

# Temná energie – realita nebo fikce?

Petr Kulhánek

Z několika nezávislých experimentů dnes víme, že temná energie tvoří přibližně 70 % našeho vesmíru. V současnosti jde o zcela dominantní složku ovlivňující vesmír, která má díky našim omezeným znalostem poněkud mysteriózní nádech. Temná energie je jednou z největších záhad současné fyziky. Přirozeně se vynořují otázky typu: Co tvoří temnou energii? Byla dominantní složkou vesmíru vždy? Má nějakou strukturu? Mění se s časem? V tomto článku se podrobněji podíváme na současný stav znalostí o této entitě tvořící vesmír.

## Složení vesmíru

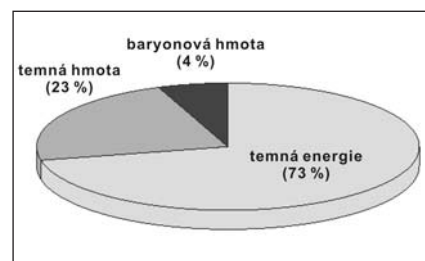
Zhruba od roku 1998, kdy se poprvé zjistila zrychlená expanze vesmíru na základě pozorování supernov typu Ia, víme také přibližné složení našeho vesmíru. Nezávisle bylo toto složení potvrzeno rozбором fluktuací reliktního záření sondou WMAP v roce 2003. Verdikt obou nezávislých experimentů je zarážející.

Hmota atomární povahy, tak jak ji běžně známe, tvoří jen 4 % látky celého vesmíru. Někdy hovoříme o tzv. *baryonové složce*, protože nejhmotnějšími částicemi látky jsou baryony (částice složené ze tří kvarků, k nejznámějším patří proton a neutron). Pouhá čtvrtina hmoty atomární povahy je svítící.

Druhou komponentou je *temná hmota*, která tvoří 23 % vesmíru. Jde o částice neznámé povahy, které tvoří polovinu

hmotnosti galaxií, působí gravitačně na své okolí a vytváří obdobné struktury jako hmota atomární povahy. Poprvé na existenci této složky upozornil Fritz Zwicky (1898–1974) v roce 1933, kdy pozoroval, že hvězdy v periferních částech galaxií se pohybují rychleji, než odpovídalo gravitačnímu zákonu. Kdyby galaxie obsahovaly jen pozorovanou hmotu, odlétly by tyto hvězdy odstředivou silou a galaxií opustily. Proto musí galaxie obsahovat další druh hmoty, kterou nevidíme.

Poslední komponenta vesmíru je ještě záhadnější. Podle našich znalostí tvoří 73 % vesmíru a nazýváme ji *temná energie*. Prostupuje celý vesmír, v prostoru a čase se buď vůbec nemění nebo jen velmi málo. Tato složka je zodpovědná za současnou expanzi vesmíru a v minulosti přispěla k formování velkorozměrových



Koláčový diagram složení vesmíru. Temná energie tvoří plných 73 % hustoty vesmíru.

struktur ve vesmíru. Pravděpodobně nemá žádnou materiální povahu, spíše jde o vlastnost časoprostoru jako takového. V tomto článku se zaměříme právě na tuto záhadnou entitu tvořící náš vesmír.

Dnešní stav poněkud připomíná pokračování likvidace egocentrických názorů z minulosti. V historii se lidstvo muselo rozloučit s myšlenkou, že Země je středem vesmíru. Středem vesmíru není ani Slunce, ani naše Galaxie. A dnes zjišťujeme, že ani hvězdy, mlhoviny a galaxie, které vidíme na noční obloze, nejsou tou nejpodstatnější částí vesmíru. Možná pro nás, pro člověka ano. Nikoli však pro vlastnosti vesmíru jako celku a pro jeho budoucí vývoj.

## Experimenty minulé

Víra v existenci temné energie je spjata se třemi nezávislými experimenty: sledováním supernov typu Ia, sledováním fluktuací reliktního záření a sledováním velkorozměrových struktur ve vesmíru. Jde o zcela různorodé experimenty a přitom se vysvětlení žádného z nich neobejde bez pojmu temné energie. Popišme si je proto podrobněji.

