

# NOBELOVA NAGRADA ZA FIZIKO 2011 – TEMNA ENERGIJA

VID IRŠIČ IN ANŽE SLOSAR

Fakulteta za matematiko in fiziko  
Univerza v Ljubljani

PACS: 98.80.-k, 98.80.Es, 98.80.Bp

Letošnja Nobelova nagrada za fiziko je bila podeljena za odkritje pospešenega širjenja vesolja. Dobitniki nagrade so trije ameriški znanstveniki: Saul Perlmutter, Brian Schmidt in Adam Riess, ki so z merjenjem razdalj do oddaljenih supernov tipa Ia (ena a) odkrili, da se vesolje širi pospešeno in ne pojemajoče, kot je znanstvena skupnost do takrat domnevala.

## THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2011 – DARK ENERGY

This year's Nobel prize for physics was awarded for the discovery of the accelerated expansion of the Universe. The Nobel laureates are three american scientists: Saul Perlmutter, Brian Schmidt and Adam Riess. By measuring how far away are distant supernovae of type Ia (one a) they have discovered that the Universe is expanding at an ever increasing rate rather than slowing down as expected by scientific community.

### Zgodovinski uvod

Konec prejšnjega tisočletja je strokovno javnost pretresla novica, da se vesolje širi pospešeno, ko sta dve neodvisni raziskovalni skupini predstavili enake rezultate leta 1998. Izmerjen pospešek širjenja vesolja implicira, da neka neznana oblika energije razpenja vesolje. Ta temna energija pomeni velik delež energijske gostote v dandanašnjem vesolju, okoli 70 %, in hkrati ostaja ena največjih skrivnosti v fiziki.

Prve dokaze o širjenju vesolja je podal E. Hubble konec 20. let prejšnjega stoletja. Iz diagrama spreminjanja hitrosti oddaljevanja galaksij v odvisnosti od njihove oddaljenosti je Hubble odkril, da se vesolje širi. Hubble je izmeril, da je hitrost oddaljevanja galaksij sorazmerna njihovi oddaljenosti od Zemlje.

V tistem času so razdalje določali tako, da so opazovali periode spreminjanja sija kefeid. Kefeide so poseben razred spremenljivih zvezd, za katere se je izkazalo, da obstaja dobro določena zveza med lastnim povprečnim izsevom in periodo spreminjanja izseva zvezde. Objekte, za katere natančno poznamo izsev neodvisno od meritve razdalje, v astronomiji imenujemo standardni svetilniki. Hubble je tehniko povzel, a si je kot predmet

opazovanj izbral galaksije, ki so bile dovolj blizu, da je v njih lahko našel posamezne kefeide.

## Standardni svetilniki

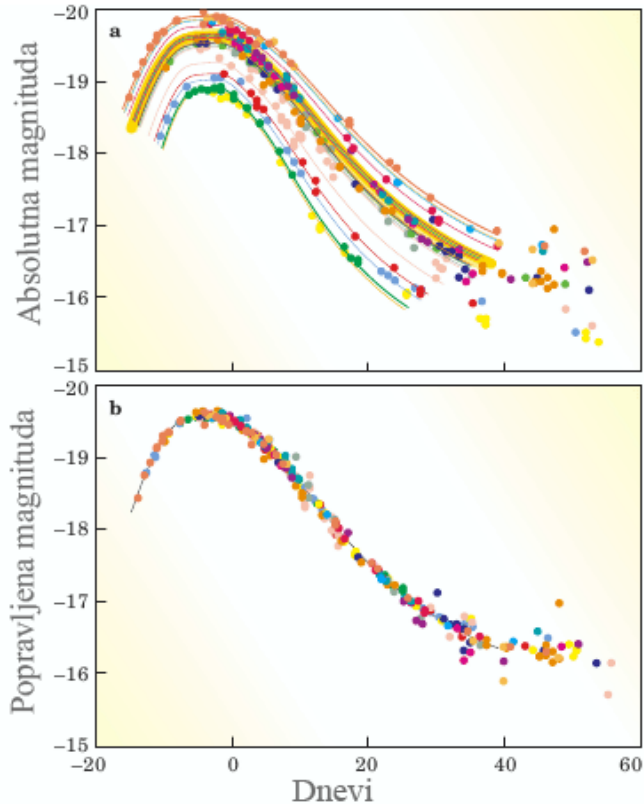
Kmalu po Hubblovem odkritju je astronomom postalo jasno, da če bi jim uspelo najti standardne svetilnike, ki bi bili oddaljeni več milijard kilometrov in bi jim uspelo izmeriti izsev in hitrost oddaljevanja, bi lahko natančno določili potek širjenja vesolja. Vendar ne kefeide, ki so veliko prešibke na tako velikih razdaljah, ne galaksije, ki se jim na takšnih časovnih skalah močno spreminja izsev (trki, nastajanje zvezd, ipd.) niso primerni kandidati za standardne svetilnike na tako velikih skalah. Šele veliko kasneje, v 60. letih, so ljudje pomislili na uporabo supernov tipa I za standardne svetilnike.

