniku světa a tento okamžik považujeme za faktický konec Velkého třesku. Ve Vesmíru jako by někdo mávnutím proutku zhasnul, začíná *temný věk Vesmíru*. Ten končí až v období 400 milionů let

po začátku, kdy vznikly první obří hvězdy, které opětovně ionizovaly své okolí.

Záření oddělené od látky nazýváme *reliktní záření*. V době svého vzniku šlo o světelné záření. V průběhu expanze Vesmíru se jeho vlnová délka natahovala spolu s expanzí až na jeden milimetr, nyní je tedy v tzv. mikrovlnné oblasti, a proto se mu někdy říká *mikrovlnné záření pozadí*. Jeho teplota je přibližně 3 K. Gamow marně vyzýval vědce ve svém okolí, aby toto záření hledali. Poválečné období nebylo kosmologii příliš nakloněno a kosmologové byli ostatními fyziky považováni za podivíny, snílky a neškodné blázny. Dnes je reliktní záření nejvýznamnějším zdrojem informací o raném Vesmíru.

1965 - objev reliktního záření. Reliktní záření bylo objeveno náhodně až v roce 1965. Arno Penzias (1933) a Robert Wilson (1936) prováděli testy trychtýřovité antény, pomocí které chtěli udělat radiovou přehlídku oblohy. Anténa patřila Bellovým telefonním laboratořím, dříve byla využívána pro komunikaci s družicí Echo. Po rekonstrukci antény pro astronomické účely zaznamenali Penzias a Wilson neobvyklý šum. Postupně vyloučili jako možný zdroj šumu párek v anténě hnízdících holubů, blízka města, Slunce i střed Galaxie. Šum přicházel rovnoměrně z celého Vesmíru. Americký teoretik Peebles navrhl, že by mohlo jít o reliktní záření. Za objev reliktního záření získali Penzias a Wilson Nobelovu cenu za fyziku pro rok 1978. V současnosti zkoumají reliktní záření sondy Planck a WMAP, v minulosti to byla slavná družice COBE. Objev reliktního záření ukončil debaty o existenci či neexistenci Velkého třesku. V reliktním záření se totiž díváme na samotný závěr Velkého třesku. Poznamenejme na závěr, že anténa Penziase a Wilsona měla maximální citlivost pro vlnovou délku 7,3 cm a nebyla proto pro pozorování reliktního záření o vlnové délce 1 mm příliš vhodná.

1980 - inflační model. Standardní model Velkého třesku má řadu problémů. Tím největším je samozřejmě počáteční singularita (nekonečné hodnoty teploty a hustoty), která nutně vznikne, pokud se opíráme jen o obecnou relativitu. Pokud ale při zrodu Vesmíru uvažujeme i ostatní interakce, počáteční singularita už není nutná. Dalším problémem je, že z měření se zdá, že v současnosti je Vesmír přibližně plochý, což by znamenalo, že v minulosti musel být „nastaven“ s vysokou přesností na tzv. kritickou hustotu. Také homogenita Vesmíru na velkých škálách je problémem, neboť v minulosti byl Vesmír složen z mnoha oblastí, které spolu neměly šanci nijak komunikovat a pro homogenitu tak není zjevný důvod. V roce 1980 se Alan Guth (1947) pokusil tyto potíže vyřešit za pomoci tzv. inflačního modelu. Předpokládal, že se Vesmír krátce po svém vzniku velmi prudce rozepnul o mnoho řádů. Původcem této tzv.

inflační fáze mohla být energie uvolněná při přechodu vakua z jednoho energetického stavu do druhého nebo uvolnění energie při oddělování interakcí. V každém případě krátká inflační fáze řeší jak problém plochosti Vesmíru, tak problém homogenity. Při prudké inflaci se Vesmír stane efektivně plochým – obdobně se sníží křivost povrchu nafouklého balónku oproti nenafouklému. Lze také ukázat, že inflační fáze zajistí možnost komunikace mezi jednotlivými částmi Vesmíru v minulosti. Inflační model dále rozvíjel Andrej Linde (1948), Paul Steinhardt (1952) a další.

1992 - objev fluktuací reliktního záření. V roce 1989 startovala družice COBE (COsmic Backgroud Explorer, výzkumník kosmického pozadí), která měla za úkol zjistit, zda je šum objevený Penziasem a Wilsonem opravdu reliktním zářením z konce Velkého třesku. Úspěch mise byl obrovský. Za prvních 8 minut provozu tato družice změřila teplotu reliktního záření (2,73 K) s relativní přesností 10^{-3} a proměřila závislost intenzity na vlnové délce, ze které vyplynulo, že jde o reliktní záření. Dodnes jde o nejrychleji splněné cíle kosmického programu. Družice COBE ale pracovala až do roku 1993 a největší objev na ni teprve čekal. V roce 1992 zjistila, že reliktní záření má v různých směrech různou teplotu. Jde sice o velmi malé změny teploty (až na pátém desetinném místě), ale nesmírně důležité. Tyto fluktuace jsou vůbec první struktury, které ve Vesmíru vidíme již na konci Velkého třesku a které se později vyvinuly v dnešní galaxie a kupy galaxií. Můžeme je chápat jako jakýsi paleolitický otisk, který rozvlněná látka vtiskla do obrazu reliktního záření. Dnes jsou tyto fluktuace jedním z nejdůležitějších zdrojů informací o raném Vesmíru. Při pohledu na ně se díváme na samotný závěr období Velkého třesku. Právem byli autoři experimentů na družici COBE, John Mather (1946) a George Smoot (1945), odměněni Nobelovou cenou za fyziku pro rok 2006.

1998 - objev zrychlené expanze. Na přelomu let 1998 a 1999 oznámily dvě vědecké skupiny objev zrychlené expanze Vesmíru. Jednu z nich vedl Adam Riess (1969) a druhou Saul Perlmutter (1959). Obě skupiny využívaly k měření vzdálenosti galaxií *supernovy typu Ia*, které sloužily jako jakési standardní svíčky. A obě skupiny dospěly k závěru, že Vesmír v současnosti expanduje zrychlenou expanzí. Tento závěr byl později potvrzen i na základě rozboru fluktuací reliktního záření a analýzy velkorozměrových struktur ve Vesmíru. Je zřejmé, že gravitace jakožto přitažlivá síla může expanzi jen brzdit. Za expanzi Vesmíru tedy v současnosti není odpovědná gravitační interakce. Co ale rozfukuje Vesmír? Pracovně jsme tuto entitu, která prostupuje celý Vesmír, je homogenní a její hustota se buď vůbec nebo jen málo mění s časem, na-

zvali *temnou energii*. Na bedrech současné fyziky leží nelehký úkol. Dát tomuto termínu fyzikální obsah. Ve hře je mnoho možností, ale tři z nich se zdají být nejpravděpodobnější: může jít o dynamické projevy *kvantového vakua*, může jít o pátou přírodní interakci, tzv. *kvintesenci* a nebo jde o projevy *gravitace*, která má na velkých vzdálenostech zcela jiné vlastnosti, než jsme dosud předpokládali. Možná se objeví i zcela jiné řešení tohoto problému. Temná energie by měla představovat přibližně 73 % celkové hmoty a energie ve Vesmíru.

2000 - kvarkové-gluonové plazma. V Evropském středisku jaderného výzkumu CERN se podařilo v roce 2000 připravit látku ve stavu, v jakém se ve Vesmíru nacházela pouhých 10 mikrosekund po jeho vzniku. Urychlené jádro olova bylo nastřeleno na statický terčik. Uvolněná energie látku zahřála na teplotu 10^{12} K, tedy stotisíckrát vyšší než v nitru Slunce. Jádra byla stlačena natolik, že jejich hustota vzrostla na dvacetinásobek jaderné hustoty. Za těchto „pekelných“ podmínek došlo k uvolnění kvarků a gluonů z protonů a neutronů a vzniklo na kratičký okamžik kvarkové-gluonové plazma. To je forma látky, ze které ve Vesmíru kdysi neutrony a protony vznikaly. Ukázala se zcela nová cesta výzkumu Vesmíru a současně zcela nové odvětví kosmologie – přímé experimenty na největších urychlovačích světa. Experimentům tohoto typu se přezdívá Malý třesk.

2003 - znalost základních parametrů. Na slavnostní tiskové konferenci dne 11. února 2003 byly zveřejněny výsledky analýzy fluktuací reliktního záření ze sondy WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), která startovala v roce 2001. Jako první zařízení vůbec měla sonda WMAP citlivost umožňující udělat tzv. frekvenční analýzu fluktuací (seřadit je statisticky podle velikosti). Průměrný flíček reliktního záření na obloze má velikost 1° . Družice COBE měla rozlišení 7° , což neumožnilo sledování potřebných detailů, zatímco WMAP měla úhlové rozlišení $0,3^\circ$, což bylo dostatečné. Z analýzy pořízené mapy fluktuací reliktního záření byla zjištěna řada důležitých údajů. Stáří Vesmíru je 13,7 miliard let, jsou v něm 4 % atomární látky, 23 % temné hmoty a 73 % temné energie. Reliktní záření se oddělilo od látky 400 tisíc let po vzniku Vesmíru, čímž skončil Velký třesk a začal temný věk Vesmíru. Ten ukončily první vznikající hvězdy v období přibližně 400 milionů roků po vzniku Vesmíru.

Vesmír je jako celek s vysokou přesností plochý a Hubblova konstanta určující rychlost expanze má hodnotu $73 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ (dvě galaxie vzdálené 1 Mpc, tj. cca 3 miliony světelných roků se vzdalují rychlostí 73 km/s). Z nepatrných flíčků na obloze lidstvo zjistilo přesné odpovědi na mnoho otázek, které ho dosud trápily.

5. Velký třesk a další vývoj Vesmíru

Od roku 1929 víme z měření Edwina Hubble, že Vesmír expanduje. Dříve musel být hustší a teplejší. Samotný počátek Vesmíru je stále zahalen tajemstvím. Pokud bychom extrapolovali chování Vesmíru za pomoci obecné relativity, dospějeme k závěru, že na počátku (v čase nula) měl Vesmír nekonečnou hustotu a nekonečnou teplotu. Takovému stavu matematicově říkají *singularita*. Zrodil se tedy Vesmír z počáteční singularity, pro kterou byly typické nekonečné hodnoty některých veličin? My fyzikové nemáme nekonečna příliš rádi. Jde o matematickou abstrakci, ale skutečně nekonečno nikdy nikdo v přírodě neviděl. A pokud se nekonečno objeví v nějaké teorii, snažíme se ho odstranit.

Při vzniku Vesmíru nelze uvažovat jen gravitační interakci (Einsteinovu obecnou relativitu). V hustém a horkém Vesmíru určitě na počátku sehrály svou roli i ostatní tři interakce popsané kvantovou teorií. Z mnoha soudobých úvah se ukazuje, že zakomponování kvantových interakcí do modelu Vesmíru počáteční singularitu odstraní. Vesmír nemusel být singularní, mohl mít na počátku sice vysokou, ale přesto konečnou hustotu a teplotu.

Teorie horkého vzniku světa z malé husté oblasti měla zpočátku mnoho odpůrců. Jedním z nich byl Fred Hoyle, který posměšně nazval obdobné teorie „velkým třeskem“. Chtěl tím naznačit, že jde o jakési třesnutí nebo plácnutí do vody, které je nesmyslné. Název se ale překvapivě ujal a budoucnost dala zapravdu zastáncům Velkého třesku. Debaty o existenci či neexistenci Velkého třesku byly ukončeny po zveřejnění měření družice COBE, která prokazatelně detekovala reliktní záření, které má původ v samotném konci Velkého třesku.

Původně byl název Velký třesk používán jen pro počáteční singularitu. Dnes ho chápeme obecněji. Velkým třeskem rozumíme celé počáteční období, kdy byl Vesmír v *plazmatickém stavu*, někdy ne zcela správně hovoříme o počáteční žhavé kouli (anglicky fireball). Co je vlastně *plazma*? Jde o tzv. čtvrté skupenství hmoty, které přirozeným způsobem doplňuje řadu *pevná látka – kapalina – plyn*. V plazmatu jsou narušené elektronové obaly atomů, část elektronů se plazmatem volně pohybuje, jsou zde tedy přítomné volné nosiče nábojů. Počet kladných a záporných nábojů (elektronů a iontů) je stejný a tak se plazma navenek jeví elektricky neutrálně (hovoříme o tzv. kvazineutralitě). Díky volným nábojům se plazma chová jako vodivá tekutina, reaguje kolektivně na elektrická a magnetická pole a samo plazma je schopné je vytvářet. Tyto *základní vlastnosti plazmatu* lze shrnout do tří jednoduchých bodů:

1. v plazmatu jsou volné nosiče náboje,
2. plazma je kvazineutrální,
3. plazma vykazuje kolektivní chování.

Na Zemi nalezneme plazma v kanálech blesků, v ionosféře a samozřejmě v laboratořích plazmových fyziků. Plazma je na naší Zemi v menšině, dominantně převládají ostatní tři skupenství látky. Ve Vesmíru je tomu jinak.

Na počátku byl horký Vesmír v plazmatickém stavu. Vesmír prudce expandoval a postupně chladnul. Po přibližně 400 tisících letech ochladl na pouhých několik tisíc kelvinů a za těchto podmínek se elektrony začaly spojoval s protony a jádry lehkých prvků a ve Vesmíru vznikaly první neutrální atomy. V plazmatické éře elektromagnetické záření silně interagovalo s látkou. Bylo jí rozptylováno, pohlcováno a znovu vyzařováno. Záření bylo součástí látky v plazmatickém skupenství a kdybychom se na ni mohli podívat, viděli bychom svítící neprůhlednou (snad opalizující) tekutinu. Se vznikem neutrálních atomů se situace dramaticky změnila. Záření s neutrálním plynem interagovalo minimálně, oddělilo se od látky a začalo žít svůj vlastní život. Atomární látka přestala svítit, skončil Velký třesk a začal temný věk Vesmíru. Ten trval až do období 400 milionů let po vzniku Vesmíru, kdy vznikly první hvězdy a opětovně ionizovaly své okolí.

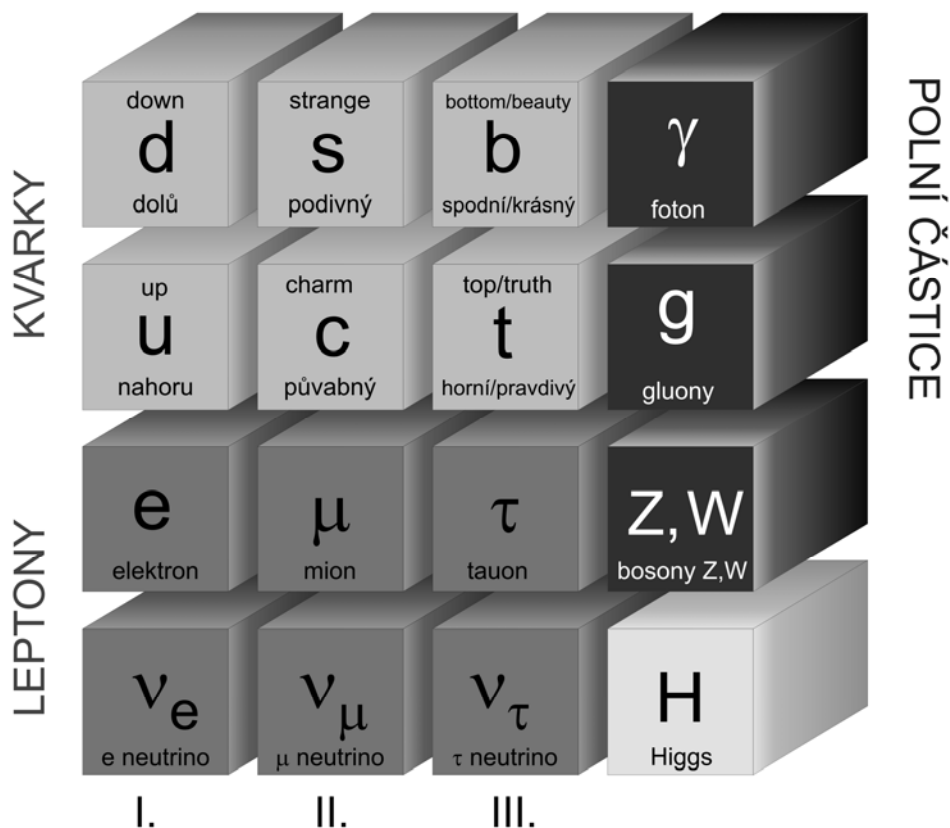
O konci Velkého třesku často hovoříme jako o *sféře posledního rozptylu*. Skutečně šlo o poslední rozptyl světla před jeho oddělením od látky (plazmatu). A slovo světla zde bylo skutečně namístě. Tenkrát šlo o světelné vlny, protože látka s teplotou několika tisíc kelvinů září ve světelné oblasti, a záření proto mělo vlnovou délku několik set nanometrů. Po miliardy let toto záření sledovalo expanzi Vesmíru a postupně prodlužovalo svou vlnovou délku až na současnou hodnotu, která je rovna jednomu milimetru, což je v mikrovlnné oblasti, jak jsme se již zmínili.