### Supernovy typu Ia

Na konci dvacátého století se k určování vzdálenosti začaly používat, jako zdaleka viditelné standardní svíčky, supernovy typu Ia. Supernova typu Ia je závěrečné vývojové stádium těsné dvojhvězdy, ve které dochází k přenosu látky z obra na bílého trpaslíka, který tak zvětšuje svoji hmotnost. Po překročení Chandrasekharovy meze ( $1,4 M_{\odot}$ ) se bílý trpaslík zhroutí do neutronové hvězdy, dojde k explozivnímu termonukleárnímu

**Prof. RNDr. Petr Kulhánek (\*1959)**

vystudoval MFF UK obor teoretická fyzika, v současné době se zabývá fyzikou plazmatu na katedře FEL ČVUT



Supernova SN 2002bo typu Ia v galaxii NGC 3190, která je vzdálena 20 milionů světelných let. Fotografie byla pořízena 12. 3. 2002, tři dny po objevu a třináct dní před maximem dalekohledem Asiago.

hoření C, O na Ni 56 v celém objemu trpaslíka a uvolněná potenciální energie se explozivně projeví jako supernova typu Ia. Množství energie je vždy zhruba stejné, takže z relativní pozorované jasnosti lze vypočítat vzdálenost příslušné supernovy. Přesnější hodnoty se pak určí z tvaru světelné křivky (z průběhu nárůstu a poklesu jasnosti). Supernovu typu Ia lze jednoznačně identifikovat podle tvaru jejího spektra.

V letech 1998 a 1999 prováděly měření vzdálenosti a červeného posuvu supernov Ia dvě nezávislé vědecké skupiny. Jedna byla vedená Saulem Perlmutterem (Lawrence Berkeley National Laboratory) a druhá Adamem Riessem (Space Telescope Science Institute, Baltimore). Obě skupiny na vybraném souboru supernov určovaly dvě veličiny: vzdálenost z jejich skutečné jasnosti (průběhu světelné křivky) a rychlost expanze vesmíru z červeného kosmologického posuvu spektrálních čar. To umožnilo určit, jak se vesmír rozpínal v různých časových údobích. Výsledek byl překvapivý. Spíše než očekávané zpomalování rozpínání vesmíru bylo naměřeno jeho urychlování. To znamená ve svém důsledku přítomnost temné energie ve vesmíru, která způsobuje urychlování expanze vesmíru. Nejvzdálenější použitá supernova byl objekt 1997ff.

V posledních letech existuje celá řada projektů vyhledávajících supernovy typu Ia. Obě zmíněné skupiny spolu s Alexejem Filipenkem pořídily do roku 2003 soubor 230 supernov. Tyto objekty byly vyhledávány také v klíčovém projektu Hubbleova kosmického teleskopu pro určení Hubbleovy konstanty i v součas-

ných přehlídkových projektech, například projektu GOODS. V blízké budoucnosti se uvažuje o vypuštění sondy SNAP (SuperNova / Acceleration Probe), která by měla prozkoumat tisíce supernov typu Ia.