Supernove so eksplozije, ki lahko v nekaj dneh presežejo izsev celotne matične galaksije in se jih zato lahko opazuje do ogromnih razdalj. Vendar je bila raztresenost maksimalnega izseva različnih supernov prevelika, da bi bile primerne za določanje razdalj. Šele v 80. letih so z novo klasifikacijo supernove tipa I razdelili na supernove tipa Ia (ena a) in Ib, ko so opazili, da je močna silicijeva absorpcijska črta značilna le za tip Ia. Hkrati so tudi ugotovili, da je raztresenost izseva supernov tipa Ia izjemno majhna.

Na splošno so si supernove tipa Ia zelo podobne tako po obliki svetlobne krivulje (kako se izsev spreminja s časom) kot po lastnostih spektra. Supernove tipa Ia so eksplozije majhnih zvezd na koncu svoje življenske poti, ki jih imenujemo bele pritlikavke.

Bele pritlikavke so zelo kompaktno stare zvezde s približno enako maso kot Sonce, a velikosti Zemlje. Bela pritlikavka nastane, ko zvezda porabi ves vodik in helij v svoji notranjosti in nima več energije za potek jedrskih reakcij v svojem središču. Tam sta ostala večinoma ogljik in kisik. Tudi Sonce bo ob koncu svojega življenskega cikla oslabilo in se ohladilo v belo pritlikavko. Bela pritlikavka je končno stanje osamljene zvezde z maso podobno Soncu.

Veliko razburljivejši konec pa čaka belo pritlikavko v dvojnem zvezdnem sistemu, kjer jo najdemo precej pogosto. V takšnem primeru ji lastno močno gravitacijsko polje omogoča, da krade snov svoji spremljevalki. A ko masa bele pritlikavke naraste do Chandrasekharjeve limite, to je približno 1.4 Sončeve mase, tlak degeneriranega plina v notranjosti ne more več zdržati pod lastno gravitacijsko privlačnostjo. Ko se to zgodi, v zvezdi steče nekontrolirana fuzija, ki zvezdo v nekaj sekundah razžene. Produkti jedrske fuzije so



**Slika 1.** Svetlobne krivulje bližnjih supernov tipa Ia, ki jih je izmeril Mario Hamuy s sodelavci [Hamuy et al. (1993)]. (a) Absolutna magnituda (obratno logaritemsko merilo lastnega izseva) je narisana v odvisnosti od časa (glede na maksimum). Večina supernov tipa Ia pade točno v označen pas. Slika pa prikazuje tudi nekaj meritev, ki so povsem zunaj pričakovanega pasu tako po maksimalnem izsevu kot po dolžini trajanja eksplozije. Bolj svetle supernove se prižgejo in ugasnejo počasneje kot temnejše. (b) S preprostim raztegom v časovni skali, tako da supernova ustreza normi, in če pomnožimo izsev za faktor, ki ustreza tej časovni pretvorbi, lahko dosežemo, da se svetlobne krivulje vseh supernov tipa Ia lepo ujemajo [Perlmutter et al. (1997)].

močno radioaktivni in povzročijo hitro naraščanje izseva v naslednjih nekaj tednih po eksploziji. Po maksimumu izsev v nekaj mesecih ugasne.