Částicový zvěřinec

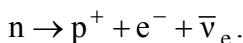
Abychom pochopili některé základní děje v průběhu Velkého třesku musíme se alespoň rámcově seznámit s dnešním světem elementárních částic. Následující výčet chápejte jako jakýsi stručný slovník částicové fyziky.

Leptony. Jde o skupinu částic, u nichž nebyla pozorována žádná struktura, jeví se bodové až do 10^{-18} m, což je hranice současných pozorovacích možností. Jejich spin je $\frac{1}{2}$. Nejznámější částicí z této skupiny je *stabilní elektron*, podléhá slabé a elektromagnetické interakci a jeho elektrický náboj je roven $1,6 \times 10^{-19}$ C. Běžný *elektron* má dvě těžší alternativy: *mion*

($207 m_e$) a *tauon* ($3\,500 m_e$). Obě částice se elektronu podobají, mají stejný náboj i stejné vlastnosti, ale jsou nestabilní. Střední doba života mionu je 2×10^{-6} s, střední doba života tauonu 10^{-13} s. V současnosti je veškerá látka vybudována z elektronů, miony se vyskytují jen v procesech s vysokou energií (vznikají například při interakci kosmického záření s horní vrstvou atmosféry) a tauony umíme vytvořit jen uměle na urychlovačích. V počátečním období existence Vesmíru byly všechny tři generace elektronů zastoupeny rovnoměrně (1/3 elektronů, 1/3 mionů a 1/3 tauonů). Jak Vesmír chladnul, elektrony druhé a třetí generace se rozpadly.



Vznik libovolného z elektronů je vždy doprovázen vznikem příslušného antineutrína (počet leptonů se v běžných procesech zachovává). Příkladem může být *beta rozpad*:



Obdobně při vzniku antielektronů (pozitronu, antimionu, antitaonu) vznikají příslušná *neutrino*. Neutrino nemají elektrický náboj, neinteragují proto elektromagneticky a běžnou látkou procházejí. Země je pro ně téměř ideálně průhledná. Každým centimetrem čtverečním povrchu našeho těla projde za pouhou sekundu 60 miliard neutrin, které vznikly při termojaderné syntéze v nitru Slunce. Neutrino mají velmi malou hmotnost (není dosud přesně známa), což způsobuje jejich oscilace; jde o jev, při kterém se neutrino jednoho druhu mění na neutrino jiného druhu.

Kvarky. Jde o šestici bodových částic, které interagují elektromagneticky, slabě a silně. Spin všech kvarků (stejně jako leptonů) je $\frac{1}{2}$. Kvarky mají neceločíselný elektrický náboj a nevyskytují se o samotě, jsou součástí složených částic. Veškeré částice obsahující kvarky nazýváme *hadrony*. Hadrony dělíme na *mezony* složené z kvarku a antikvarku a *baryony* složené ze tří kvarků. K nejznámějším baryonům patří *proton* (uud) a *neutron* (ddu). Proto se atomární látce říká také baryonová, neboť je složena převážně z baryonů (neutronů a protonů). Kvarky mají tzv. *barevný náboj* silné interakce neboli barvu. Nejde o skutečnou barvu, ale o kvantovou vlastnost, kterou se odlišují kvarky, pokud jich je v částici více jedinců stejného druhu (například $\Omega^- = sss$). Barva může nabývat hodnot: červená zelená, modrá. Složené částice jsou navenek bezbarvé (bílé). V baryonu je jeden červený, jeden zelený a jeden modrý kvark. V mezonech je kvark určité barvy a antikvark, který má příslušnou „antibarvu“, což dá dohromady opět bílou. Barevný náboj je u silné interakce analogií elektrického náboje u interakce elektromagnetické. Kvarky se, obdobně jako leptony, vyskytují ve třech generacích. První generaci tvoří kvarky „d“, „u“, druhou kvarky „s“, „c“ a třetí kvarky „b“, „t“. V současné běžném světě se vyskytují jen částice složené z první generace kvarků. Za vysokých energií (například v produktech interakce kosmického záření s atmosférou) nalezneme ještě částice s kvarkem „s“ (takové mezony nazýváme *kaony*, v případě baryonů se ujal název *hyperony*). Ostatní kvarky umíme připravit jen umělou cestou. Na počátku Vesmíru byly ale kvarky všech tří generací zastoupeny rovnoměrně, obdobně jako tomu bylo u leptonů. Kvarky s leptony tvoří spolu se svými antičásticemi základní elementy látky.

Polní částice. Podle kvantové teorie jsou za interakce odpovědné polní částice, které si mezi sebou *vyměňují interagující elementy*. Polní částice nemohou nikdy skončit v registračním přístroji, a tak nemusí splňovat zákon zachování hybnosti ani energie. Dva elektrony si například mohou vyměnit polní foton, což způsobí jejich odpuzování. Vzhledem k tomu, že polní foton nesplňuje zákon zachování hybnosti, může způ-

sobit i přitahování, například u elektronu a pozitronu. Hybnost částic, které vstupují do reakce musí ale být samozřejmě rovna hybnosti částic, které vystupují z reakce. U elektromagnetické interakce je polní částicí *foton*. Způsobuje interakci, která má nekonečný dosah a působí jen na elektricky nabitě částice.

Silnou interakci způsobuje osmice gluonů. Název těchto částic pochází z anglického *glue* (lepit). Jde o jakési pojivo či lepidlo, které drží pohromadě kvarky v hadronech. A je to prazvláštní lepidlo. Pokud mají kvarky velkou energii (mohou se k sobě dostat blízko), toto lepidlo téměř nelépí a kvarky se chovají jako volné částice. Jakmile se ale od sebe dva kvarky vzdálí více než 10^{-15} m, začne gluonové lepidlo působit a silně pojit kvarky dohromady. Je to podobné jako gumový pásek, když je smotaný, nepůsobí na jeho koncích žádná síla. Když ho ale natáhneme, začne síla působit. Příkladem mohou být neutrony a protony, ve kterých je gluonovým pojivem uvězněna trojice kvarků. Gluony jsou zodpovědné i za soudržnost atomového jádra jako celku. Dosah silné interakce je 10^{-15} m, nábojem silné interakce je barva. Na rozdíl od elektromagnetické interakce, ve které foton nemá náboj interakce, u silné interakce mají barvu i gluony. Právě tím se silná interakce výrazně odlišuje od elektromagnetické.

Slabou interakci způsobují polní částice W^+ , W^- a Z^0 . Dvě z nich jsou nabitě a mohou při interakci částic odnést elektrický náboj. Jedna z polních částic slabé interakce (Z^0) náboj nemá. Slabá interakce má dosah cca 10^{-17} m, typickým příkladem je beta rozpad, rozpad mionu nebo rozpad lambda hyperonu. Slabou interakcí může být také tu a tam zachyceno neutrino ve vodní nádrži, což se využívá při jeho detekci.

Gravitační interakce nezapadá do kvantového schématu. Gravitaci umíme popsat jen v rámci pokřiveného světa Alberta Einsteina. Předpokládá se, že až jednou vznikne kvantová teorie gravitace, bude polní částicí hypotetický *graviton*. Ten zatím v našem schématu chybí.

Higgsův boson. Jde o zatím jedinou neobjevenou částici standardního modelu elementárních částic. V teorii sjednocení elektromagnetické a slabé interakce způsobuje tato částice nenulovou hmotnost polních částic slabé interakce a tím její konečný dosah.

Fermiony. Jde o souhrnný název pro částice, které jsou „nesnášenlivé“. To znamená, že dvě takové částice nemohou obsadit stejný kvantový stav (tzv. Pauliho vylučovací princip). K fermionům patří veškeré elementární částice látky, tj. kvarky a leptony. Typickým zástupcem rodiny fermionů je tedy elektron. Naštěstí nemůže nastat taková situace, že by

si všechny elektrony „sedly“ do stejného kvantového stavu. Pak by totiž atomy všech prvků (rtuť, bróm, vodík, zlato...) měly zcela shodné vlastnosti a náš svět by byl nesmírně chudý. Díky „nesnášenlivosti“ elektrony postupně zaplňují stavy v atomárním obalu a různé prvky tak mají různé vlastnosti. Fermiony jsou pojmenovány podle italského kvantového fyzika Enrico Fermiho (1901–1954). Počet fermionů se v přírodě zachovává. *Pro odborníky:* fermiony mají poločíselný spin, vlnovou funkci antisymetrickou vzhledem k záměně částic, podléhají Fermiho-Diracově statistice a jejich kreační operátory splňují antikomutační relace.

Bosony. Jde o souhrnný název pro částice, které jsou „snášenlivé“. To znamená, že dvě takové částice mohou být ve stejném kvantovém stavu (nesplňují tzv. Pauliho vylučovací princip). K bosonům patří veškeré polní částice a Higgsova částice. Typickým zástupcem rodiny bosonů je foton. Bosony jsou pojmenovány podle indického fyzika Satyendry Boseho (1854–1948). Počet bosonů se v přírodě nezachovává. Zkuste večer stisknout vypínač osvětlení. Místnost hned zaleje proud fotonů, které zde předtím nebyly. *Pro odborníky:* bosony mají celočíselný spin, vlnovou funkci symetrickou vzhledem k záměně částic, podléhají Boseho-Einsteinově statistice a jejich kreační operátory splňují komutační relace.

Antičástice. Ke každé částici existuje antičástice, která má opačné kvantové charakteristiky. Například k elektronu jde o pozitron, který má kladný náboj. Jeho existenci předpověděl Paul Dirac (1902–1984) v roce 1928 a v kosmickém záření ho objevil Carl Anderson (1905–1991) v roce 1932. Látku složenou z antičástic nazýváme *antihmotou*. Uměle dokážeme vyrábět antivodík (CERN, Fermilab). Ve Vesmíru nalezneme sporadicky některé antičástice, ale nikdy nebyl detekován žádný antiatom. Pro tuto asymetrii mezi hmotou a antihmotou musíme hledat příčiny.

Sjednocování interakcí

Intenzita interakcí (přesněji vazební konstanta) se s energií mění. Za vysokých energií se vazební konstanty k sobě blíží, interakce se projevují jednotným způsobem. Ve Vesmíru na počátku pravděpodobně existovala jediná *prainterakce* a jak Vesmír chladnul, postupně se z ní oddělovaly interakce, které známe dnes. Na urychlovačích postupujeme opačnou cestou. S každým desetiletím se zvyšuje energie dosažitelná v urychlovačích. V současnosti není problém vytvořit na velkých urychlovačích částice s energiemi, při kterých se elektromagnetická a slabá interakce chovají jednotným způsobem jako tzv. *elektroslabá* interakce.

Jevy elektrické a magnetické. Z mnoha experimentů se v 18. a 19. století postupně ukázalo, že jevy elektrické a magnetické mají stejnou podstatu. Přispěly k tomu experimenty André Ampèra (1775–1836), Hanse Öers-
teda (1777–1851), Heinricha Hertze (1857–1894), Michaela Faradaye (1791–1867), Charlese Coulomba (1736–1806) a dalších. Tento trend byl završen vznikem klasické elektrodynamiky v roce 1873, jejímž tvůrcem se stal James Clerk Maxwell (1831–1879). Jeho rovnice později upravili do vhodnější podoby Oliver Heaviside (1850–1925) a Heinrich Hertz (1857–1894).

Elektroslabá interakce. Při energiích částic vyšších než 10^2 GeV se interakce slabá a elektromagnetická chovají jako jedna jediná *elektroslabá* interakce. Ve Vesmíru, jenž postupně chladnul, došlo při této energii k narušení symetrie elektroslabé interakce a k oddělení slabé interakce od elektromagnetické. Jednotnou teorii elektroslabé interakce navrhli Abdus Salam (1926–1996), Steven Weinberg (1933) a Sheldon Glashow (1932). Do teorie začlenili tzv. Higgsovo pole (dosud neobjevenou Higgsovu částici), které je zodpovědné za narušení elektroslabé interakce a za nenulovou hmotnost polních částic slabé interakce. Higgsova částice je pojmenována po skotském teoretickém fyzikovi Peteru Higgsovi (1929), který mechanismus narušení symetrie navrhnul. Polní částice slabé interakce objevili na přelomu let 1983/1984 Carlo Rubbia (1934) a van der Meer (1925) v Evropském středisku jaderného výzkumu CERN.

Silná interakce a GUT. První teorii silné interakce navrhnul Hideki Yukawa (1907–1981) již v roce 1935. Na současné podobě teorie silné interakce (kvarky uvězněné gluonovým pojivem) se podíleli především Frank Wilczek (1951), David Gross (1941) a David Politzer (1941). Silná interakce se při energiích nad 10^{14} GeV chová spolu s elektroslabou interakcí jako jedna jediná interakce, tzv. *GUT interakce* (Grand Unified Theory, Velké sjednocení). Tato energie není na našich urychlovačích dosažitelná. Měly by při ní podle našich představ vznikat exotické polní částice X a Y, které by měly být schopné převádět kvarky na leptony podle schématu

$$\begin{aligned} \text{kvark} &\leftrightarrow \text{antilepton}, \\ \text{antikvark} &\leftrightarrow \text{lepton}. \end{aligned}$$

TOE. Předpokládáme, že při energiích vyšších než Planckova (10^{19} GeV) by se měly všechny 4 interakce spojit do jedné jediné „prainterakce“. Hodnotu Planckovy energie získáme kombinací základních konstant (rychlosti světla, gravitační konstanty a Planckovy konstanty). Obdobně můžeme získat Planckův čas a Planckovu délku (ještě se s nimi v tomto vyprávění setkáme). V současnosti jsou o tomto sjednocení jen rámcové

představy, možná k cíli povede tzv. teorie strun v mnohorozměrném světě. Pracovně se budoucí teorie všech interakcí nazývá *TOE* (Theory of Everything, Teorie všeho).

$$E_P \approx 10^{19} \text{ GeV},$$

$$t_P \approx 10^{-43} \text{ s},$$

$$l_P \approx 10^{-35} \text{ m}.$$

Časová osa

Pokud se zabýváme ranými fázemi Velkého třesku, měli bychom vždy mít na vědomí, že do času přibližně 10^{-13} s jsou naše představy ověřitelné při srážkách jader na urychlovačích. V kratších časech jde jen o hypotézy a čím blíže počátku, tím více nejisté naše představy jsou. Následující teploty, časy a popisy dějů proto chápejte jen rámcově, zejména pokud jde o časy extrémně krátké.

10^{-43} s, oddělení gravitace. $T \approx 10^{32}$ K, $E \approx 10^{19}$ GeV, $\rho \approx 10^{94}$ g/cm³. Jde o Planckův čas, částice mají Planckovu energii. V tomto období by se měla z původní prainterakce oddělit gravitační interakce. Ve Vesmíru dominuje záření, jsou zde kvarky, leptony, polní částice a pravděpodobně i další, pro nás exotické částice, například částice X a Y schopné převádět kvarky na leptony a obráceně. V důsledku existence těchto částic by měl být proton nestabilní, nicméně jeho poločas rozpadu se odhaduje na větší než 10^{33} let. Je možné, že energie uvolněná při oddělení gravitace způsobila prudkou expanzi Vesmíru (inflaci).

10^{-35} s, oddělení silné interakce. $T \approx 10^{27}$ K, $E \approx 10^{14}$ GeV. V tomto období by mělo dojít k oddělení silné interakce od ostatních. S tím může být opět spojena následná inflace a ohřev Vesmíru uvolněnou energií. Částice X a Y se rozpadají na kvark-antikvarkové páry nebo na dvojice antikvark a lepton. Antičástice X a Y se rozpadají na dvojice kvark a antilepton. Současně při interakcích kvarků, antikvarků, leptonů a antileptonů vznikají opětovně částice X a Y. Částice X a Y jsou v termodynamické rovnováze s kvarky a leptony.

10^{-30} s, narušení symetrie mezi hmotou a antihmotou. $T \approx 10^{25}$ K, $E \approx 10^{12}$ GeV. Energie klesla pod prahovou energii nutnou pro samovolný vznik částic X a Y. Bosony X a Y se postupně rozpadají na dvojice antikvark a lepton, antibosony X a Y na dvojice kvark a antilepton. Procesy přechodu mezi leptony a kvarky probíhají mírně asymetricky a postupně ustávají. V reakcích kvark \leftrightarrow antilepton a antikvark \leftrightarrow lepton převládne nepatrně směr kvark \leftarrow antilepton a antikvark \rightarrow lepton. Proto

dojde v budoucnu k nadvládě hmoty nad antihmotou. V tuto chvíli se však na miliardu reakcí v obou směrech vyskytne jen jedna navíc ve prospěch hmoty. (Poměr 1 000 000 000 : 1 000 000 001.).

10⁻¹⁰ s, oddělení slabé interakce. $T \approx 10^{15}$ K, $E \approx 10^2$ GeV. Dochází k narušení elektroslabé symetrie vlivem dosud nenalezených Higgsových částic a následnému oddělení slabé interakce od elektromagnetické. Od tohoto okamžiku mají všechny 4 interakce vlastnosti, jaké známe z našich experimentů. Vesmír je stále složen z kvarků, leptonů, polních částic a částic vznikajících při srážkách, které odpovídají energii 10^2 GeV.