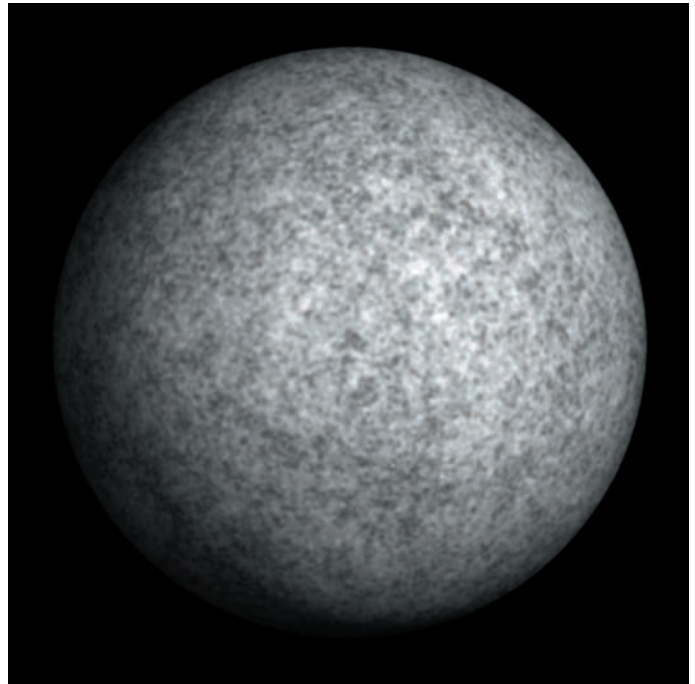
### *Fluktuační reliktního záření*

Reliktní záření je dnes pravděpodobně nejdůležitějším zdrojem informací z minulosti vesmíru. Jde o záření, které se oddělilo od látky 380 000 let po

Velkém třesku v době, kdy se vytvářely elektronové obaly atomů lehkých prvků. Záření bylo objeveno v roce 1965 Arno Penziasem a Robertem Wilsonem, detailně zkoumáno družicí COBE (start 1989) a sondou WMAP (start 2001) i mnoha pozemními experimenty, například radioteleskopickou soustavou CBI umístěnou v Atacamské poušti.

V raném vesmíru se vyskytovaly zárodečné fluktuační hmoty, které se v budoucnu vyvinuly v dnes známé vesmírné struktury – galaxie a kupy galaxií. Pokud látka interagovala intenzivně se zářením, přenesl se obraz těchto struktur i do elektromagnetického záření vesmíru. Po oddělení záření od hmoty zůstaly fluktuační hmoty vtištěny do reliktního záření podobně jako paleolitický otisk trilobita v druhohorní usazenině. Relativní odchylky těchto fluktuačních od průměrné hodnoty jsou asi 1/100 000. Informace nesená fluktuačními reliktního záření je nesmírně cenná.

Dosud nejrozsáhlejší a nejpreciznější prozkoumání fluktuačních reliktního záření provedla sonda WMAP. Výsledky byly oznámeny v únoru 2003. Nejčastější fluktuační mají úhlové rozměry přibližně 1°. To podle teoretických modelů odpovídá plochému vesmíru. Kdyby měl vesmír

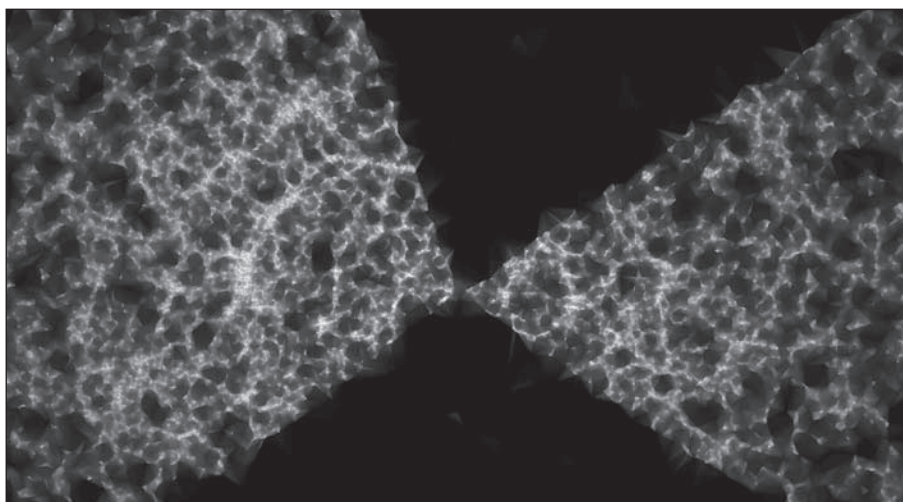


Mapa fluktuačních reliktního záření, severní polokoule pořízená sondou WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe). Světlejší oblasti odpovídají vyšším teplotám, tmavší nižším.

kladnou křivost, byly by rozměry fluktuačních větší jak 1°, naopak vesmír se zápornou křivostí by měl fluktuační s úhlovými rozměry menšími jak 1°. Ke vzniku plochého vesmíru ale nestačí pozorovaná svítící a temná hmota. Ta tvoří jen přibližně 30 % potřebné hodnoty. Zbývajících 70 % je opět temná energie zajišťující pozorovanou expanzi vesmíru. Detailním rozborem fluktuačních bylo zjištěno stejné zastoupení temné energie jako při sledování supernov typu Ia. V roce 2007 by měla startovat evropská sonda Planck, která bude mít vyšší rozlišovací schopnost než WMAP a umožní tak hlubší studium fluktuačních reliktního záření.