Podobna kemična sestava in skoraj enaka masa tik preden belo pritlikavko razžene, sta razloga, zakaj imajo supernove tipa Ia tako majhno raztresenost maksimalnega izseva.

Meritve oddaljenosti supernov temeljijo na tem, da imajo vse supernove tipa Ia enak izsev ne glede na to, kako daleč stran so. Dosedanje meritve kažejo, da izsev ni popolnoma enak za vse, a raztresenost okoli povprečja je dovolj majhna, da lahko razdalje merimo zadovoljivo natančno.

V osnovi je ideja takšnih meritev sila preprosta. Če izmerimo gostoto svetlobnega toka oddaljenega objekta ( $j$ ) in poznamo lastni izsev tega objekta ( $L$ ), potem lahko izračunamo oddaljenost kot

$$d = \sqrt{\frac{L}{4\pi j}}. \quad (1)$$

Po drugi strani lahko iz spektra objekta izmerimo hitrost oddaljevanja oziroma natančneje, za kolikšen faktor so se absorpcijske črte v opazovanem spektru premaknile glede na njihove laboratorijske vrednosti. Tej količini pravimo rdeči premik ( $z$ ). Za bližnje objekte velja linearna zveza med rdečim premikom in oddaljenostjo ( $d$ ) – to relacijo je izmeril Hubble. Kadar pa merimo zelo oddaljene objekte, pa je treba račun izpeljati bolj rigorozno v okviru splošne teorije relativnosti [Dodelson (2003)]. V tem primeru lahko iz primerjave izmerjenih oddaljenosti in izračunanih oddaljenosti iz rdečih premikov določimo kozmološke parametre, npr. delež snovi in delež temne energije v vesolju.

Neodvisni skupini pod vodstvom Saula Perlmutterja (Supernova Cosmology Project – SCP) [Perlmutter et al. (1999)] in Briana Schmidta (High-z Supernova Search Team – HSST), v kateri je sodeloval tudi Adam Riess [Riess et al. (1998)], sta v medsebojni tekmi za oddaljenimi supernovami tipa Ia poskušali izmeriti pojemek vesolja. A oddaljene supernove so bile temnejše, kot so pričakovali. Če se širjenje vesolja upočasnjuje, bi morali supernove videti svetlejše. Pretresljiv zaključek, ki iz tega sledi, je, da se širjenje vesolja ne upočasnjuje – ravno nasprotno, širjenje se pospešuje [Perlmutter (2003)].

## 1. Meritve širjenja vesolja

Po Einsteinovi splošni teoriji relativnosti se vesolje, napolnjeno s snovjo, širi ali krči, odvisno od količine snovi. Ker Einsteinova teorija sklopi maso

in geometrijo prostora, je tudi usoda vesolja odvisna od količine snovi. Če bi nam uspelo izmeriti količino snovi v vesolju, bi tako lahko napovedali, kakšen konec bo vesolje doživelo. Takšna vprašanja so ob koncu tisočletja še posebej burila duhove, kar je še dodatno podžgalo znanstvenike k rešitvi te uganke.

V času pred meritvami supernov v 90. letih so druge meritve širjenja vesolja kazale na določeno mero neujemanja (meritve oddaljenih jat galaksij z rentgensko svetlobo in IRAS satelitom, oddaljenost bližnjih supernov ( $z < 0.5$ ), nekozmološke hitrosti iz kataloga Mark III, število lečenih objektov, morfologija jat galaksij z ROSAT satelitom, starost vesolja, meritve deleža plina v jatah galaksij z rentgensko svetlobo (ASCA, Keck), dinamika lokalne jate, ipd.) [Dekel et al. (1997)]. Rezultati nekaterih analiz (jate galaksij, starost vesolja, delež barionov v jatah, lokalna jata) so kazali, da je gostota snovi v vesolju, izražena kot delež kritične gostote ( $\rho_c$ ), enaka 30 %, rezultati drugih (npr. bližnje supernove, nekozmološke hitrosti, lečeni objekti, morfologija jat) pa, da je delež celotne energije enak 100 % kritične gostote.