10⁻⁵ s, hadronizace látky. $T \approx 10^{13}$ K, $E \approx 1$ GeV. Energie poklesla natolik, že ji odpovídající průměrná vzdálenost mezi kvarky je větší než 10^{-15} m. Končí éra volných kvarků (kvark-gluonového plazmatu). Od této chvíle gluony pospojují kvarky do dvojic (mezonů) a trojic (baryonů). Poměr počtu vzniklých částic a antičástic je 1 000 000 001 : 1 000 000 000. Při následném procesu anihilace spolu baryony a antibaryony anihilují za vzniku záření a leptonů. Z každé miliardy baryonů a antibaryonů zůstane ve Vesmíru jediný baryon. A z těchto zbylých baryonů je vytvořena současná atomární látka ve Vesmíru.

1 s, oddělení neutrin. $T \approx 3 \times 10^{10}$ K, $E \approx 1$ MeV. Střední volná dráha neutrin narostla tak, že přestávají interagovat s látkou. Do této doby byly díky srážkám v termodynamické rovnováze s ostatním zářením a hmotou. Od této chvíle neutrina žijí vlastním životem a postupně chladnou. Dnes by reliktní neutrina měla mít teplotu kolem 2 K, hustotu 300 neutrin na cm^3 a nést v sobě obraz Vesmíru z doby jejich oddělení. Doposud probíhala intenzivní slabá interakce mezi neutrinami, elektrony, neutrony a protony. Neutrony a protony se vzájemně přeměňovaly a bylo jich stejné množství. Nyní převládá rozpad neutronů nad jejich tvorbou a jejich počet začíná oproti protonům klesat. Střední doba života volného neutronu je necelých 15 minut. Začíná boj neutronů o holý život. Ten neutron, který si zachytí proton a stane se součástí atomového jádra, zůstane stabilní. Volné neutrony se časem rozpadnou.

10 sekund, anihilace elektronů a pozitronů. $T = 5 \times 10^9$ K, $E = 500\,000$ eV. Nad touto teplotou jsou elektrony a pozitrony v rovnováze se zářením a probíhá stejný počet anihilačních procesů i kreačních procesů: elektron + pozitron \leftrightarrow záření. V tomto okamžiku poprvé převládá anihilace, mizí elektron-pozitronové plazma. Z anihilujících párů vzniká záření, které zahřeje celý Vesmír (kromě již oddělených neutrin). Teplota Vesmíru bude nakonec o 40 % vyšší než teplota reliktních neutrin. Díky slabému nadbytku hmoty nad antihmotou zůstane na každou miliardu anihilovaných elektronů a pozitronů jeden nadbytečný elektron. Ten mnohem

později poslouží ke stavbě atomárních obalů. Nadále klesá počet neutronů vzhledem k protonům, způsobený jejich rozpadem.

4 min, tvorba lehkých jader. $T = 9 \times 10^8 \text{ K}$, $E = 90\,000 \text{ eV}$. Tato energie je vazebnou energií deuteria. Nad teplotou $9 \times 10^8 \text{ K}$ záření zabránilo spojování neutronů a protonů k sobě. Od tohoto okamžiku může část neutronů a protonů vytvářet dvojice - atomová jádra (samozřejmě bez obalů). Je odstartován proces tvorby lehkých prvků. Stav nukleonů: 13 % neutronů a 87 % protonů. Nadále se poměr již nebude měnit, neutrony přestávají existovat jako volné neutrony a proto se nadále nerozpadají. Tomu odpovídá vznik 26 % hélia a 74 % vodíku. Vodík se v dnešním Vesmíru skládá z 94 % izotopu H a 6 % izotopu D. V malém množství mohly prvky vznikat již před touto teplotou. Těžší prvky v tomto období nevznikají, k jejich vzniku není dostatek času, Vesmír rychle expanduje a srážky přestávají být efektivní. Prvotvorné období je velmi krátké (3 až 5 minut po vzniku světa). V časech kratších je pro vznik prvků Vesmír příliš horký, v časech pozdějších příliš řídký.

400 tisíc roků, tvorba atomárních obalů. $T = 4\,000 \text{ K}$, $E = 0,4 \text{ eV}$. Teplota poklesla natolik, že elektrony začínají vytvářet atomární obaly, přestávají existovat volné elektrony, na kterých docházelo k rozptylu fotonů. V důsledku toho záření přestává interagovat s hmotou a odděluje se od látky. Toto elektromagnetické záření nazýváme reliktní záření a dnes má teplotu 2,73 K. Teplota tohoto záření je cca o 40 % vyšší než teplota reliktních neutrin (bylo zahřáno při procesech anihilace). Končí éra Velkého třesku a začíná tzv. temný věk Vesmíru.

400 milionů roků, vznik hvězd. $T = 100 \text{ K}$, $E = 10 \text{ meV}$. Období překotné tvorby velmi hmotných hvězd (megahvězd). Ve velkém množství vznikají obří hvězdy nulté generace s velmi rychlým vývojem. Již nikdy v budoucnu nebude produkce hvězd natolik intenzivní a jejich životní cyklus tak krátký. Látka ve Vesmíru je znovu ionizována pronikavým zářením vzniklých hvězd, končí temný věk Vesmíru. V nitru prvních megahvězd vznikají těžké prvky až po železo (má nejvyšší vazebnou energii) a ty jsou rozmetány do okolí v následných explozích hypernov. V explodujících obálkách probíhá slučování i na prvky těžší než železo.

5 miliard let, počátek zrychlené expanze. S expanzí nejrychleji klesá hustota záření ($1/R^4$ pro částice s nulovou klidovou hmotou), pomaleji hustota látky ($1/R^3$). Hustota temné energie s expanzí podle našich znalostí neklesá. Tím se samozřejmě mění procentuální zastoupení jednotlivých složek ve Vesmíru. Na počátku dominovalo záření (*éra záření*, do 400 tisíc roků), poté dominovala látka (*éra látky*, 400 tisíc let až 5 miliard let)

a nakonec převládla temná energie (*éra temné energie*, od cca 5 miliard let), která způsobuje zrychlenou expanzi Vesmíru.

14 miliard let, dnes. Ve Vesmíru je 73 % temné energie, 23 % temné hmoty a 4 % atomární látky, ze které vznikly mlhoviny, hvězdy, galaxie a kupy galaxií. Na jedné z mnoha planet obíhající na jedné z mnoha hvězd v jedné z mnoha galaxií se objevil člověk, který přemýšlí o tom, proč je Vesmír takový, jaký je.



6. Pozorovací důkazy standardního modelu

Standardním kosmologickým modelem nazýváme model založený na horkém původu Vesmíru, v průběhu něhož byl Vesmír v plazmatickém skupenství. Jak Vesmír postupně chladnul, vytvářely se jednotlivé struktury až po dnešní galaxie a kupy galaxií. Sousední „standardní model“ se ale vyskytuje i v jiných vědních disciplínách, například se používá v částicové fyzice pro model částic obsahujících leptony, kvarky, polní částice a Higgsovu částici.

Pro standardní kosmologický model máme v současnosti řadu experimentálních důkazů. O některých z nich jsme se již zmínili, šlo například o objev expanze Vesmíru z roku 1929 nebo o objev reliktního záření z roku 1965. V této části se s některými důležitými pozorovacími důkazy standardního kosmologického modelu seznámíme podrobněji.

Přímá pozorování struktur

Za první přímé kosmologické pozorování lze označit Hubblovo pozorování expanze Vesmíru v roce 1929. Od té doby se možnosti pozorovací techniky značně zlepšily. Existuje řada rutinních automatických přehlídek oblohy, dělají se specializované snímky velmi vzdálených oblastí (říká se jim hluboká pole), vyhledávají se vzdálené galaxie a kvazary atd.

Hluboká pole. *Hubbleovo hluboké pole (HDF, Hubble Deep Field)* je opravdu mimořádný snímek. V roce 1995 bylo vybráno „nejobyčejnější“ místo na obloze, ve kterém na první pohled nebylo nic zajímavého. Mělo rozměry 3'×3' (Měsíc má úhlový rozměr 30') a nacházelo se v souhvězdí Velké Medvědice. Hubblův vesmírný dalekohled pořídil 342 snímků tohoto místa ve dnech 18. 12. 1995 až 28. 12. 1995 pomocí kamery WFPC2. Doba expozice byla 15 až 40 minut. Snímky byly fotografovány v různých oborech spektra a počítačem složeny do jediného snímku, který byl zveřejněn 15. 1. 1996. Tehdy šlo o nejdetailnější dosažený snímek Vesmíru, ve kterém bylo nalezeno 1 500 galaxií v různých stupních vývoje, některé přímo při svém zrodu.

Krátce poté, co byl pořízen snímek HDF ve Velké Medvědici, se začalo uvažovat o stejném pokusu provedeném na jižní obloze stejným dalekohledem. Tentokrát se Hubble svým dva a půlmetrovým skleněným okem podíval do souhvězdí Tukana. Pole bylo (stejně jako na severní polokouli) voleno tak, aby nerušily slabé hvězdy Mléčné dráhy, ani žádná blízká skupina galaxií. Snímek byl pořízen v říjnu 1998, expozice probíhala opět 10 dní a snímek se označuje *HDF-S* (Hubble Deep Field South, Hublovo jižní hluboké pole).

Mnoho objektů hlubokého pole je kosmologickým červeným posuvem posunuto do infračervené oblasti. Proto bylo hluboké pole znovu exponováno infračervenou kamerou NICMOS Hubblova dalekohledu v roce 1998. Byly pozorovány shluky až 12 miliard let staré a zárodky hvězd ve vzdálených obřích galaxiích.

Obdobné snímky jako HDF a HDF-S byly pořízeny i jinými přístroji. Za všechny jmenujme například snímek AXAF Deep Field, NTT Deep Field a Chandra Deep Field snímané v rentgenovém oboru.

Přirozeným pokračováním těchto snah byl snímek *Hubblovo ultrahluboké pole* (HUDF, Hubble Ultra Deep Field). Výsledná fotografie byla složena z 800 snímků exponovaných v průběhu září 2003, prosince 2003 a ledna 2004 kamerami ACS a NICMOS na Hubblově dalekohledu. Celková expoziční doba byla zhruba 1 milion sekund, tj. 11 dní čistého času. Jedna expozice trvala v průměru 20 minut. Dalekohled obletěl při snímkování 400krát Zemi. Snímkované pole mělo velikost 202"×202" a nacházelo se v souhvězdí Pece. Na snímku je vidět 10 000 galaxií v různých vývojových stádiích, asi stovka z nich má stáří 13 miliard let a patří k nejstarším galaxiím ve Vesmíru vůbec. Lidstvu se v tomto snímku podařilo dohlédnout až k samým počátkům našeho Vesmíru.

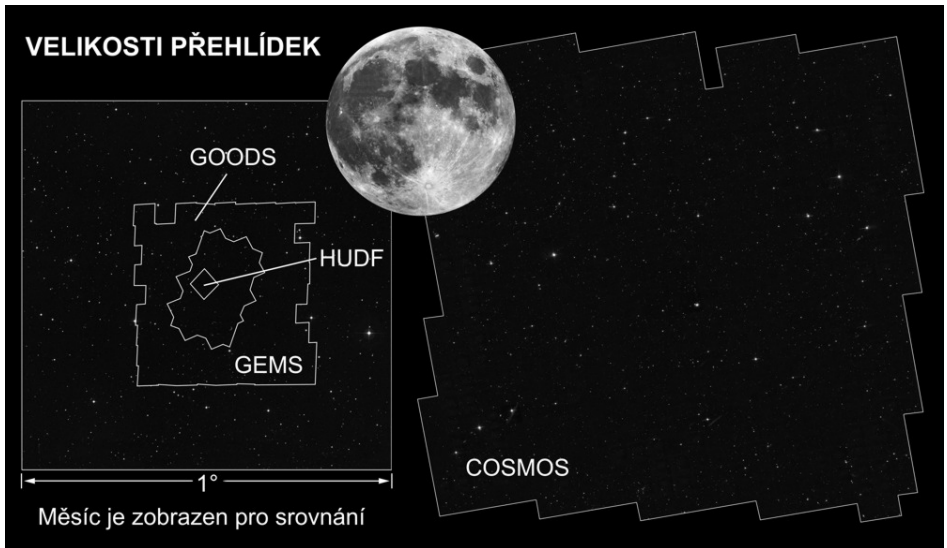
Snímky HDF a HUDF odstartovaly řadu dalších projektů, které sledují velmi pečlivě určitou část oblohy. Jmenujme například významné projekty GOODS, GEMS a COSMOS.

Projekt *GOODS* (Great Observatories Origins Deep Survey) je program zaměřený na sledování vývoje velmi starých objektů, vedlejším produktem je řada pozorování supernov SN Ia. Do projektu jsou zapojeny 4 vynikající vesmírné dalekohledy: HST (vizuální obor), SST (infračervený obor), Chandra (rentgenový obor) a XMM Newton (rentgenový obor). K pozorování byly vybrány dvě malé oblasti (20×16') oblohy: na severní obloze ve Velké Medvědi a na jižní obloze v souhvězdí Pece.

Projekt *GEMS* (Galaxy Evolution from Morphology and Spectral Energy Distributions) zahrnuje plochu 900 čtverečních minut, která je sledována za pomoci kamery ACS na Hubblově dalekohledu. Tato oblast je centrována na Jižní hluboké pole observatoře Chandra. Projekt GEMS zahrnuje 10 000 galaxií do 24 magnitudy.

Od roku 2002 probíhá časoprostorová prohlídka ve vybrané oblasti oblohy pod názvem *COSMOS* (Cosmic Evolution Survey). Prohlídka oblohy na časoprostorové škále miliard světelných roků je základem pro poznání vývoje galaxií a kup galaxií. Jde o první pokus zmapovat vývoj Vesmíru v obrovském měřítku. Ze zkrácení obrazů vzdálených objektů

se v projektu COSMOS dopočítává prostorové rozložení temné hmoty, která je klíčová pro strukturu Vesmíru. Výsledkem je časoprostorová mapa temné hmoty, která zabírá na obloze výřez zhruba 3×3 průměry Měsíce a táhne se do hloubky 6,5 miliardy světelných roků. Prostorová mapa vznikla sloučením 575 obrazových polí pořízených Hubbleovým dalekohledem pomocí širokoúhlých kamer ACS a WFPC. Data byla získána během 1 000 hodin pozorovacího času. K vytvoření mapy byly použity zkreslené obrazy 500 000 vzdálených galaxií. Vzdálenosti galaxií byly určeny spektroskopicky pomocí dalekohledů SUBARU na Havaji a VLT v Chile. K prostorovému rozložení mezigalaktického plynu posloužila pozorování rentgenového dalekohledu XMM Newton.



Celooblohové přehlídky. Existuje zhruba desítky projektů, jejichž cílem je mapování velkorozměrových struktur ve Vesmíru. Ukazuje se, že na největších škálách tvoří kupy galaxií stěny a vlákna, mezi nimiž je relativně prázdný prostor (alespoň co se atomární látky týče). Tyto projekty zpravidla automaticky den co den skenují oblohu a zaznamenávají polohy stovek tisíců galaxií. U některých z nich proměřují spektra a další charakteristiky. K vůbec nejrozsáhlejším přehlídkám tohoto druhu patří *Sloanova digitální přehlídka oblohy* (SDSS, Sloan Digital Sky Survey). Projekt je podporovaný nadací Alfreda Pritcharda Sloana, která byla založena v roce 1934. Sloan (1875-1976) byl americký obchodník a výkonný ředitel společnosti General Motors po více než dvacet let. Sloanova nadace podporuje také vědu a školství. Projekt katalogizuje od roku 2000

všechny galaxie s mezní jasností do 23. magnitudy na čtvrtině severní oblohy. Přehledka zahrnuje asi 500 miliard galaxií a ještě více hvězd. U každé galaxie je určena pozice, jasnost a barva. Pro asi miliard galaxií a 100 000 kvazarů jsou pořízena spektra. Stanice SDSS je postavena v Novém Mexiku v Sacramento Mountains na observatoři Apache Point. Hlavním přístrojem projektu SDSS je dalekohled o průměru primárního zrcadla 2,5 m.

Dalším významným přehledkovým projektem byla přehledka *2dFGRS* (2 degree Field Galaxy Redshift Survey, přehledka červených posuvů galaxií se zorným polem 2°). Projekt fungoval v letech 1997 až 2002. Pomocí unikátního spektrografu 2dF (Two degree Field) připojeného k dalekohledu AAT byla pořízena spektra více než 260 000 galaxií. Anglicko-australský dalekohled AAT (Anglo Australian Telescope) má zrcadlo o průměru 3,9 metru a je umístěn od roku 1974 na Anglicko-australské observatoři (AAO, Anglo Australian Observatory) v Austrálii v nadmořské výšce 1 150 m. Spektrograf pořizoval v poli o velikosti 2° naráz spektra 400 objektů.

Třetí nejrozsáhlejší celooblohovou přehledkou byl projekt *6dFGS* (Six-degree-Field Galaxy Survey, přehledka galaxií se zorným polem 6°). Přehledka probíhala v letech 2001 až 2009 na Anglicko-australské observatoři na Schmidově dalekohledu se zrcadlem o průměru 1,2 m. Přehledka sledovala téměř polovinu celé oblohy, pořídila spektra 136 000 galaxií a zjišťovala objemové pohyby galaxií v místní části Vesmíru.