**WMAP** – *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*, sonda z roku 2001, která pořídila podrobnou mapu fluktuačních reliktního záření s úhlovým rozlišením kolem 0,3° a citlivostí 20  $\mu$ K. Zrcadlo sondy má rozměry 1,4  $\times$  1,6 m a teplota chlazené části je nižší než 95 K. Data sondy jsou nejdůležitějším zdrojem informací o raných fázích vývoje vesmíru, většinou se kombinují s daty z pozemských zařízení jako je CBI a ACBAR. Sonda je umístěna v Lagrangeově bodě L2 soustavy Země-Slunce, 1 500 000 km od Země.

**CBI** – *Cosmic Background Imager*. Přístroj určený zejména k pozorování reliktního záření. Je umístěn v Atacamské poušti na planině Llano de Chajnantor ve výšce 5080 metrů. Jde o soustavu třinácti radioteleskopů o průměru 90 cm na společné montáži. CBI je společným projektem univerzit California Institute of Technology, Canadian Institute for Theoretical Astrophysics, University of Chicago, Universidad de Chile a observatoře National Radio Astronomy Observatory

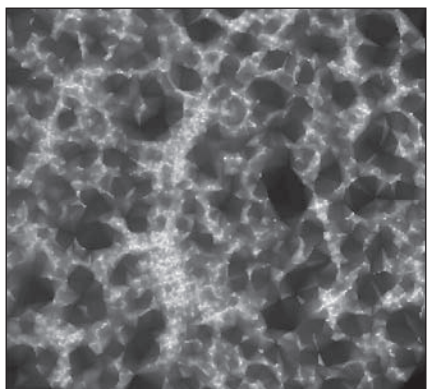


Velkorozměrová struktura vesmíru, řez ze zpracování červeného posuvu měřeného přehlídkou SDSS, zoom na Velkou stěnu. Kapteyn Institute.

### Velkorozměrová struktura vesmíru

Dnes je jisté, že vesmír tvoří na škále miliard světelných let obří struktury. Látka je rozložena nerovnoměrně, především ve formě obřích stěn a vláken. Jedním z nejznámějších útvarů je Velká stěna objevená v roce 1991. Jde o stěnu vytvořenou z mnoha galaxií. Její rozměry jsou úctyhodných  $200 \times 600$  milionů světelných let, zatímco tloušťka stěny je pouhých 20 milionů světelných let. Součástí Stěny je například nadkupa galaxií ve Vlesech Bereniky nebo kupa v souhvězdí Herkula. Jiným známým útvarem je vlákno galaxií v souhvězdí Jeřábu objevené v roce 2004.

Sledování velkorozměrových struktur vesmíru by bylo nemožné bez přehlídkových projektů, které pořízují údaje o spektrech a polohách obrovského množství galaxií. Mezi nejvýznamnější patří například projekt SDSS (Sloan Digital Sky Survey) nebo 2dF GRS (2 degree



Detail Velké stěny ze snímku nahoře. Kapteyn Institute.

Field Galaxy Redshift Survey), které nás zásobí údaji o stovkách milionů galaxií.

Nacházené velkorozměrové struktury musí být v souladu s teoretickými modely a simulacemi prováděnými na superpočítačích. Ukazuje se, že tyto simulace jsou v souladu s pozorováním jen pokud je v nich počítáno s existencí temné energie a temné hmoty. Simulace bez přítomnosti temné energie nedávají velkorozměrové struktury pozorované přehlídkovými projekty.

### Kandidáti na temnou energii

Co tedy vlastně je temná energie? Všudepřítomná homogenní složka vesmíru, odpovídá za jeho expanzi, zatím odolává jednoznačnému vysvětlení. Popíšme si proto několik základních možností.