Če danes v vesolju prevladuje snov (za fotone in nevtrine so vedeli, da danes malo prispevajo k deležu energije), potem bi moral biti delež snovi enak deležu celotne energije. Najti odgovor in potrditi ene ali druge je bil tudi prvotni cilj obeh skupin, ki sta se takrat podali na lov za supernovami – in pokazali, da so imeli oboji prav: po trenutno veljavnem modelu vesolja je delež snovi (temne in barionske mase) približno 30 %, toda hkrati je vsota vseh prispevkov energijske gostote enaka kritični gostoti, saj za manjkajočih 70 % poskrbi temna energija. Kozmologi pod barionsko snov štejejo vso snov, sestavljeno iz kvarkov, hadronov in leptonov, ki sestavljajo galaksije, zvezde, planete in živa bitja. Med barione pa ne štejejo fotonov in nevtrinov.

Meritve, ki so jih izvedli letošnji Nobelovi nagrajenci, so le prve v vrsti eksperimentov, ki so v naslednjih 10 letih izmerili lastnosti temne energije.

Poleg supernov tipa Ia nam dandanes o obstoju temne energije pričajo številne meritve, ki s povsem drugačnimi postopki določijo delež temne energije in dobijo enako vrednost kot analiza meritev supernov iz leta 1998. Med te metode spadajo meritve anizotropij v prasevanju v kombinaciji z meritvami Hubblove konstante s Hubblovim teleskopom (HST), masna funkcija jat galaksij (porazdelitev jat galaksij po masi), spekter moči galaksij (Fourierova transformacija korelacijske funkcije porazdelitve galaksij po prostoru), integrirani Sache-Wolfov efekt (vpliv s časom spreminjajočega se gravitacijskega potenciala), barionske akustične oscilacije v korelacijski funkciji ga-

laksij (standardno ravnilo, ki ga postavi fizika akustičnih oscilacij v plazmi zgodnjega vesolja) in druge. Žal se tem metodam ne moremo posvetiti v tako kratkem članku.

Čeprav bi pri vsakem od teh eksperimentov lahko vpliv, ki ga ima temna energija, razložili na kak drug način, tega ne bi mogli storiti z isto teorijo za več eksperimentov hkrati. In ravno to nas danes prepriča, da je temna energija pravilen opis vseh teh meritev in so njene lastnosti iz kombinacije eksperimentov zelo natančno določene.

Z analizo meritev supernov tipa Ia je letošnjim Nobelovim nagrajencem iz obeh skupin uspelo izmeriti deleža energijske gostote snovi ( $\Omega_m$ ) in temne energije ( $\Omega_{de}$ ) v enotah kritične gostote kot

$$\Omega_m = \rho_m / \rho_c \approx 0.3, \quad \Omega_{de} = \rho_{de} / \rho_c \approx 0.7. \quad (2)$$

Kritična gostota energije predstavlja primer ravnega vesolja in je odvisna zgolj od vrednosti Hubblove konstante ob danem času. Danes je njena vrednost okoli  $9.2 \times 10^{-27} \text{ kg/m}^3$  oziroma  $\rho_c \sim 6 \text{ H atomov/m}^3$ .