Z neoptických přehledek jmenujme například *2MASS* (Two Micron All Sky Survey, celooblohová přehledka na vlnové délce dva mikrometry). Přehledka byla prováděna automaticky dvěma dalekohledy o průměru 1,3 metru umístěnými na Mt. Hopkins (Arizona) a na Cerro Tololo (Chile). Přehledka byla prováděna v pásmech J (1,25 μm), H (1,65 μm) a K (2,17 μm) v letech 1997 až 2001.

Vyhledávání velkorozměrových struktur má velký význam pro kosmologii. V tyto struktury se vyvinuly prvotní hustotních shluky ve Vesmíru (označují se *BAO*, Baryon Acoustic Oscillations, baryonové akustické oscilace), jejichž otisk pozorujeme jako fluktuace reliktního záření.

Supernovy Ia. Velmi důležité jsou projekty, které v galaxiích vyhledávají supernovy typu Ia. Tyto supernovy slouží jako *standardní svíčky*, z jejichž svitu je možné určit relativně přesně vzdálenost galaxie, ve které supernova vzplanula. Supernovy typu Ia jsou binární objekty, v nichž jednou složkou je bílý trpaslík. Mez stability bílých trpaslíků je 1,44 hmotnosti Slunce, (tzv. Chandrasekharova mez). Po překročení Chandrasekharovy

meze se bílý trpaslík zhroutí do neutronové hvězdy, dojde k explozivnímu termonukleárnímu hoření uhlíku a kyslíku na nikl 56 v celém objemu trpaslíka a uvolněná potenciální energie se projeví jako supernova typu Ia. Množství energie je vždy zhruba stejné, takže z relativní pozorované jasnosti lze vypočítat vzdálenost příslušné supernovy a tím i mateřské galaxie. Přesnější hodnoty se pak určí z tvaru světelné křivky (z průběhu nárůstu a poklesu jasnosti). Supernovu typu Ia lze identifikovat podle tvaru jejího spektra. V průměrné galaxii explodují přibližně dvě supernovy typu Ia za století. S pomocí supernov typu Ia našli Adam Riess a Saul Perlmutter v roce 1998 zrychlenou expanzi Vesmíru. Dnes nejvýznamnějším projektem na vyhledávání těchto objektů je SCP (Supernova Cosmology Project) vedený Saulem Perlmutterem, který analyzoval data z 719 explozí supernov typu Ia, 557 z nich bylo použitelných pro další zpracování. Aktivity týmu SCP vyústily v roce 2010 v zatím nejpresnější odhad zastoupení množství temné energie, temné hmoty a baryonové látky. Ve Vesmíru je přibližně 27 % látky (atomární a temné) a 73 % temné energie, pro niž je podíl tlaku a hustoty roven přibližně -1 (přesná hodnota -1 by byla v souladu s temnou energií jakožto projevem kvantových vlastností vakua).

Supernovy typu Ia bude možné v budoucnosti vyhledávat i specializovanými přístroji přímo z Vesmíru. NASA připravuje start sondy *SNAP* (Supernova/Acceleration Probe), která by za pomoci supernov typu Ia měla zkoumat expanzi Vesmíru. Uvažuje se o dalekohledu o průměru 1,8 m. Sonda *SNAP* by měla startovat kolem roku 2020.

Nepřímá pozorování

Reliktní záření. Toto záření uvolněné od látky v závěru Velkého třesku v sobě nese cenné informace o raném Vesmíru. Do jisté míry jde o nepřímé (zprostředkované) informace, neboť do fluktuací reliktního záření byly otisknuty tehdejší struktury látky jen díky tomu, že těsně před svým oddělením bylo záření provázáno s látkou. Detailní průzkum reliktního záření prováděla družice *COBE* (1989–1993) a v současnosti sondy *WMAP* (2001) a *Planck* (2009). Na přelomu tisíciletí se reliktní záření také úspěšně pozorovalo z balónových experimentů, které byly přesnější než družicové, ale postihly jen malou část oblohy. K nejslavnějším patřily *MAXIMA* a *BOOMERANG*.

BOOMERANG (Balloon Observations Of Millimetric Extragalactic Radiation ANd Geophysic) byl radioteleskop vyneseny stratosférickým balónem v roce 1998 do výšky 37 km nad Antarktidu. Přesná poloha radioteleskopu byla sledována pomocí družic. Let trval 10,5 dne a byl poté

ukončen přistáním radioteleskopu do sněhu na padáku. Primární zrcadlo mělo průměr 1,2 m s detektory chlazenými na teplotu 0,28 K. Přístroj byl schopen detekovat mikrovlnné záření na čtyřech vlnových délkách: 0,75 mm, 1,25 mm, 2 mm a 3 mm a jeho rozlišovací schopnost byla 10'. Celková vynášená hmotnost byla 1 400 kg. Experiment ve své době výrazně zpřesnil naše znalosti fluktuací reliktního záření.

Reliktní záření se soustavně zkoumá i ve vysokohorských oblastech, kde je výrazně sníženo pohlcování mikrovlnného záření atmosférou. K nejvýznamnějším přístrojům patří CBI (Cosmic Background Imager). Je umístěn v Atacamské poušti na planině Llano de Chajnantor ve výšce 5 080 metrů. Jde o soustavu třinácti radioteleskopů o průměru 90 cm na společné montáži. Antény jsou trvale chráněny před nepřízní počasí teflonovým krytem (teflonem mikrovlny procházejí). CBI je projektem univerzit California Institute of Technology, Canadian Institute for Theoretical Astrophysics, University of Chicago, Universidad de Chile a observatoře National Radio Astronomy Observatory. Výborná je dopravní dostupnost přístroje, leží v blízkosti městečka San Pedro de Atacama, při vysokohorské silnici přes Andy, která spojuje Argentinu s Chile. V době návštěvy autora textu v této oblasti (2003) se při silnici nacházelo i několik místních prostitutek. Vykonávat tak náročné povolání v nadmořské výšce 5 km si zaslouží skutečný obdiv.

Rekonstrukce rozložení temné hmoty. Současná přístrojová technika umožňuje i mapování temné hmoty. Zpravidla se tak děje z analýzy deformací obrazu vzdálených objektů v celooblohových přehlídkách nebo statistickou analýzou gravitačních čoček na snímcích rozsáhlých kup galaxií. U nás se touto problematikou zabývá David Heyrovský, vnuk Jaroslava Heyrovského, nositele Nobelovy ceny za polarografii.

Zastoupení lehkých prvků. Poměrné zastoupení jednotlivých lehkých prvků (zejména podíl vodíku, deuteria a hélia) je důsledkem procesů probíhajících v průběhu Velkého třesku a slouží nezřídka jako primární filtr našich hypotéz. Není bez zajímavosti, že ze zastoupení lehkých prvků ve Vesmíru bylo zjištěno, že ve Vesmíru byly a jsou jen tři generace elementárních částic. Kdyby existovala čtvrtá generace, Vesmír by se vyvíjel jinak a procentuální zastoupení prvků by se lišilo od pozorovaného.

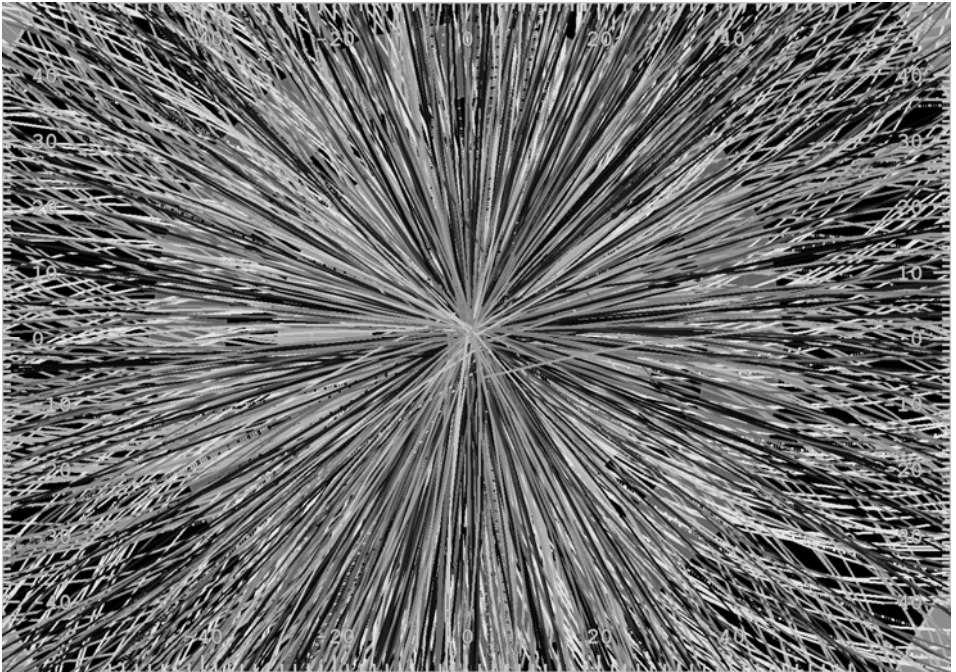
Reliktní gravitační vlny. NASA plánuje stavbu obřího interferometru LISA, trojici sond vzdálených 5 milionů kilometrů, které budou vzájemně sledovat své polohy laserovým paprskem. Projekt by se měl uskutečnit po roce 2020. Pokud se to podaří, bude LISA sledovat gravitační vlny z nejrůznějších objektů a otevře se nám další pozorovací okno do Vesmí-

ru. A pokud budeme mít štěstí, není vyloučeno, že objevíme i reliktní gravitační vlny z inflační fáze Velkého třesku. To je ale ještě v tuto chvíli hudbou budoucnosti.

Částicové experimenty

V posledních desetiletích se kosmologický výzkum koná i přímo v laboratorních částicových fyziků nebo na detektorech, které byly v těchto laboratorních vyvinuty. Stručně se zmíníme o některých z nich.

Malý třesk. Jak jsme popsali výše, v roce 2000 se ve Středisku jaderného výzkumu CERN podařilo připravit *kvarkové-gluonové plazma* – formu látky, která se ve Vesmíru nacházela 10 mikrosekund po vzniku Vesmíru. Experimenty poté deset let pokračovaly ve Spojených státech, ve známé Brookhavenské národní laboratoři, na urychlovači RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider). Nyní pokračují opět v Evropě na největším urychlovači světa LHC (Large Hadron Collider, 7 TeV/proton).



Stopy srážky dvou jader olova na urychlovači LHC v detektoru ALICE. Experimenty s Malým třeskem se v roce 2010 vrátily do Evropy.

Pierre Auger. Částicové experimenty také sledují kosmické záření. Jde o proud urychlených částic z hlubin Vesmíru. Při interakci těchto částic s atmosférou vzniká sprška milionů i miliard částic. Nejenergetičtější částice kosmického záření, které se dosud podařilo detekovat, mají energie až 10^{20} eV. Sprška z takové částice zasáhne na zemském povrchu mnoho desítek km^2 . Tak energetická částice se objeví přibližně jednou za sto let. Kosmické záření je majoritním zdrojem antihmoty na naší planetě. Může vznikat v supernovách, pulzarech, aktivních galaktických jádrech atd. Naprostá většina částic kosmického záření, okolo 88 %, jsou protony, přibližně 10 % jsou jádra hélia (alfa záření), 1 % elektrony a pozitrony a 1 % těžké prvky. Kosmické záření má naprosto nejširší spektrum energií ze všech dodnes známých jevů. Mnohé částice, které se dnes vědci pokoušejí nalézt v moderních urychlovačích, se mohou nacházet právě v kosmickém záření a pomoci nám zodpovědět klíčové otázky o původu a vlastnostech hmoty. Kosmické záření bylo objeveno v roce 1912 rakouským fyzikem Victorem Hessem (1883–1964) při balónových experimentech ve výšce až 5 500 metrů. S rostoucí výškou stoupala ionizace atmosféry a tím byl prokázán kosmický původ záření. Za objev získal Hess v roce 1936 Nobelovu cenu za fyziku.

Dosud největším projektem pro sledování kosmického záření je projekt Pierre Auger pojmenovaný podle objevitele spršek kosmického záření. Observatoř obsahuje celkem 24 fluorescenčních detektorů a 1 600 Čerenkovových detekčních stanic pokrývajících území $3\,000\text{ km}^2$. Jako vhodné místo byla zvolena Argentina, oblast Pampa Amarilla, což je polovyprahlá planina v blízkosti města Malaragüe. Do projektu, jehož realizace započala v roce 2005, je zapojena i Česká republika. Observatoř je v plném provozu od roku 2007.

AMS 02. Detektor AMS (Alpha Magnetic Spectrometer) je zmenšeninou obřích částicových detektorů používaných na urychlovačích, nicméně i tato zmenšenina má úctyhodnou hmotnost 6,7 tuny. Přístroj byl vyvíjen v Evropském středisku jaderného výzkumu CERN a bude umístěn v roce 2011 na rameni Mezinárodní kosmické stanice. K hlavnímu vybavení patří sledovač stop, elektromagnetický kalorimetr a Čerenkovův detektor, který zachycuje kužely elektromagnetického záření táhnoucí se v aerogelu za částicemi, jež se pohybují nadsvětelnou rychlostí v daném prostředí. Magnetické pole o velikosti 0,9 T generuje supravodivý magnet v objemu $0,6\text{ m}^3$. Základním cílem AMS je sledování primárních částic kosmického záření, hledání antihmoty ve Vesmíru a detekce částic temné hmoty. Antiprotony a pozitrony jsou ve Vesmíru běžnou záležitostí, vznikají při procesech s vysokou energií – nikdy ale nebyl pozorován antiatom, byť nejjednoduššího prvku – vodíku. Detektor by měl při-

spět k objasnění základních otázek původu temné hmoty, nesymetrie mezi hmotou a antihmotou ve Vesmíru a původu kosmického záření. Tento kolos bude připevněn na Mezinárodní kosmickou stanici při posledním letu raketoplánu.

7. Neověřené teorie a hypotézy

Co bylo před Vesmírem?

Standardní kosmologický model neřeší otázku, co bylo před Vesmírem. Člověka ale svým způsobem děsí každá hranice, ať prostorová či časová, a ptá se, co je za ní. Pokud zůstaneme na pozici obecné relativity, je vše jasné. Na počátku nutně byla singularita, teplota a hustota měly nekonečnou hodnotu a otázka na „předtím“ nemá smysl, protože pokud zde nebyla látka, neexistoval ani prostor, ani čas. A pokud zde byla látka, nemohla s námi žádným způsobem komunikovat, jde o tzv. kauzálně nespojené oblasti.

Jenže časy se mění. Na samotném počátku, v mimořádně husté a horké látce se nepochybně uplatňovaly i zákony kvantové teorie a svůj díl k vývoji Vesmíru přidaly i kvantové interakce: elektromagnetická, silná a slabá. A jakmile se pokusíme počítat i s nimi, počáteční hustota a teplota již nemusí být nekonečná. Okamžitě se vkrádá otázka. Jde tedy jen o maximum hustoty a teploty? A „předtím“ měla hustota a teplota nižší hodnoty? Dnes se celá řada teorií zabývá tím, *jak vypadal Vesmír před jeho počátkem*. Souhrnně je označujeme zkratkou *PBB* (Pre Big Bang). Jednou z možností je, že se Vesmír nacházel ve stavu jakési prvotní kvantové pěny – jde o bezčasový kvantový stav bez klasických vlastností. V průběhu došlo k tzv. *dekoherenci* – nevratné interakci kvantového subsystému s přirozeným okolím, které vedlo k objevení se klasických vlastností. Jinou možností je představa *cyklického Vesmíru*, v němž po fázi expanze následuje fáze kontrakce, při které se Vesmír dostane do velmi malé časoprostorové oblasti a vše se znova opakuje. Poprvé se obdobný názor objevil ve stoické filozofii. Dnes ho zastává například vynikající matematik Roger Penrose.

V závěru roku 2010 vyšel článek Penrose a Gurzadyana, podle kterého se na mapě fluktuací reliktního záření objevují soustředné kruhy, ve kterých jsou fluktuace méně výrazné než v okolí. Podle autorů článku může jít o namapování jakési *ozvěny z minulých cyklů*. V každém případě by po-

dobný výsledek byl v příkrém rozporu s inflačním modelem. Článek vyvolal řadu bouřlivých reakcí, z nichž citujeme:

- 1) může jít o artefakt, o zkreslení dat způsobené jejich zpracováním, vůbec nemusí jít o reálné kruhy.
- 2) článek byl publikován na serveru Cornellovy univerzity v úložišti nazývaném „Arxive“. Jde o největší databázi článků na světě. Články nejsou oponované, což snižuje jejich vědeckou hodnotu.
- 3) do archivu vložil článek druhý z autorů (Gurzadyana). Je Penrose skutečným autorem? Nebylo jeho jméno jen zneužito?
- 4) nejde nakonec o vtípek podobný kruhům v obilí? Existují profesionální skupiny, které tyto kruhy vytvářejí. Někdo mohl analogicky „vytvořit“ i kruhy na mapě reliktního záření.