#### Vakuová energie

Jako nejpřirozenější kandidát na temnou energii se zdá být energie spojená s procesy ve vakuu. V současné fyzice již vakuum dávno neznamená naprostou prázdnotu. Je plné kvantových fluktuací, virtuálních párů částic a antičástic a polí zajišťujících pozorované narušení symetrie základních interakcí.

Již přímo z Heisenbergových relací neurčitosti plyne, že střední kvadratické fluktuace polí ve vakuu nemohou vymizet, mají nenulovou hodnotu, které odpovídá nenulová energie těchto fluktuací. V částicovém pohledu na svět se to projevuje občasným krátkodobým vznikem virtuálního páru částice–antičástice, který posléze vymizí. Vznikne-li takový

pár například v blízkosti horizontu černé díry, může jeden z členů páru proniknout do černé díry a druhý se vynořit nad horizontem černé díry jako reálná částice. To je základní podstatou tzv. Hawkingova vypařování černých děr. Přítomnost těchto virtuálních párů ve vakuu dává vakuu netriviální dynamické vlastnosti jako je například polarizace vakua či posuv spektrálních čar prvků (tzv. Lambův posuv). Ve vakuu jsou dále přítomna pole způsobující narušení symetrie základních interakcí. Asi nejznámějším je Higgsovo pole, jehož existenci navrhl skotský matematik Peter Higgs. Toto pole způsobuje narušení symetrie elektroslabé interakce a je zodpovědné za pozorovanou nenulovou hmotnost polních částic slabé interakce. Částice tohoto pole nebyly dosud nalezeny, velké naděje se vkládají do nově stavěného urychlovače LHC v komplexu CERN. Uvedení do provozu se předpokládá v roce 2007.

Mezi základní vlastnosti energie vakua patří to, že její hustota není závislá na expanzi vesmíru. V jednom metru krychlovém vzniká stejný počet virtuálních párů nyní i před miliardami let. Pokud je skutečně temná energie totožná s vakuovou energií, je neměnná v prostoru i v čase, je skutečnou konstantou, onou kosmologickou konstantou, kterou kdysi Albert Einstein zavedl ve svých rovnicích obecné relativity, aby zajistil stacionární řešení, tedy neexpandující vesmír. Po objevu expanze vesmíru Edwinem Hubblem v roce 1929 (na základě červeného posuvu spektrálních čar galaxií) Albert Einstein kosmologickou konstantu ze svých rovnic opět vypustil. Dnes, po tři čtvrté století, se koncept kosmologické konstanty navrátil v podobě vakuové energie.

Ze standardního modelu elementárních částic vychází, že by hustota vakuové energie měla mít hodnotu  $10^{108} \text{ eV}^4$ . Z měření hustoty temné energie uvedených výše vychází ale hodnota  $10^{-12} \text{ eV}^4$ . Pokud je temná energie totožná s energií vakua, jde o dosud největší rozpor mezi teorií a experimentem. Vypočtené a změřené hodnoty se liší o celých 120 řádů. Jde o největší problém v současném chápání světa. Je třeba najít mechanismy, které efektivně sníží hodnotu energie vakua na skutečnou měřenou hodnotu. Uvažuje se například o extradimenzích, které po-



hlucí vakuovou energii nebo o supersymetrických částicích, jejichž projevy by mohly vyrušit kvantové fluktuace vakua.

Frank Wilczek, nositel Nobelovy ceny za fyziku pro rok 2004 (za příspěvek k teorii silné interakce) prohlásil, že rozpor mezi teorií a experimentem čítající plných 120 řádů mu připomíná situaci na přelomu 19. a 20. století, kdy se fyzikové marně pokoušeli vysvětlit záření absolutně černého tělesa na základě klasické fyziky. Stejně jako tenkrát rozpor mezi experimentem a teorií vedl ke zcela nové fyzice, ke kvantové teorii, mohl by i dnes obdobně příkrý rozpor vést ke zcela novému a dosud nepoznanému chápání světa.