V době psaní tohoto textu není jasné, zda jde o průlomový článek nebo o vydařený předsilvestrovský vtíp.

Mnohorozměrný svět

Za normální situace nám k popisu událostí postačí čtyři údaje (hovoříme o čtyřech dimenzích): *jeden časový údaj a tři prostorové*. Více dimenzí poprvé použil německý matematik Theodor Kaluza (1856–1945). Zajímalo ho, jak se změní řešení Einsteinových rovnic obecné relativity, přidá-li k běžným čtyřem dimenzím ještě jednu, pátou dimenzi. Šlo o matematické cvičení, kterému zpočátku nepřikládal hlubší fyzikální souvislost. Ke svému údivu ale v roce 1921 zjistil, že se v Einsteinových rovnicích v *pěti dimenzích* přirozenou cestou objeví i Maxwellovy rovnice pro elektromagnetické pole. Spolu se švédským teoretickým fyzikem Oskarem Kleinem (1894–1977) se pak pokoušeli najít jednotnou teorii gravitace a elektromagnetizmu. Svých snah zanechali po objevu slabé a silné interakce, které do jejich schématu nezapadaly a jejich teorie se zdála být slepou uličkou. Vzkríšena byla až o mnoho desítek let později.

Po vzniku kvantové teorie bylo jasné, že otázka jednotné teorie všech interakcí je otázkou sloučení obecné relativity (založené na pokřiveném časoprostoru) a kvantové teorie pole (založené na výměnných částicích a nekomutujícím světě). Vnitřně bezesporné sloučení obou teorií je ale možné až ve více dimenzích. Nejmenším počtem dimenzí je deset (následuje 26, 506, ...). První pokusy proto byly prováděny v desetiřozměrném světě. Jak si ho ale představit? Když se zdálky díváte na chomáč vaty, zdá se vám, že jde o třířozměrné těleso. Teprve při bližším ohledání zjistíte, že uvnitř se nacházejí různá vlákénka a struktury. Podobně i náš svět vypadá našima očima jako čtyřřozměrný. Kdybychom měli mimořádně kvalitní

lupu, kterou by byly vidět útvary s rozměry 10^{-35} metru (Planckova délka), viděli bychom divoký rej kvantových fluktuací a struktury, které jsou oněmi dalšími šesti svinutými (kompaktifikovanými) dimenzemi. Jenže takovou lupu nemáme a nikdy mít nebudeme. O světě Planckových škál se můžeme dozvídat jen nepřímou. V těchto teoriích již nejsou leptony a kvarky bodovými částicemi, ale lineárními útvary, které nazýváme struny. Různé vibrace strun odpovídají různým částicím. Velikost strun je srovnatelná s Planckovou délkou.

Strunových teorií se vynořila celá řada, ale ve všech se objevovala nepřirozená nekonečna. Některá z nich jsou odstranitelná za pomoci speciální matematické procedury. Strunové teorie, ve kterých je možné nekonečna odstranit, jsou vhodnými kandidáty na Teorii všeho. A zde došlo ke vzkříšení Kaluzovy-Kleinovy páté dimenze. Pokud se k teorii strun přidá ještě jedna (makroskopická, kolmá na zbývajících deset) dimenze, v tomto případě jedenáctá, všechny teorie strun s odstranitelnými nekonečny se stanou nízkoenergetickou limitou jedné jediné teorie, tzv. M teorie.

To byl ale jen počátek. Dnes se k popisu světa využívá ve strunových teoriích až 27 dimenzí. První 4 důvěrně známe, jde o čas a prostor. Dalších 6 kompaktifikovaných (svinutých) dimenzí je zodpovědných za existenci strun, jejichž vibrace tvoří částice látky (leptony a kvarky). Pak je zde 16 kompaktifikovaných dimenzí, které jsou zodpovědné za existenci polních částic. A poslední dimenze je nám již dobře známá makroskopická Kaluzova-Kleinova dimenze. V tomto mnohorozměrném světě mohou existovat méněrozměrné podmnožiny, říkáme jim *brány* (z anglického slova *membrane*). Jejich jediný vzájemný kontakt umožňuje Kaluzova-Kleinova dimenze, která je kolmá na tyto brány nebo chcete-li membrány. Představte si listy v knize. Každý list je samotným světem (bránou) a Kaluzova-Kleinova dimenze je kolmá na tyto listy.

Kvantové interakce působí jen v rámci jednotlivých stránek pomyslné hnihy. Jediná gravitace má tu výsadu, že působí jak v rámci stránek (brán), tak i v Kaluzově-Kleinově dimenzi, tedy se šíří i kolmo na brány směrem k ostatním branám (světům). Možná právě proto je gravitační interakce v našem Vesmíru tak slabá. Kaluzovou-Kleinovou dimenzí uniká gravitace k ostatním paralelním světům a ovlivňuje je. Je to šílenství nebo reálný popis našeho světa? Přímé experimentální ověření těchto hypotéz bohužel není možné. Nelze ale vyloučit některá nepřímá pozorování na výkonných urychlovačích, která by mohla extradimenze objevit. Možná nesou i svůj podpis na reliktních gravitačních vlnách z období vzniku Vesmíru. Experimentální možnosti jsou tedy velmi omezené, ale nikoli nulové. Pohybujeme se na hranici našich znalostí a teorie strun je v tuto chvíli jednou z možných představ, jak připojit gravitační interakci

k ostatním. Možná správnou a možná nesprávnou. To ukáže jen další výzkum a úsilí.

Superpartneři

Proč jsou všechny elementární částice hmoty „nesnášenlivé“ (patří do rodiny fermionů) a všechny polní částice snášenlivé (patří do rodiny bosonů)? V nejnovějších teoriích spojujících gravitaci a kvantovou teorii pole tomu tak být nemusí. V některých z nich se objevil požadavek na tzv. *supersymetrii*. Ke každému fermionu by měl při vysokých energiích (takové byly v raném Vesmíru) existovat *superpartner*, který je bosonem, a naopak ke každému bosonu by měl existovat *superpartner*, který je fermionem. Každá částice by tedy měla existovat ve dvou provedeních: snášenlivém a nesnášenlivém.

Superpartnery k bosonům označujeme příponou „-ino“ (například fotino, higgsino, wino, gluino). Superpartnery k fermionům značíme předponou „s-“ (například selektron, s-neutrino). Se superpartnery se pojí ještě dva názvy: *neutralina* – tak nazýváme všechny superpartnery bez elektrického náboje a *chargina* – tak nazýváme nabitě superpartnery. O částicích ve strunových teoriích, do kterých je zahrnut princip supersymetrie, hovoříme jako o *superstrunách*. Minimální supersymetrický model (s minimálním počtem částic) je nejjednodušším rozšířením standardního modelu elementárních částic.

Superpartnerům se někdy také říká „*stínové částice*“. Z našeho pohledu byl jejich život jepičí. Superpartneři se vyskytovali jen v nejranějších fázích vývoje Vesmíru a postupně se rozpadali na běžné částice. Dosud žádný důkaz o jejich existenci nemáme. Jednou z uvažovaných možností je, že temná hmota je tvořena nejlehčími superpartnery, kteří se již neměli na co rozpadnout a zůstali ve Vesmíru jako tzv. reliktní superpartneři. Jde o neutralina, která by měla být směsicí kvantových stavů higgsina, zina a fotina. Tyto hmotné částice by měly podléhat jen slabé interakci a proto se jim někdy říká slabě interagující hmotné částice, tzv. *wimpy* (z anglické zkratky WIMP, Weakly Interacting Massive Particle). Jejich nalezení je cílem mnoha špičkových laboratoří, například italské laboratoře pod horou Gran Sasso.

Ekpyrotický model, pokračování modelu stoiků

V roce 2002 předložili Neil Turok (1958), Paul Steinhardt (1952), Burt Ovrut a Justin Khoury astronomům zcela fantastickou a mimořádně odvažnou hypotézu. Náš Vesmír mohl vzniknout náhodným dotekem dvou bran ve vícerozměrném světě (dvou paralelních prolínajících se vesmírů).

Ano, zní to neuvěřitelně, ale tato na první pohled ztřeštěná domněnka má i své reálné jádro a měřitelné důsledky. Zatím nebyla ani vyvrácena a ani potvrzena. Název modelu znamená „z ohně pocházející“ (oheň se řecky řekne „pyros“, vzpomeňte si na počestlé slovo pyroman) a má připomínat cyklický model stoiků, kteří ho nazývali *ekpyróse*.

Model vychází ze strunové teorie, v níž jsou částice lineárními útvary v mnohorozměrném světě. Základem modelu je tvrzení, že Vesmír představuje méněrozměrný objekt ve vícerozměrném světě (tzv. bránu). Počátek Vesmíru je ztotožněn se setkáním dvou bran v místě největší kvantové fluktuace. Základní přírodní konstanty (gravitační, Planckova, rychlost světla) mohou být v různých bránách různé. Po doteku dojde v „naší“ bráně k prudké expanzi a následně tvorbě galaxií. Pokračující expanze zředí látku v bráně a gravitační síla působící i v dimenzi kolmé na náš Vesmír přitáhne opět druhou bránu a dojde k dalšímu dotyku. Výsledkem je jednoduchý model dvou oscilujících bran, který je cyklický, tj. stále se opakují fáze doteku a následné expanze (není zde ovšem fáze kontrakce). Model předpovídá, že při doteku bran vzniknou gravitační vlny, jejichž amplituda roste směrem ke krátkovlnné části spektra. Ze standardního inflačního modelu plyne naopak směrem ke kratším vlnovým délkám pokles amplitudy.

Jde o zatím jediný experimentálně ověřitelný důsledek ekpyrotického modelu. Po roce 2020 by měla startovat trojice sond LISA (Laser Interferometry Space Antenna), jež vytvoří obří laserový interferometr se základnou 5 milionů kilometrů. Zařízení by mělo být dostatečně citlivé pro detekci běžných gravitačních vln z blízkých objektů a při troše štěstí by mohlo detekovat i reliktní gravitační vlny. Naměření spektra těchto vln by definitivně vyloučilo jeden z modelů (buď inflační nebo ekpyrotický), ovšem druhý by nepotvrdilo.

Hypotézy o temné hmotě a temné energii

V předchozích kapitolách jsme se seznámili s tím, že ve Vesmíru jsou 4 % atomární (přesněji baryonové) látky, 23 % temné hmoty a 73 % temné energie. O povaze těchto entit se vedou vášnivé diskuze a existuje řada vážných i méně vážných hypotéz. Shrňme ty, jež jsou z dnešního pohledu nejbliže cíli.

Temná hmota je složena z horkých částic (za dobu existence Vesmíru prolétly podstatnou část pozorovatelného Vesmíru) a chladných částic (za dobu existence Vesmíru prolétly jen malou část pozorovatelného Vesmíru). Podstatnou část temné hmoty musí tvořit chladná temná hmota, jedině ta mohla zvýraznit a prohloubit počáteční fluktuace (pozorované v re-

liktním záření) do dnešní velkorozměrové struktury Vesmíru. Částicemi horké temné hmoty jsou například *neutrino* objevená v roce 1956 a v souladu s předpoklady tvoří tyto částice jen malou část temné hmoty. Za nejžhavější kandidáty na částice chladné temné hmoty jsou považovány *wimpy*, slabě interagující hmotné částice. Mělo by jít o reliktní superpartnery, tzv. neutralina.

Druhým nejvýznamnějším kandidátem na částice temné hmoty jsou *axiony*, hypotetické částice, které potřebuje současná teorie silné interakce. Na Zemi existuje několik desítek detektorů, které se pokoušejí tyto částice temné hmoty polapit za pomoci nejrůznějších metod. Pro *wimpy* jsou to například DAMA/LIBRA (italské Gran Sasso), Boulby (Anglie) nebo DAMIC (USA), pro axiony CAST (CERN) nebo ALPS (Německo).

Temná energie je bezstrukturní fluidum zodpovědné za zrychlenou expanzi Vesmíru. Může jít o *kvantové projevy vakua* (pak by hustota temné energie byla v průběhu expanze konstantní), o nové kvantové pole či interakci, tzv. *kvintesenci* (pak by se hustota temné energie v průběhu expanze měnila) nebo jde o projevy gravitace, která se chová na velkých vzdálenostech jinak, než jsme dosud předpokládali. Z prováděných měření se zdá, že nejlépe skutečnosti odpovídá rozfukování Vesmíru způsobené projevy vakua. Kvantové projevy vakua jsou důsledkem Heisenbergových relací neurčitosti. Pojďme si nejprve vysvětlit pojem absolutní nuly teplotní stupnice. Při ochlazování těles se snižuje množství chaotického pohybu atomů a molekul látky. Zdálo by se tedy přirozené definovat absolutní nulu jako stav božského klidu a míru bez jakéhokoli pohybu. Jenže takový stav odporuje kvantové teorii, podle které nemůžeme nikdy poznat polohu a rychlost částice současně. Pokud by například v krystalické látce ustal veškerý pohyb, znali bychom polohu iontů (ve vrcholech krystalové mřížky) a rychlost iontů (byla by nulová). V krystalu proto vždy existuje určitý základní pohyb, kterému říkáme nulové kmity. Absolutní nula je tedy stav s minimálním množstvím pohybu, které nám umožňují zákony kvantové teorie.

Obdobně je tomu s vakuem. Podle kvantové teorie nemůže být nulová současně hodnota elektrického pole a jeho hybnosti. Ve vakuu budou vždy přítomny určité základní fluktuace elektromagnetických i dalších polí. Z nich se budou rodit elektron-pozitronové (nebo jiné) páry částic a antičástic a opět zanikat. Vakuum tedy není z pohledu kvantové teorie prázdnota, ale stav světa s nejmenším množstvím fluktuací polí a částic, jež nám dovolují zákony kvantové teorie. Vakuum má nenulovou energii a ta by měla být zodpovědná (nebo její část) za zrychlenou expanzi Vesmíru. Situaci komplikuje fakt, že pokud jsou správné teorie mnohorozměrných světů, tak část vakuové energie bude deponována v extradimenzích.

Antihmota ve Vesmíru

V roce 1928 našel Paul Adriane Maurice Dirac relativistickou kvantovou rovnici pro elektron (dnes jí říkáme Diracova rovnice). Téhož roku interpretoval záporná energetická řešení rovnice jako řešení s kladnou energií, ale pro pozitron – *antičástici* k elektronu. Tu objevil Carl Anderson v sekundárních sprškách kosmického záření až v roce 1932. Za objev dostal Nobelovu cenu za fyziku pro rok 1936 a v témže roce se mu ještě podařilo objevit mion – těžký elektron. Postupně byly objeveny i další antičástice.

V pozemských podmínkách vznikají antičástice při srážkách na urychlovačích nebo při radioaktivním rozpadu. V komplexech laboratoří CERN (EU) a Fermilab (USA) lze dokonce vyrobit uměle nejjednodušší antiatom vodíku. Předmětem usilovného zkoumání je jeho chování při elektromagnetické a gravitační interakci. Z dosud provedených experimentů se zdá, že se antivodík chová stejně jako vodík.

Ve Vesmíru vznikají antičástice ve vysoce energetických procesech v blízkosti černých děr a neutronových hvězd nebo k nám přicházejí z hlubin Vesmíru jako součást kosmického záření. Jde především o pozitrony a antiprotony. Nikdy k nám z Vesmíru nepřiletěl žádný antiatom.

Hannes Alfvén, nositel Nobelovy ceny za objev magnetohydrodynamiky, věřil, že ve Vesmíru jsou celé rozsáhlé oblasti z antihmoty, že existují antihvězdy, antimlhoviny a antigalaxie. S dnešními experimentálními znalostmi je tato možnost vyloučena. Na styku oblastí hmoty a antihmoty by probíhala plošná anihilace a my bychom museli detekovat záření s výraznými charakteristickými anihilačními čarami. Nic takového se neděje.

Teorie Velkého třesku ale počítá s tím, že na počátku vzniklo stejné množství hmoty i antihmoty. Obecně se dnešní stav chápe jako důsledek *narušení* tzv. *CP symetrie*. Jde o kombinovanou symetrii částice-antičástice (C z anglického slova Charge, náboj) a levý-pravý (P z anglického slova Parity). Pokud by symetrie platila, choval by se přístroj vyrobený z antihmoty podle zrcadlového obrazu stejně jako původní přístroj. Tato symetrie ale v přírodě neplatí, jak bylo prokázáno při rozpadech kaonů v roce 1964. Celá věc je ještě složitější. Nestačí totiž jen narušení CP symetrie. V roce 1968 ukázal sovětský fyzik Andrej Sacharov (1921–1989), že hmota převládne ve Vesmíru nad antihmotou, pokud jsou splněny následující tři podmínky (tzv. Sacharovovy podmínky):

- 1) proton je nestabilní,
- 2) existuje narušení CP symetrie,
- 3) Vesmír prošel fází rychlé expanze.