Pokud je temná energie nějak spjata s energií vakua a je skutečně konstantní, potom to nutně znamená zrychlenou expanzi vesmíru, která se udrží i v budoucnosti a vesmír se postupně rozplyne. Hustota hmoty ve vesmíru klesá se třetí mocninou rozměrů, proto bude v budoucnu nadvláda temné energie nad hmotou vyšší a vyšší. Naopak v minulosti byla hustota hmoty vyšší než hustota temné energie. Například v době oddělení reliktního záření od hmoty byla hustota temné energie zcela zanedbatelná. Je zvláštní, že žijeme v období, kdy hustota hmoty (atomární a temné) je řádově srovnatelná s hustotou temné energie a má přibližně poloviční hodnotu.

**SDSS** – *Sloan Digital Sky Survey*, ambiciózní projekt přehlídky oblohy podporovaný nadací Alfreda Pritcharda Sloana, která byla založena v roce 1934. Alfred P. Sloan (1875–1976) byl americký obchodník a výkonný ředitel společnosti General Motors po více jak dvacet let. Sloanova nadace podporuje také vědu a školství. Projekt katalogizuje všechny galaxie s mezní jasností do 23. magnitudy na čtvrtině severní oblohy. Přehlídka zahrnuje asi 500 miliónů galaxií a ještě více hvězd. U každé galaxie je určena pozice, jasnost a barva. Pro asi milión galaxií a 100 000 kvazarů budou 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.

### Měníci se vakuová energie

Jednou z možností, jak vysvětlit malou hodnotu pozorované hustoty temné energie je připuštění existence velkých oblastí, z nichž každá má jinou hodnotu vakuové energie. Vesmír by tak byl rozdělen na větší množství spolu nekomunikujících oblastí. Ty oblasti, kde byla hustota vakuové energie velká a kladná již dávno překotně expandovaly. Dokonce tak překotně, že nikdy nedošlo k vytvoření atomárních obalů a vytvoření struktur známých z našeho pozorovatelného vesmíru. Naopak ty oblasti, kde hustota vakuové energie byla záporná, již dávno zkolabovaly a dnes neexistují. Jedině oblasti vesmíru, kde má hustota vakuové energie přibližně nulovou hodnotu jsou slučitelné se životem a proto v takové oblasti žijeme. Samozřejmě jde o jistou formu antropického principu, který příliší nevysvětluje podstatu věci, ale předkládá těžko ověřitelnou hypotézu, která v principu může být pravdivá.

### Kvintesence

Další možností je připustit, že energie vakua je skutečně nulová. Že existují zatím neznámé procesy, které vakuové projevy přesně eliminují či vyruší. Potom je kosmologická konstanta v rovnicích obecné relativity nulová. Je třeba ovšem hledat jiné vysvětlení zrychlené expanze a jinou podstatu temné energie. Často uvažovaným řešením je připustit existenci skalárního pole, které se nazývá kvintesence (prapodstata). Toto pole již ovšem není v čase konstantní, reaguje na expanzi a hustota jeho energie klesá s určitou mocninou  $\alpha$  rozměrů ve vesmíru ( $\rho \sim 1/R^\alpha$ ). Pro  $\alpha > 0$  postupně ztrácí kvintesence s expanzí vesmíru svůj vliv a dokonce může dojít k zastavení zrychlené expanze. Parametr  $\alpha = 0$  znamená hustotu energie konstantní v čase a přináší stejnou fyziku jako nenulová energie vakua. Naopak parametr  $\alpha < 0$  znamená, že hustota kvintesence s expanzí dokonce roste a mohlo by dojít až k tzv. velkému rozervání (anglicky – big rip), při kterém by expanze proběhla i na atomární úrovni a došlo by k roztrhání samotných jader atomů. V takovém případě častěji než o kvintesenci hovoříme o poli fantómů. Zdá se, že tato možnost je dnes již experimentálně vyloučena.



Hlavní dalekohled přehlídky SDSS umístěný v Novém Mexiku v Sacramento Mountains na observatoři Apache Point. Průměr primárního zrcadla je 2,5 m.

### Modifikovaná gravitace

Poslední možností je, že vše je špatně. Měřená zrychlená expanze vesmíru vůbec neznamená existenci temné energie, ale poukazuje na jiné chování gravitace na velkých škálách. V tom případě by bylo potřeba provést revizi Einsteinovy obecné teorie relativity. Je to samozřejmě zoufalý a poslední krok, ke kterému se nikdo nechce bez příčiny odhodlat. Vždyť obecná relativita nám přinesla fascinující pohled na svět gravitace a řadu předpovědí, které se beze zbytku potvrdily.

Připomeňme, že ústřední myšlenkou obecné relativity je tvrzení, že každé těleso svou přítomností zakřivuje čas a prostor kolem sebe. V tomto zakřiveném časoprostoru se tělesa pohybují po nejrovnějších možných drahách, tzv. geodetikách. Čas a prostor by v obecné relativitě měla zakřivovat i samotná pole.

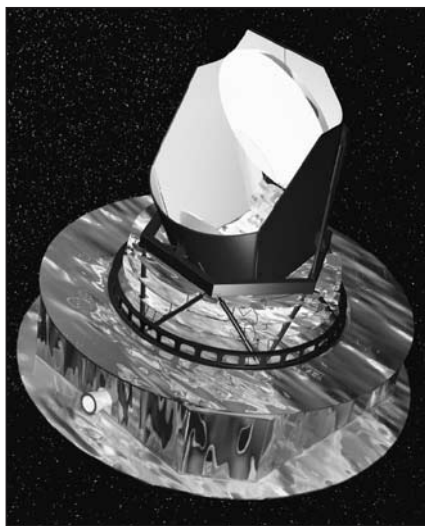
Obecná relativita s sebou přinesla zcela nový pohled na svět. Bez něho bychom neporozuměli stáčení perihelia Merkuru, ohybu světla kolem hmotných těles, gravitačním čočkám, červenému gravitačnímu posuvu, strhávání časoprostoru kolem rotujících těles, černým díram, gravitačním vlnám i řadě dalších jevů.

Navíc by bylo velmi obtížné, pokud vůbec možné, aby se modifikace stávající obecné teorie relativity nedostala do rozporu s jinými, dosud úspěšně vysvětlenými experimenty.

**GOODS** – *Great Observatories Origins Deep Survey*, program zaměřený na sledování vývoje velmi starých objektů, vedlejším produktem je řada pozorování supernov SN Ia. Do projektu jsou zapojeny 4 vynikající vesmírné dalekohledy: Hubble Space Telescope (vizuální obor), Spitzer Space Telescope (IR obor), Chandra (RTG obor) a XMM Newton (RTG obor).

### Experimenty budoucí

Budoucí experimenty jsou většinou zaměřeny zejména na to rozhodnout, zda se hustota temné energie mění s časem a v prostoru, nebo zda jde o skutečně konstantní entitu prostupující celý vesmír. V takovém případě by šlo o projevy vakuové energie. Připustíme-li, že s expanzí vesmíru klesá hustota temné energie jako  $1/R^\alpha$ , potom se dá ukázat, že odpovídající tlak je roven  $p = (\alpha/3 - 1)\rho$  neboli  $p = w \cdot \rho$ . A právě nalezení koeficientu úměrnosti  $w$  mezi tlakem a hustotou energie je klíčové. Pro vakuové projevy je hustota energie konstantní, parametr  $\alpha = 0$  a  $w = -1$ , tj. tlak je záporný a způsobuje zrychlenou expanzi. Pro existenci zrychlené expanze postačí, aby bylo  $w < -1/3$ . Pokud by dokonce pro parametr  $w$  platilo, že  $w < -1$ , dojde k velkému rozervání zmíněnému výše. Z dnešních měření WMAP, CBI, 2dF a SDSS vychází, že parametr  $w$  se pro temnou energii nachází v intervalu hodnot  $< -1$ ;  $-0,78$ .



Sonda Evropské kosmické agentury Planck. Předpokládaný start je v roce 2007, hlavním cílem bude studium fluktuací reliktního záření.

Co přinese nejbližší desetiletí na poli experimentálním? V nejbližším časovém horizontu je zpracování měření sondy Gravity Probe B společnosti NASA, která s vysokou přesností na polární oběžné dráze ověřovala od dubna roku 2004 jemné efekty obecné teorie relativity, především strhávání časoprostoru rotující Zemí, tzv. Lenseův-Thirringův jev. Osa setrvačnicků rotujících na palubě družice by se za rok měla vlivem tohoto jevu sklonit o pouhých 0,042 obloukové vteřiny. Měření by měla být zpracována do poloviny roku 2006. Půjde o dosud nejpřesnější provedený test obecné teorie relativity.