Nejméně jasné je splnění první podmínky. Proton se nám jeví jako mimořádně stabilní částice. Podle teorie Velkého sjednocení (elektroslabé a silné interakce) by měly existovat za vysokých energií polní částice X a Y , které mohou převádět kvarky (antikvarky) na antileptony (leptony). Tyto částice by měly způsobit nestabilitu protonu, odhadovaný poločas rozpadu je ale delší než 10^{33} let a nikomu se takový rozpad nepodařilo dosud detekovat. Obrovskou dobu rozpadu lze kompenzovat velkým množstvím protonů, takže je pozorování nestability protonu principiálně možné, nicméně zatím nevedlo k cíli. Otázka nadvlády hmoty nad antihmotou není uspokojivě vysvětlena dodnes.

Role Planckových škál

Na počátku 20. století ukázal Max Planck, že tři fundamentální konstanty (rychlost světla, gravitační konstantu a Planckovu konstantu) lze jednoznačným způsobem (až na násobící číselný faktor) zkombinovat tak, abychom získali veličinu, která má rozměr času. Obdobně lze vytvořit jednoznačné kombinace, které mají rozměr délky, energie a dalších veličin. Těmto veličinám se říká *Planckovy škály*. Výsledné hodnoty jsou více než zarážející. *Planckova délka* je rovna 10^{-35} m, *Planckův čas* 10^{-43} s a *Planckova energie* má hodnotu 10^{19} GeV. Pak se ale musíme ptát: „Proč je náš Vesmír tak veliký a tak starý? Jaký je význam Planckových škál?“

Zdá se, že na některé otázky dávají odpověď dnešní kosmologické modely založené na sjednocovacích teoriích gravitace s ostatními interakcemi. *Planckův čas* zde koresponduje s okamžikem oddělení gravitační interakce od ostatních interakcí. Teprve od doby 10^{-43} s zde začíná fungovat samostatná gravitační interakce a pro popis Vesmíru je možné použít obecnou relativitu. V časech dřívějších musíme uvažovat i ostatní interakce. *Planckova energie* je potom typickou energií částic v Planckově čase, tedy v době oddělení gravitační interakce. A *Planckova délka* by měla symbolizovat rozměry svinutých dimenzí.

Všechny čtyři interakce by se měly chovat jednotně při energiích vyšších, než je *Planckova energie*, tj. v časech kratších, než je *Planckův čas*. Vesmír měl před tímto časem asi zcela jiné vlastnosti a platily v něm přírodní zákony, které dosud neznáme. Teplota Vesmíru v Planckově čase se odhaduje na 10^{32} K a hustota na 10^{94} g cm⁻³.

V roce 2006 se pokusil Frank Wilczek spočítat náboje jednotlivých interakcí za předpokladu, že je gravitace kvantována a na procesech se podílí i hypotetická polní částice gravitační interakce – graviton. Elektrický náboj nejprve s rostoucí energií roste (to je dáno stíněním elektronu vakuovými elektron- pozitronovými páry), pak při extrémně vysokých energiích (nad

10^{18} GeV) začnou náboje všech tří interakcí prudce klesat, a proto budou mít v nejranějších fázích Vesmíru všechny tři kvantové interakce velmi malé vazební konstanty. Předložené výpočty byly mnoha vědci kritizovány a byly v nich nalezeny zásadní chyby. Na sklonku roku 2010 byly publikovány dva nové články na obdobné téma. První shrnuje výpočty Davida Tomse z Univerzity v Newcastlu a druhý výpočty čínsko-japonské skupiny vědců (Hong-Jian He, Xu-Feng Wang, Zhong-Zhi Xianyu). V obou článcích je opět prováděn výpočet závislosti vazebních konstant na energii. V úvahu je brán vliv kvantové gravitace. Oba články prokazují, že základní myšlenka Wilczeka byla správná a korektní výpočty skutečně vedou na prudký pokles vazebních konstant nad Planckovou energií 10^{19} GeV. Všechny tři vazební konstanty (náboje) se stanou pro vyšší hodnoty energie nulové. V raném Vesmíru by podle těchto výpočtů elektron o svůj náboj přišel... Pokud se ukáže, že výpočty jsou skutečně správné a že tyto modely odpovídají realitě, bude to znamenat výrazný posun v řešení mozaiky jednotné teorie všech čtyř interakcí a fakt, že na počátku Vesmíru žádná prainterakce neexistovala a všechny interakce vznikaly až v období Planckova času.

Vesmír a topologie

Velmi často kladenou otázkou je celkový tvar neboli topologie Vesmíru. Je Vesmír konečný či nekonečný? Tvoří jednoduše souvislou množinu nebo jsou v něm díry jako v ementálu? Opět si ale nepředstavujte existenci nějaké hranice. Vždyť třeba povrch kruhu pro neplavce nemá žádnou hranici a přesto je v něm díra (v té je zapasován dotýčný neplavec) a navíc je jeho povrch konečný! Kdyby se po povrchu kruhu pohybovala dvojrozměrná bytost, mohla by se po čase dostat do téhož místa (dokonce opakovaně). Pro takto topologicky uspořádaný vesmír by byly charakteristické mnohonásobné obrazy vzdálených galaxií. Na počátku tisíciletí byly obdobné modely velmi populární a dodnes existují vědecké programy na vyhledávání periodicky se opakujících struktur ve Vesmíru. Seriózně ale musíme konstatovat, že celkovou topologii Vesmíru neznáme.

S topologií souvisí ještě jedna zajímavost. Podle teorie by se v raném Vesmíru měly vytvářet topologické defekty v podobě kosmických strun (nezaměňujte se strunami jakožto elementárními částicemi). Kosmické struny by měly být lineární gravitační útvary, jakési hmotné nitě, které se postupně rozpadají a přitom vznikají gravitační vlny. Odhaduje se, že v dnešním Vesmíru by nemělo být více než 40 kosmických strun. Pro představu: cca 10 km kosmické struny by mělo mít hmotnost jako naše Zeměkoule. Jenže kosmické struny dosud nikdo neviděl a zatím nic nenasvědčuje tomu, že by šlo o reálné útvary.

8. Místo závěru – budoucnost Vesmíru je nejistá

Doposud jsme se zabývali zejména současným Vesmírem, jeho globálními vlastnostmi, a velkorozměrovou strukturou. Zajímali nás také prvotní fáze, ve kterých se rodil Vesmír a látka v něm. Jaká budoucnost ale čeká náš Vesmír? V průběhu 20. století se odpověď na tuto otázku zdála snadná. Podle Fridmanova řešení z roku 1922 závisí osud Vesmíru jen na jeho průměrné hustotě.

Je-li hustota vyšší než určitá kritická mez, převládne gravitace, rozpínání se v budoucnosti zastaví a Vesmír se začne opět smršťovat. Jeho existence skončí ve velmi malé husté a horké oblasti. Možná to bude konec, a možná počátek. Počátek dalšího Vesmíru v nekonečném cyklu zrození a smrti. Takový Vesmír je kladně zakřivený a má konečný objem. Ve dvojrozměrné analogii odpovídá kladná křivost například povrchu míče.

Pokud je hustota Vesmíru naopak nižší než kritická, bude Vesmír expandovat neustále, nicméně expanze se bude stále zpomalovat. Takový Vesmír je nekonečný a má zápornou křivost. Ve dvojrozměrné analogii této situaci odpovídá horské sedlo nebo sedlo koně.

Pokud by hustota byla přesně rovna kritické, Vesmír by měl nulovou křivost (říkáme, že by byl plochý), byl by nekonečný a expanze by opět neustále pokračovala.

Zdálo se tedy, že stačí jediné: změřit průměrnou hustotu ve Vesmíru a zjistit tak jeho budoucí osud. Podle mnoha měření se zdá, že Vesmír je přibližně plochý, tj. jeho hustota je rovna právě kritické. Nemusí jít o náhodu, pokud ve Vesmíru v rané fázi proběhla inflace, Vesmír se „vyhladil“ a jeho parametry se automaticky nastavily na parametry plochého Vesmíru. Vesmír by tedy měl být nekonečný a expanze by měla pokračovat navěky.

Jenže situace není tak jednoduchá, jak se zdálo ve 20. letech 20. století. Uvedené úvahy platí jen, pokud Vesmír tvoří *souvislou množinu* (tj. nejsou v něm díry jako v ementálu). Pokud by Vesmír vypadal jako torus (představte si nafouklou pneumatiku), bude konečný, nikde nenarazíme na žádnou hranici, a přesto bude obsahovat „díru“. U množin, které nejsou jednoduše souvislé je možná i kombinace konečného Vesmíru se zápornou křivostí. Další komplikací je objev zrychlené expanze z roku 1998. Dokud nebudeme přesně znát podstatu zrychlené expanze, tj. podstatu temné energie, můžeme o budoucím osudu Vesmíru jen spekulovat. Ve hře jsou opět všechny možnosti, záleží na vlastnostech temné energie. Na

osudu Vesmíru se může podepsat i to, zda jde skutečně o jakousi bránu v mnohorozměrném časoprostoru, jak předpovídá ekpyrotický model. Pak by Vesmír mohl být cyklický, opakovaly by se v něm husté a horké fáze zrodu s fázemi zrychlené expanze. V ekpyrotickém modelu nenajdeme nikde fázi smršťování.

Nejpočetnější je skupina astronomů a fyziků, která předpokládá, že zrychlená expanze bude nadále pokračovat. Pokud by to byla pravda, co se stane s látkou ve Vesmíru? Máme na mysli atomární látku, ze které jsme stvořeni a kterou vnímáme nejvíce. Vše záleží na tom, zda je proton stabilní či nikoli. Pokud je nestabilní, tak se v daleké budoucnosti rozpadne baryonová látka na pouhé leptony a záření a z Vesmíru příliš mnoho nezůstane. Pojďme popsat tuto vizi tzv. *teplné smrti Vesmíru*, která pochází od vynikajícího sovětského a ruského teoretika Igora Novikova (1935), podrobněji. Mějme ale na paměti, že jde jen o jeden z možných scénářů, který by mohl platit, pokud bude expanze nadále pokračovat a proton je nestabilní částicí.

Z látky vznikne ještě několik generací hvězd, které ji budou obohacovat o stále těžší a těžší prvky tak dlouho, až nebude tvorba dalších hvězd možná. Zůstanou zde jen závěrečná stádia vývoje hvězd – bílí trpaslíci, neutronové hvězdy a černé díry. Ty budou v galaxiích obíhat kolem centrálních, velmi hmotných černých děr. Látka bude postupně chladnout, ale tento proces se v bílých trpaslících zastaví na teplotě přibližně 5 K a v neutronových hvězdách na teplotě přibližně 100 K. Dalšímu poklesu teploty zabrání postupný rozpad protonů na leptony a energie při něm uvolňovaná. Látka trpaslíků a neutronových hvězd bude pomalu rozkládána a degradována zevnitř až z původních hvězd zůstanou jen leptony a záření, které se rozptýlí do okolního prostoru. V té době (přibližně po uplynutí 10^{33} let, což je minimální odhadovaný poločas rozpadu protonu) zde zůstanou již jen černé díry a rozpadající se zbytky bývalých hvězd v mrazivém prostředí rozptýlených leptonů a záření. Ale i černé díry se za pomoci Hawkingova vypařování budou velmi pomalu měnit na leptony a záření. V čase 10^{100} let by tak Vesmír měl zůstat pouhopouhou mrazivou pustinou, ve které jen tu a tam prolétne elektron, pozitron, neutrino či foton.

9. Rejstřík osobností

Alpher, Ralph Asher (1921–2007). Americký fyzik známý zejména svou prací o Velkém třesku a předpovědi mikrovlnného záření pozadí. Spolupracoval s George Gamowem (byl jeho doktorským studentem). Vyдали spolu mnoho článků. Jejich nejznámější článek, vydaný s Gamowem a Bethem, podporuje teorii George Lemaîtrea o Velkém třesku. Jejich teorie navrhuje realistické mechanismy, k jakým mohlo v počátcích našeho Vesmíru dojít. Ve stejném roce publikoval spolu s Robertem Hermanem článek, ve kterém předpovídá, že několik set tisíc let po Velkém třesku muselo dojít k oddělení záření od hmoty, které bychom měli pozorovat jako reliktní záření.

Ampère, André Maria (1775–1836). Francouzský matematik a fyzik, který ukázal, že kolem vodiče protékaného proudem se nachází magnetické pole. Prováděl pokusy s natáčející se ručičkou kompasu a zjistil vzájemný vztah mezi směrem proudu a magnetických silokřivek, který dnes nazýváme Ampèrovo pravidlo pravé ruky. Magnetismus vysvětloval pomocí elektrických proudů v molekulách. Zjistil, že cívka protékaná proudem, se chová jako tyčový magnet. Také ukázal, že dva vodiče protékané proudem shodným směrem se přitahují, obráceně se pak odpuzují. Na jeho počest je pojmenována jednotka elektrického proudu.

Anaxagoras (500–428 př. n. l.). Řecký filozof, patřil k tzv. iónské filozofické škole. Podobně jako první atomisté považuje Vesmír za složený ze zárodků s hierarchickou strukturou. Tento svět je řízen potřebou (myslí, duchem, rozumem).

Anderson, Carl (1905–1991). Americký fyzik, který spolu s Victorem Francisem Hessem z Rakouska obdržel v roce 1936 Nobelovu cenu za objev pozitronu (kladného elektronu), první známé částice antihmoty. V roce 1936 Anderson objevil mion, těžký elektron.

Aristotelés ze Stageiry (384–322 př. n. l.). Řecký filosof, považovaný za jednoho z největších velikanů všech dob. Byl žákem Platóna. Aristotelés nesouhlasil s tím, že zákony přírody lze získat experimentální cestou. V zoologii se pokusil o první třídění živočišných druhů. Za centrum Vesmíru považoval Zemi (kulatou). Celý svět je vybudován ze základních 4 elementů: země, ohně, vody a vzduchu. Odmítal Démokritovo atomistické pojetí hmoty. Zabýval se deduktivní logikou. Na základě své představy o pohybu (každý pohyb, proces, vývoj vede k postupnému zdokonalování věcí nebo člověka) dospěl k názoru, že každý pohyb má svůj cíl, tzn. že každá věc spěje k určitému místu. Snažil se ukázat, že se planety, Měsíc, Slunce a hvězdy pohybují po kružnici.

Auger, Pierre Victor (1899–1993). Francouzský fyzik, který se zabýval se atomovou, jadernou fyzikou a studiem kosmického záření. Objevil sekundární spršky kosmického záření v atmosféře. Je po něm pojmenována Observatoř Pierra Augera v Argentině.

Bacon, Roger (1214–1294). Anglický filozof a františkánský kněz, který kladl důraz na experimenty. Je prvním průkopníkem vědecké metody. Na základě fyzikálních pokusů dospěl například k zákonu odrazu a lomu. Údajně byl také vynikajícím učitelem.

Bose, Satyendra (1854–1948). Indický fyzik, který se zabýval především kvantovou statistikou. Na jeho počest jsou pojmenovány částice s celočíselným spinem, tzv. bosony a jeho jméno nese statistické rozdělení těchto částic (Bose-Einsteinovo rozdělení). Název bosony pro tyto částice poprvé použil P. A. M. Dirac. Zabýval se také rentgenovou krystalografií, elektromagnetickými vlastnostmi ionosféry a jednotnou teorií pole.

Brahe, Tycho (1546–1601). Dánský astronom, který prováděl přesná měření (4'), aby experimentálně ověřil, zda je správný Ptolemaiov nebo Koperníkův model Sluneční soustavy. Nakonec vytvořil model vlastní: Slunce obíhalo kolem Země a ostatní planety obíhaly kolem Slunce. Naměřená data později zpracovával Kepler a posloužily za základ odvození Keplerových zákonů. V roce 1577 pozoroval kometu a z paralaktických měření určil, že se nachází za drahou Měsíce. V roce 1572 pozoroval supernovu (jedna z mála pozorovaných supernov v naší Galaxii – Tychonova supernova).

Coulomb, Charles (1736–1806). Francouzský fyzik, který prováděl pokusy s torzními vahami (nezávisle na něm popsal také Priestley). Jeho výzkumy ho vedly k závěrům, že elektrické a magnetické síly ubývají s kvadrátem vzdálenosti. Pro jevy elektrické vešel vztah ve známost jako Coulombův zákon, přestože ho již před Coulombem zavedl Robinson.

Dirac, Paul Adriane Maurice (1902–1984). Zcela fenomenální anglický teoretický fyzik. V roce 1928 našel správnou rovnici pro relativistický popis elektronu, o rok později předpověděl existenci pozitronu (antičástice k elektronu, byl objeven až v roce 1932), ještě později předpověděl existenci antihmoty. Je otcem matematického formalizmu kvantové teorie. Položil základy kvantové elektrodynamiky a kvantové teorie elektromagnetického pole. Zabýval se důsledky, které by s sebou nesla případná proměnnost gravitační konstanty. Po celý život byl zastáncem principu jednoduchosti fyzikálních rovnic. Jako jeden z prvních si uvědomil, že symetrie v přírodě jsou primárním principem při sestavování správných fyzikálních rovnic. Byl aktivním fyzikem až do konce života,

ještě v 80 letech přednáší na Novém Zélandu své revoluční teorie. Dirac získal Nobelovu cenu za fyziku pro rok 1933.