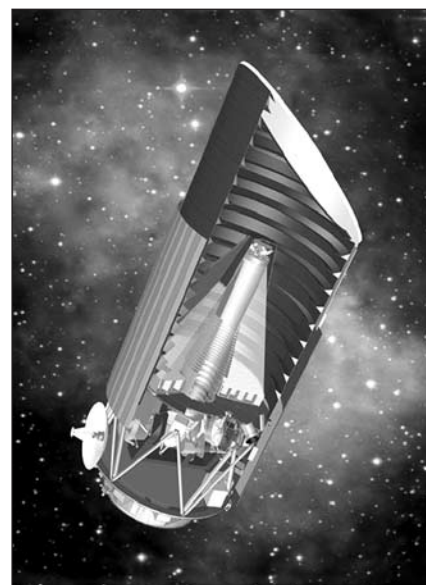
V následujícím roce 2007 by měl být v komplexu laboratoří CERN zprovozněn urychlovač LHC (Large Hadron Collider). Lze očekávat prozkoumání vlastností extrémních stavů hmoty, jako je například kvark-gluonové plazma. Urychlovač bude mít dostatečnou energii pro objevení Higgsových částic, bez kterých si nedokážeme představit teorii sjednocení slabé a elektromagnetické interakce. Právě Higgsova pole částečně formují vlastnosti vakua.

V roce 2007 by také měla startovat sonda Planck Evropské kosmické agentury, která je určena k detailnímu průzkumu fluktuací a polarizace reliktního záření. Na základě jejích měření bychom měli mnohem přesněji poznat složení vesmíru a nalézt odpovědi na otázky týkající se jeho minulosti. Pravděpodobně také dojde k prvním serióznějším pokusům o určení celkové topologie vesmíru.

Ve stádiu příprav je vyslání sondy SNAP (SuperNova / Acceleration Probe) s dvoumetrovým chlazeným dalekohledem určeným k pozorování supernov typu Ia. Jde o mezinárodní misi, jejíž přípravu koordinuje Lawrence Berkeley National Laboratory v Kalifornii. Hlavním cílem je proměření tisíců supernov typu Ia a přesnější určení charakteru expanze vesmíru.

### Epilog

Temná energie je procentuálně nejvíce zastoupenou entitou ve vesmíru. Přesto o ní víme relativně málo. Prostupuje celý vesmír, je málo proměnná v prostoru i v čase nebo je zcela konstantní. Patří k největším záhadám, před které



Sonda SNAP, která bude určena pro výzkum supernov typu Ia. Je připravována v Lawrence Berkeley National Laboratory.

bylo lidstvo kdy postaveno. Pokud je temná energie způsobena projevy vakua, rozchází se teoretická předpověď hustoty energie od experimentální hodnoty o 120 řádů. I přes svou extrémně nízkou hustotu ovlivňuje temná energie dominantně chování vesmíru jako celku. Dnes nevíme, zda se hustota temné energie mění pomalu s časem či nikoli, proč je její hustota řádově srovnatelná (až na faktor 2) s hustotou atomární hmoty a temné hmoty, ani proč je její hodnota tak nízká oproti předpovědi vlastností vakua ze standardního modelu elementárních částic. Jde o záhadu, jejíž řešení není zatím známé a může vést k úplně novému chápání světa kolem nás.

**2dFGRS** – *2 degree Field Galaxy Redshift Survey*, projekt, v rámci kterého již byla pořízena spektra více jak 260 000 galaxií pomocí zařízení 2dF (2 degree Field) – unikátního spektrografu připojeného k dalekohledu AAT (Anglo Australian Telescope), který má zrcadlo o průměru 3,9 metru a je umístěn od roku 1974 na observatoři AAO (Anglo Australian Observatory) v Austrálii v nadmořské výšce 1 150 m. Spektrograf pořídí v poli o velikosti 2° naráz spektra 400 objektů.