Einstein, Albert (1879–1955). Německo-americký fyzik, v roce 1905 navrhl speciální teorii relativity, ve které byl podán korektní popis částic pohybujících se vysokými rychlostmi. Einstein předpokládal, že je rychlost světla ve vakuu je konstantní a zákony fyziky platí stejně pro všechny inerciální soustavy. Einstein věděl o Michelsonově-Morleyho experimentu, který ukázal, že rychlost světla nezávisí na pohybu Země, ale nebyl důvěrně seznámen s Lorentzovou prací z roku 1895, proto nezávisle odvodil Lorentzovu transformaci. V roce 1905 vysvětlil Einstein fotoelektrický jev za pomoci předpokladu, že se světlo sestává z částic nazývaných fotony. V roce 1916 Einstein publikoval obecnou teorii relativity, která vysvětluje gravitační působení pohybem v zakřiveném časoprostoru. Za objasnění fotoelektrického jevu získal Nobelovu cenu za fyziku v roce 1921.

Faraday, Michael (1791–1867). Anglický knihař, který se zajímal o elektřinu. Získal možnost pracovat v Davyových laboratořích, kde prováděl své experimenty. V roce 1821 napsal článek o současném náhledu na elektřinu a magnetismus, ve kterém uveřejňuje Øerstedovy pokusy. Byl jedním z největších experimentátorů vůbec. Jelikož byl samouk, stávalo se, že občas nerozuměl matematice z Ampérových prací. Vlastnosti magnetické síly vedly Faradaye k domněnce, že magnetická síla je kruhová. Také objevil, že otáčení magnetu lze využít k výrobě elektrického proudu. V roce 1821 vzniklo dynamo (zařízení, které je schopné přeměnit pohyb na elektřinu). V roce 1831 objevil elektromagnetickou indukci, a v roce 1857 formuloval zákony pro elektrolýzu. V letech 1839–1855 publikoval své výsledky ve třísvazkovém díle *Experimental Researches in Electricity*. V roce 1845 vytvořil koncept, který popisoval elektrická a magnetická pole. Experimentoval také s dielektriky v kondensátorech. Zobrazil magnetické pole tyčového magnetu pomocí železných pilin.

Fermi, Enrico (1901–1954). Italsko-americký fyzik, který se věnoval především kvantové teorii a teorii elementárních částic. Malou neutrální částici, která vzniká při beta rozpadu pojmenoval neutrino (v italštině malý neutron). Na jeho počest jsou pojmenovány částice s polocíselným spinem jako fermiony. Jde o částice, které splňují Pauliho vylučovací princip, tj. dvě se nemohou nacházet ve stejném kvantovém stavu (jsou „nesnášenlivé“). Tyto částice splňují statistické rozdělení pojmenované Fermi-Diracovo rozdělení. Enrico Fermi zkonstruoval a spustil v roce 1942 na univerzitním stadionu v Chicagu první jaderný reaktor na světě. Byl postaven z grafitových cihlíček, které sloužily současně jako moderátor. V roce 1943 založil Aragonne National Laboratory. Enrico Fermi

se také zabýval způsobem urychlování kosmického záření a navrhl statistické urychlení nabitých částic při jejich odrazech od magnetických zrcadel. Dnes tento mechanismus nazýváme Fermiho mechanismus. V roce 1938 byl vyznamenán Nobelovou cenou za fyziku za objev umělých radioaktivních prvků, které vznikají z jader při ostřelování neutrony. Podle Fermiho je pojmenována rentgenová observatoř vypuštěná do Vesmíru v roce 2008.

Filoláos z Krotónu (asi 470-385 př. n. l.). Byl Sókratovým vrstevníkem a žil na Sicílii. Pravděpodobně byl první, kdo použil slovo kosmos pro Vesmír jako celek. Slovo je řeckého původu a znamená ozdobu, šperk nebo řád.

Fridman, Alexandr (1888-1925). Ruský matematik, který v roce 1922 našel nestacionární řešení Einsteinových rovnic obecné relativity pro homogenní Vesmír. Fridmanovo řešení znamenalo nutnost rozpínání nebo smršťování Vesmíru. Vytvořil první kosmologický model začínající Velkým třeskem nezávisle na Lemaîtreovi. Ukázal také, že Vesmíry se zápornou a nulovou křivostí mají nekonečné rozměry, pokud jsou jednoduše souvislé, tj. jejich geometrie nemá „díry“ jako ementál.

Gamow, George (1904-1968). Rusko-americký fyzik, který pracoval na teorii alfa rozpadu, jehož příčinu viděl v tunelování skrze jadernou potenciálovou bariéru. Je autorem tzv. kapkového modelu atomového jádra, ve kterém se jádro chová jako kmitající kapka, která se při štěpení rozdělí na dvě. Dokázal, že jakmile hvězda spaluje vodík, zahřívá se. Podporoval Lemaîtreovu teorii Velkého třesku. Je autorem prvního horkého modelu Vesmíru (1948), předpověděl oddělení záření od hmoty několik set tisíc let po Velkém třesku a jeho další samostatnou existenci. Dnes toto záření známe jako reliktní mikrovlnné záření.

Glashow, Sheldon (1932). Americký fyzik, zabývá se kvantovou teorií pole. Je spoluautorem sjednocení elektromagnetické a slabé interakce. Spolu s Weinbergem a Salamem obdržel za tuto práci Nobelovu cenu za fyziku v roce 1979.

Gross, David Jonathan (1941). Americký teoretický fyzik, který je spoluobjevitelem tzv. asymptotické volnosti silné interakce kvarků a gluonů v rámci kvantové chromodynamiky. Tato teorie spolu s tehdy již známou teorií elektroslabých interakcí vytvořila základy dnešního standardního modelu fyziky elementárních částic. Spolu s Wilczekem a Politzerem získal Nobelovi cenu za fyziku pro rok 2004.

Gurzadyan, Vahe. Arménský teoretický fyzik. Zabývá se teorií chaosu, stelární dynamikou a kvantovou kosmologií, reliktní zářením a velko-
rozměrovými strukturami ve Vesmíru.

Guth, Alan (1946). Vynikající americký teoretik, profesor na MIT, který jako první v roce 1980 vytvořil inflační teorii. V raných fázích se Vesmír po krátkou dobu rozpínal exponenciálně (tzv. inflační fáze). Tato inflační fáze je zodpovědná za dnešní stav Vesmíru (celkovou homogenitu a křivost blízkou jedné).

Hawking, Stephen (1942). Britský teoretik, který ukázal, že v rámci obecné relativity je nevyhnutelná počáteční singularita ve vývoji Vesmíru (Velký třesk). Později ukázal, že v případě kombinace obecné reality s kvantovou teorií tato singularita není nezbytně nutná. Studoval teorii černých děr, zavedl entropii a teplotu černé díry a zabýval se termodynamikou černých děr. Navrhl mechanismus záření černých děr, tzv. Hawkingovo vypařování. Pokouší se o spojení kvantové teorie a obecné relativity. Je autorem několika mimořádně kvalitních populárních knih (například *Stručná historie času*).

Heaviside, Oliver (1850–1925). Anglický fyzik a matematik. Odvodil techniku použití Laplaceovy transformace pro řešení obyčejných diferenciálních rovnic. Spolu s Hertzem přeformuloval Maxwellovy rovnice elektromagnetického pole tak, aby byly použitelné pro výpočty polí. Odvodil pole kolem pohybujícího se náboje.

Herman, Robert (1914–1997). Americký fyzik, spolu s Ralphem Alpherem jako první odhadli teplotu reliktního záření. Podílel se také na práci Gamowa a Alpherova věnované vzniku prvků v počátečních fázích Velkého třesku, na článku z roku 1948 ale uveden nebyl, pod článkem byli na Gamowův popud podepsáni Alpher, Bethe a Gamow (šlo o Gamowův vtip, Gamow chtěl, aby jména autorů připomínala začátek řecké abecedy). Reliktní záření našli náhodou v roce 1965 Penzias a Wilson a za tento objev získali Nobelovu cenu za fyziku. Její udělení komentoval Herman slovy: „Cenu nedáváte konkrétnímu člověku, ale výsledkům práce v této oblasti.“ Později se Herman zabýval teorií dopravního provozu a inteligentními dopravními systémy. V 80. letech tvořil sochy z vzácných dřev a kovů a hledal v nich vztah mezi hmotou a lidskou představivostí.

Herschel, William (1738–1822). Vynikající anglický astronom, zkonstruoval ve své době největší zrcadlový dalekohled na světě. V roce 1781 objevil planetu Uran, v roce 1787 našel Uranovy měsíce Oberon a Titania, v roce 1789 měsíce Enceladus a Mimas. Byl mimořádně pečlivý pozorovatel a na základě jeho pozorování byl později vybudován katalog NGC

(*New General Catalog of Nebulae and Clusters of Stars*). Objevil infračervené záření ve spektru (pomocí zvýšení teploty na teploměru, na který dopadaly neviditelné paprsky z této oblasti spektra). Zjistil, že krystaly mohou stáčet rovinu polarizace světla. Po Herschelovi je pojmenován největší dalekohled dopravený lidstvem do Vesmíru, Herschelova observatoř s 3,5metrovým dalekohledem pro infračervený obor, která funguje od roku 2009.

Hertz, Heinrich (1857–1894). Německý fyzik, který v roce 1888 dokázal experimentálně existenci elektromagnetických vln. Vytvářel je v laboratoři pomocí obvodu, který obsahoval cívku a jiskřiště. Ukázal, že jeho vlny mají stejnou povahu jako světlo. Spolu s Heavisidem přeformuloval Maxwellovy rovnice do dnešní podoby, která je použitelná pro výpočty. Kritizoval Maxwellovu definici náboje a posuvného proudu a dal těmto definicím řádný matematický základ. Na jeho počest je pojmenována jednotka frekvence Hertz.

Hess, Victor Franz (1883–1964). Rakousko-americký fyzik, nositel Nobelovy ceny pro rok 1936 za objev kosmického záření. Působil v Rakousku i ve Spojených státech. V roce 1911 prováděl pomocí balónu průzkum ionizace atmosféry ve výšce 5000 metrů a objevil kosmické záření způsobující tuto ionizaci. Nobelovu cenu sdílí s americkým fyzikem Carlem Davidem Andersonem.

Higgs, Peter (1929). Skotský teoretický fyzik a matematik, který v roce 1964 předpověděl existenci částice nazvané později Higgsov boson. Tato částice by měla být zodpovědná za narušení elektroslabé symetrie a za nenulovou hmotnost polních částic Z a W.

Hoyle, Fred (1915–2001). Anglický astronom a matematik, který se zabýval syntézou prvků v nitru hvězd. Byl zarytým odpůrcem teorie Velkého třesku. Je původcem samotného názvu „Velký třesk“, který měl být posměšným označení teorií horkého původu Vesmíru. Hoyle se proslavil také jako spisovatel sci-fi povídek.

Hubble, Edwin Powell (1889–1953). Americký astronom, vedoucí osobnost astronomie 20. století. V roce 1923 s 2,5metrovým Hookovým dalekohledem na observatoři Mt. Wilson zkoumal mlhovinu v Andromedě a zjistil, že jde o cizí galaxii. Poté objevil řadu dalších galaxií. Hubble se detailně zabýval objevenými galaxiemi a navrhl jejich klasifikaci. V roce 1929 zjistil při pozorování 46 vzdálených galaxií, že se od nás vesměs vzdalují a to úměrně jejich vzdálenosti. Hubblova měření byla založena na Dopplerově posuvu spektrálních čar a stala se prvním přímým experimentálním důkazem rozpínání Vesmíru. Podle Edwina Hubblea je pojmenován Hubblův vesmírný dalekohled, který byl naveden na oběžnou

dráhu Země v roce 1990 a stal se jedním z nejvýznamnějších astronomických přístrojů současnosti.

Chandrasekhar, Subramanyan (1910–1995). Indický astrofyzik, který pracoval v Anglii, později v USA. Zabýval se zejména teorií stavby hvězd. Odvodil maximální možnou hmotnost bílého trpaslíka (1,44 hmotnosti Slunce, Chandrasekharova mez). Nad touto hranicí je trpaslík nestabilní. Dále se Chandrasekhar zabýval matematickou teorií černých děr a obecnou relativitou. Na jeho počest byla pojmenována rentgenová družice Chandra vypuštěná v roce 1999. Ve statistické fyzice a ve fyzice plazmatu se používá Chandrasekharova funkce.

Kaluza, Theodor Franz Eduard (1885–1945). Německý matematik, který zasvětil život tvorbě jednotné teorie gravitačního a elektromagnetického pole. Prováděl úspěšné pokusy o nekvantové sjednocení v pěti dimenzích. Dnes jdou tyto modely známy pod názvem Kaluza-Kleinovy teorie (Oskar Klein, nikoli Felix Klein). Tento model měl výraznou podporu Alberta Einsteina.

Kepler, Johannes (1571–1630). Německý matematik a astronom, který se stal asistentem Braheho. Tím získal přístup k jeho planetárním tabulkám, na základě kterých odvodil Keplerovy zákony (základní zákony mechaniky pohybu planet). První zákon mluví o tom, že planety obíhají okolo Slunce po elipsách s malou výstředností. Druhý říká, že polohový vektor (středem je Slunce) opíše za jednotku času stejnou plochu. A třetí: druhé mocniny oběžných dob dvou planet jsou ve stejném poměru jako třetí mocniny jejich hlavních poloos. V roce 1604 Kepler pozoroval jednu z mála supernov viditelných lidským okem (Keplerova supernova).

Klein, Oskar Benjamin (1894–1977). Švédský teoretický fyzik. Je spoluautorem Kaluza-Kleinova modelu, který se poprvé pokusil sjednotit elektřinu a magnetismus s gravitací pomocí přidání další, páté dimenze. Dnes se obdobný postup i používá v teorii strun. Je také spoluvůrcem Kleinovy-Gordonovy rovnice z roku 1927, která je správnou kvantovou relativistickou rovnicí pro částice s nulovým spinem. Spolu s Alfvénem zastával názor, že děje ve Vesmíru dominantně ovlivňuje elektromagnetická interakce. Podle Kleina je také pojmenován Kleinův paradox (relativistická nehmotná částice není při průchodu potenciálovou bariérou exponenciálně tlumená). Jev byl experimentálně ověřen při pohybu elektronu s nulovou efektivní hmotností v grafenu.

Koperník, Mikuláš (1473–1543). Polský astronom, který je autorem heliocentrického systému. Spektrum jeho zájmů bylo nesmírně široké. Byl nejenom astronom a matematik, ale i lékař, právník a římskokatolický

duchovní. Tyto profese skutečně vykonával, byl například osobním lékařem varmiňského biskupa.

Lemaître, George (1894-1966). Belgický kněz, profesor fyziky, astronom a kosmolog. Nezávisle na Fridmanovi odvodil v roce 1927 řešení expandujícího Vesmíru z rovnic obecné relativity. Byl prvním zastáncem horkého původu světa (hovořil o hypotéze prvotního atomu, název Velký třesk pochází z pozdější doby), který rozpracoval George Gamow s Hermanem a Alpherem. Nejčastěji byl oslovován abbé (označení francouzského římskokatolického kněze).

Linde, Andrej (1948). Rusko-americký teoretický fyzik, který je známý pracemi věnovanými inflační fázi vývoje Vesmíru. Je autorem konceptu dceřiných vesmírů vznikajících v původním vesmíru jako nový vakuový stav s nižší energií, než měl původní vesmír.

Mather, John (1946). Americký astrofyzik a kosmolog, specialista na infračervenou astronomii. V Goddardově letovém středisku byl vůdčí osobností při návrhu družice COBE (Cosmic Background Explorer), kde přímo vyvíjel spektrometr FIRAS (Far Infrared Absolute Spectrophotometer). Na základě měření družice ukázal, že reliktní záření má charakter záření absolutně černého tělesa s relativní přesností 10^{-3} . Podílel se na vývoji dalekohledu JWST (James Webb Space telescope, dalekohled Jamese Webba), sítě radioteleskopů ALMA (Atacama Large Millimeter Array) i dalších významných přístrojů.

Meer, van der (1925). Holandský fyzik, působí v Evropském středisku jaderného výzkumu CERN. Připravoval spolu s Rubbiou experimenty, které vedly k objevu polních částic slabé interakce (W^+ , W^- , Z^0). Za tyto práce získali v roce 1984 Nobelovu cenu.

Newton, Isaac (1643-1727). Newton byl anglickým fyzikem, géniem v experimentování i matematice, a právě tato kombinace mu umožnila založit novou mechaniku. Jeho metoda byla jednoduchost sama: „na základě pohybových jevů prozkoumat přírodní síly a pak použít těchto sil k vysvětlení dalších jevů“. Newtonova genialita ho dovedla k vytvoření nového a základního matematického prostředku - matematické analýzy (současně objevené Gottfriedem Leibnizem) - což mu umožnilo provádět předpovědi pohybů. Výsledky svého snažení popsal ve spise Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (Matematické základy přírodní filosofie), který byl vydán v roce 1687. Zde byla obsažena nová fyzika, použitelná stejně dobře pro pozemská i nebeská tělesa. Newtonova analýza sil dala za pravdu Koperníkovi, Keplerovi a Galileovi.

Örsted, Hans (1777–1851). Dánský fyzik a filosof, který v roce 1819 objevil vychylování ručky kompasu v blízkosti obvodu s elektrickým proudem a svým objevem podnítl celou řadu dalších experimentů, které vedly k pochopení zákonů elektromagnetizmu.

Pauli Wolfgang (1900–1958). Německý fyzik, který v roce 1925 zformuloval Pauliho vylučovací princip: dva fermiony se nemohou nacházet ve stejném kvantovém stavu. Významně se podílel na vzniku kvantové mechaniky. Z energetické bilance beta rozpadu usoudil, že je část energie odnášena malou neutrální částicí. Později byla tato částice nazvána neutrino a objeveny byla až v roce 1956. Je po něm pojmenována Pauliho rovnice, první kvantová rovnice, která obsahovala spin. Za své práce, zejména za objev vylučovacího principu, získal v roce 1945 Nobelovu cenu za fyziku.

Penrose, Roger (1931). Anglický teoretický fyzik a matematik, který se zabývá zejména obecnou relativitou a kosmologií. Vždy kladl důraz na matematickou stránku teorií. Zabýval se Hawkingovým zářením a dalšími jevy na pomezí obecné relativity a kvantové teorie. V roce 1974 našel neperiodické pokrytí roviny za pomoci rovnoběžníků.

Penzias, Arno Allan (1933). Německo-americký fyzik, který společně s Robertem Wilsonem objevil reliktní elektromagnetické záření v roce 1965 v Bellových laboratořích. Toto záření pochází z doby 400 tisíc let po vzniku světa a stalo se významným svědectvím o prvních fázích vývoje Vesmíru. Za tento objev získali Penzias a Wilson Nobelovu cenu za fyziku pro rok 1978. Arno Penzias pracoval v Bellových telefonních laboratořích, od roku 1976 byl ředitelem laboratoře Bell Radio Research Laboratory a v roce 1981 se stal vicepresidentem pro výzkum v Bellových laboratořích.

Perlmutter, Saul (1959). Americký astrofyzik z Lawrenceovy národní laboratoře v Berkeley. Vedl tým, který v roce 1998 objevil zrychlenou expanzi Vesmíru (nezávisle ji také objevila skupina vedení Adamem Riesselsem). V současnosti je vedoucí osobností projektu SCP (Supernova Cosmology Project) a významně se podílí na přípravě sondy SNAP (Supernova/Acceleration Probe), která bude sloužit k určování vzdáleností galaxií za pomoci supernov typu Ia.

Planck, Max (1858–1947). Německý fyzik, který formuloval rovnici popisující vyzařování absolutně černého tělesa za předpokladu, že energie je kvantována a elementární kvantum je úměrné frekvenci. Tento předpoklad zavedl ryze matematicky, aby rovnice byly řešitelné. Fyzikální interpretaci příliš nedůvěřoval. V roce 1918 získal Nobelovu cenu za kvantovou teorii, úspěšně vyzkoušenou Einsteinem na fotoelektrickém jevu

a Bohrem na prvním modelu atomu. Planck byl kritikem pravděpodobností interpretace entropie. V roce 1900 poprvé použil univerzální plynovou konstantu a Avogadrovo číslo. Po Maxu Planckovi je pojmenována největší síť vědeckých ústavů v Německu a evropská sonda Planck určená pro výzkum reliktního záření.

Politzer, David Hugh (1949). Americký teoretický fyzik, který je spoluobjevitelem tzv. asymptotické volnosti silné interakce kvarků a gluonů v rámci kvantové chromodynamiky. Za tuto práci, kterou započal ve svých 24 letech získal spolu s Wilczekem a Grossem Nobelovu cenu za fyziku pro rok 2004.

Ptolemaios (90–168 n. l.). Řecký filozof, který rozpracoval a upřesnil Hiparchův systém epicyklů a excentrických kružnic k vysvětlení geocentrické teorie Sluneční soustavy. Tento systém, který je nyní znám jako Ptolemaiov, je popsán v díle Almagest, jehož součástí je také katalog hvězd ve 48 souhvězdích jejichž názvy užíváme dodnes.

Pythagorás (570–495 př. n. l.). Řecký filozof a matematik, zakladatel pythagorejské školy (pythagorejci). Zabýval se studiem čísel, která jsou podle pythagorejců základem všeho. Pythagorás byl první Řek, který si uvědomil, že večernice i jitřenka jsou jednou a toutéž planetou – Venuší. Prohlásil, že Země je kulatá a rozšířil Anaximandrov model sfér. Do jeho středu kladl centrální oheň. V matematice proslul Pythagorovou větou, podle níž je druhá mocnina velikosti přepony v pravoúhlém trojúhelníku rovna součtu druhých mocnin odvěsen. Celočíselným řešením se říká pythagorejské trojice.

Riess, Adam (1969). Americký astrofyzik z Univerzity Johna Hopkinse a z STSI (Space Telescope Science Institute). Vedl tým, který v roce 1998 objevil zrychlenou expanzi Vesmíru (nezávisle ji také objevila skupina vedení Saulem Perlmutterem). V současnosti se zabývá sledováním a objevováním vzdálených supernov s pomocí Hubblova vesmírného dalekohledu.

Rubbia, Carlo (1934). Italský fyzik, který spolu s Van der Meerem objevil v Evropském středisku jaderného výzkumu CERN polní částice slabé interakce (W^+ , W^- , Z^0). Za tyto práce získali v roce 1984 Nobelovu cenu za fyziku. Později se stal na mnoho let ředitelem střediska CERN.

Rubinová, Vera, Cooper (1928). je americká astronomka zabývající se problematikou rychlosti rotace Galaxie. Její objev ploché rotační křivky z roku 1968 je nejvýraznějším důkazem existence temné hmoty. Je po ní pojmenován asteroid 5726 Rubin.

Sacharov, Andrej Dmitrijevič (1921–1989). Vynikající sovětský teoretik, který se odmítl podílet na stavbě sovětské atomové bomby, nicméně od roku 1948 se aktivně zúčastnil vývoje sovětské vodíkové bomby. Stál u zrodu první vodíkové bomby i u testu dosud největší vyzkoušené bomby Car v roce 1961. Spolu s Igorem Tammem navrhl zařízení tokamak dnes běžně využívané k experimentům s termojadernou fúzí. V roce 1968 navrhl, že za nerovnováhu mezi hmotou a antimotou ve Vesmíru je zodpovědné narušení CP symetrie v silné interakci. Sacharov se velmi se angažoval v politickém dění, zejména co se týkalo různých smluv o omezení jaderného zbrojení. V roce 1975 získal Nobelovu cenu za mír, kterou mu sovětské vedení neumožnilo převzít. V roce 1979 otevřeně kritizoval obsazení Afghánistánu Sovětským svazem. Rychle následovalo zatčení a odejmutí všech cen a vyznamenání. S manželkou byl deportován do Gorkého. Po roce 1986 došlo ke změně poměrů a Sacharov se mohl vrátit a pokračovat ve své práci.

Salam, Abdus (1926–1996). Pákistánský fyzik, který pracoval na teorii sjednocení elektromagnetické a slabé interakce. Spolu s Glashowem a Weinbergem předpověděli existenci polních částic elektroslabé interakce včetně jejich vlastností. Za tyto práce obdrželi všichni tři Nobelovu cenu za fyziku pro rok 1979. Předpovězené částice byly objeveny Rubbiou a Meerem v roce 1984.

Sloan, Alfred Pritchard (1875–1966). Dlouholetý prezident a předseda správní rady automobilové společnosti General Motors. Je zakladatelem Sloanovy nadace, která podporuje významné vědecké projekty. V rámci této nadace vznikla dosud největší celooblohová přehlídka SDSS (Sloan Digital Sky Survey).

Smoot, George (1945). Americký odborník na kosmologii a částicovou fyziku. Zabývá se výzkumem reliktního záření. Zpracovával výsledky z družice COBE (Cosmic Background Explorer), na které je autorem přístroje DMR (Differential Microwave Radiometer). Účastnil se dalších leteckých, balónových a pozemních experimentů s reliktním zářením. Jeho zásluhou byla výrazně zpřesněna měření anizotropie a spektra reliktního záření. Podílel se na balónových experimentech, při kterých bylo reliktní záření zkoumáno pomocí spektrometrů se supravodivými magnety. Dále výrazným podílem přispěl při přípravě družic HEAO (High Energy Astronomy Observatory) určených k výzkumu kosmického záření. Zde navrhoval a testoval kryostat se supravodivým magnetem a dobou života 1 rok. Byl konstruktérem absorpčních čítačů spršek kosmického záření a kalorimetrů pro Bevatron a SLAC (Stanford Linear Accelerator). Také vyvíjel spektrometr se supravodivým magnetem pro

Mezinárodní kosmickou stanici. V roce 2006 získal spolu s Matherem Nobelovu cenu za výzkum reliktního záření.

Steinhardt, Paul (1952). Americký astrofyzik, působí jako profesor teoretické fyziky v Princetonu. Věnuje se kosmologii, je jedním z autorů inflačního modelu Vesmíru. Zavedl koncept kvintesence jakožto vysvětlení podstaty temné energie, pokud by byla její hustota proměnná v čase. V roce 2002 publikoval spolu s Turokem ekpyrotický model cyklického Vesmíru, podle kterého vznikl Vesmír dotekem dvou brán ve vícerozměrném světě. Vzkřísili tak cyklický model Vesmíru řeckých stoiků.

Turok, Neil Geoffrey (1958). Teoretik jihoafrického původu. Studoval v anglické Cambridge, kde se stal v roce 1997 vedoucím katedry teoretické fyziky v Cambridge. Od roku 2008 vede Perimeter Institute v Kanadě. Předpověděl korelaci mezi teplotními fluktuacemi reliktního záření a jeho polarizací, která byla později objevena sondou WMAP. Spolu s Paulem Steinhardtem publikoval v roce 2002 hypotézu ekpyrotického modelu Vesmíru, podle kterého vznikl Vesmír dotekem dvou brán ve vícerozměrném světě. Vzkřísili tak cyklický model Vesmíru řeckých stoiků.

Weinberg, Steven (1933). Americký teoretický fyzik, který zasvětil život kvantové teorii pole. Pracoval na teorii sjednocení elektromagnetické a slabé interakce. Spolu s Glashowem a Salamem předpověděli existenci polních částic elektroslabé interakce včetně jejich hmotnosti. Za tyto práce obdrželi všichni tři Nobelovu cenu za fyziku pro rok 1979. Předpovězené částice byly objeveny Carlo Rubbiou a van der Meerem v roce 1984.

Wilczek, Frank (1951). Americký teoretický fyzik, pod vedením Davida Grosse objevil na Chicagské univerzitě tzv. asymptotickou volnost silné interakce kvarků a gluonů. Nezávisle provedl výpočet i David Politzer z Harvardu. Podle výpočtů se intenzita silné interakce mezi barevnými kvarky zeslabuje až k nule, pokud se kvarky k sobě přibližují. A jestliže jsou kvarky vedle sebe ve velmi malé vzdálenosti, tak je působení mezi nimi tak slabé, že se chovají jako téměř volné částice. Všichni tři obdrželi Nobelovu cenu za fyziku pro rok 2004. Tato teorie spolu s tehdy již známou teorií elektroslabých interakcí vytvořila základy dnešního standardního modelu fyziky elementárních částic. Frank Wilczek je považován za jednoho z nejvýznamnějších teoretických fyziků současnosti.

Wilson, Robert Woodrow (1936). Americký fyzik. Spolu s Arno Penziasem objevil reliktní elektromagnetické záření v roce 1965 v Bellových laboratořích. Toto záření pochází z doby 400 tisíc let po vzniku světa a stalo se významným svědectvím o prvních fázích vývoje Vesmíru. Za tento objev získali Penzias a Wilson Nobelovu cenu za fyziku pro rok 1978.

Robert Wilson pracoval v letech 1963–1976 v Bellových telefonních laboratořích v New Jersey. Od roku 1976 vedl oddělení radiového výzkumu v Bellových laboratořích. V roce 1979 se stal členem americké akademie věd.

Yukawa, Hideki (1907–1981). Japonský fyzik, studoval síly držící pohromadě atomové jádro. Teoreticky předpověděl pion, jako částici podílející se na interakci mezi neutronem a protonem, a která je přibližně 200krát hmotnější než elektron. Vytvořil první teorii silné interakce, ve které jako výměnné částice fungovaly mezony. Je po něm pojmenován Yukawův potenciál silné interakce. Za práce na silné interakci obdržel v roce 1949 Nobelovu cenu.

Zwickey, Fritz (1898–1974). Švýcarský astronom a astrofyzik, který pracoval většinu svého života v Kalifornii. Narodil se v bulharské Varně, vystudoval ve Švýcarsku a roce 1925 odešel na Caltech k Robertu Millikanovi. Byl považován za vědeckého génia, který se nebál nových přístupů a postupů, ale také byl široce znám svým svérázným a často urážlivým humorem. Prvním větším přínosem byla teorie „unaveného světla“ z roku 1929, která vysvětlovala červený posuv pozorovaný Hubblem postupným ztrácením energie fotonů v důsledku přítomnosti gravitačních polí ve Vesmíru. V roce 1933 odhalil, že v místech galaxií musí být něco, co dneska nazýváme temnou hmotou. O rok později s Walterem Baadem vymyslel slovo „supernova“, o které předpokládal, že vzniká při kolapsu normální hvězdy na neutronovou. Neutron byl přitom objeven jen krátce před tím. Zwickyho výmyslem z roku 1937 byly i gravitační čočky. Správně předpokládal, že kupy galaxií mohou svým gravitačním polem ohýbat světlo ještě vzdálenějších zdrojů. V letech 1937–1941 našel 18 supernov v jiných galaxiích. Do té doby bylo známo pouhých 12 supernov mimo naši Galaxii. V letech 1943–1946 se podílel na vývoji prvních tryskových motorů ve společnosti Aerojet Engineering Corporation v Arizoně, kde byl ředitelem výzkumu.

10. Rejstřík zkratk

2dF - 2 degree Field

2dFGRS - 2 degree Field Galaxy Redshift Survey

2MASS - Two Micron All Sky Survey

6dFGS - 6 degree Field Galaxy Survey

AAO - Anglo-Australian Observatory

AAT - Anglo-Australian Telescope

ACS - Advanced Camera for Surveys (HST)

ALICE - A Large Ion Collider Experiment (LHC, CERN)

ALPS - Axion Like Particle Search (DESY)

AMS - Alpha Magnetic Spectrometer (Mezinárodní kosmická stanice)

ATLAS - A Toroidal LHC Apparatus (LHC, CERN)

AXAF - Advanced X-ray Astrophysics Facility (Chandra)

BAO - Baryon Acoustic Oscillations

BNL - Brookhaven National Laboratory

CAST - CERN Axion Solar Telescope

CBI - Cosmic Background Imager (Atacama)

CERN - Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire

CMS - Compact Muon Solenoid (LHC, CERN)

COBE - COsmic Background Explorer

COSMOS - Cosmic Evolution Survey

CP - Charge-Parity

CPT - Charge-Parity-Time

DAMA/LIBRA - DArk MAtter

DAMIC - Dark Matter in CCD's (Fermilab)

Fermilab - Fermi Laboratories

GEMS - Galaxy Evolution from Morphology and Spectral energy distributions

GOODS - Great Observatories Origins Deep Survey

GPS – Global Positioning System

GUT – Grand Unified Theory

HDF – Hubble Deep Field

HDF-S – Hubble Deep Field South

HST – Hubble Space Telescope

HUDF Hubble Ultra Deep Field

LHC – Large Hadron Collider (CERN)

LISA – Laser Interferometry Space Antenna

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NICMOS – Near Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer

NRAO – National Radio Astronomy Observatory

PBB – Pre Big Bang

RHIC – Relativistic Heavy Ion Collider

SCP – Supernova Cosmology Project

SDSS – Sloan Digital Sky Survey

SN – SuperNova

SNAP – SuperNova Acceleration Probe

SST – Spitzer Space Telescope

SUSY – Super Symmetry

TOE – Theory Of Everything

VLT – Very Large Telescope

WFPC – Wide Field Planetary Camera

WFPC-2 – Wide Field Planetary Camera 2

WMAP – Wilkinson Microwave Anisotropy Probe

XMM-Newton – X-ray Multi Mirror Newton telescope

Vydala Hvězdárna Valašské Meziříčí, příspěvková organizace Zlínského kraje

Publikace byla vydána jako metodický a studijní materiál v rámci aktivit projektu *Výstavou ke spolupráci a poznání*. Partnerem projektu je Kysucká hvězdárna v Kysuckom Novom Meste.

Projekt je spolufinancován z Operačního programu příhraniční spolupráce Slovenská republika – Česká republika 2007 – 2013

© 2011 Hvězdárna Valašské Meziříčí

Autor: prof. RNDr. Petr Kulhánek, CSc.

Odpovědný redaktor: Libor Lenža

Sazba: Naděžda Lenžová

Vytiskl: Trikolora, s. r. o. Valašské Meziříčí

NEPRODEJNÉ!

Tento mikroprojekt je spolufinancován Evropskou unií, z prostředků fondů mikroprojektů spravovaného Regionem Bíle Karpaty.