S tem so odgovorili na vprašanje, ki so si ga zastavili ob odločitivi, da opazovalne projekte izvedejo, namreč kolikšen je delež snovi, in hkrati ugotovili, da je vesolje skoraj ravno ( $\Omega_m + \Omega_{de} \approx 1$ ). Obe ugotovitvi so kasnejši eksperimenti potrdili in hkrati trdno podprli idejo o manjkajoči temni energiji. Če danes združimo podatke več kozmoloških eksperimentov [Komatsu et al. (2011)], ki merijo temno energijo, dobimo naslednje številke:

$$\Omega_m = 0.275 \pm 0.015, \quad \Omega_\Lambda = 0.725 \pm 0.016. \quad (3)$$

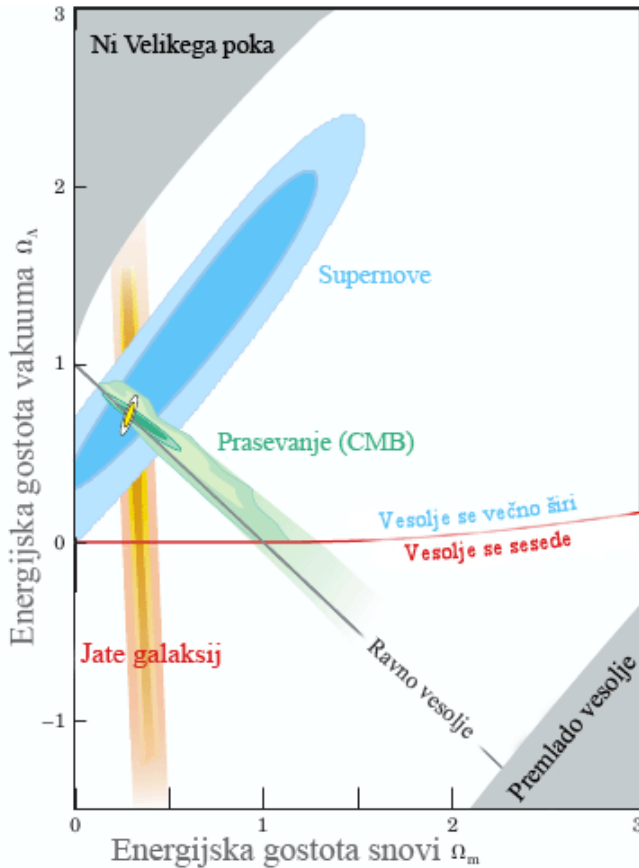
## 2. Temna energija

Kar so Nobelovi nagrajenci opazili v vesolju, pa je napovedovala že teorija. Leta 1915 je Albert Einstein objavil svojo splošno teorijo relativnosti, ki je postala temelj razumevanja razvoja vesolja.

V standardni izpeljavi enačb polja splošne relativnosti zapišemo najbolj splošen lokalni, koordinatno invarianten, simetričen tenzor brez divergence, ki je funkcija zgolj metrike ( $g_{\mu\nu}$ ) in njenih prvih in drugih odvodov. Ta je enak

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu}, \quad (4)$$

kjer  $R_{\mu\nu}$  označuje Riccijev tenzor,  $R$  Riccijev skalar in  $\Lambda$  poljubno konstanto, ki ji pravimo *kozmoška konstanta*. Če zahtevamo, da je ta tenzor



**Slika 2.** Prikazane so projicirane verjetnostne porazdelitve na ravnino parametrov  $\Omega_m$  in  $\Omega_\Lambda$ . V tem primeru je teorija opisana z najbolj preprosto možno obliko temne energije – kozmološko konstanto. Vidimo, da analize različnih eksperimentov (oddaljene supernove tipa Ia, jate galaksij, prasevanje (CMB)) opišejo drugačne krivulje največje verjetnosti a imajo skupno sečišče pri  $\Omega_m = 0.3$  in  $\Omega_\Lambda = 0.7$ . Majhno območje pri presečišču prikazuje napovedi novega satelita, ki bo meril supernove, imenovanega SNAP (SuperNova Acceleration Probe). Horizontalna črta loči med vesoljem, ki se širi v nedogled in takšnim, ki se konča in sesede samo vase. Prečna črta pa prikazuje območje tega faznega prostora, kjer naj bi po napovedih teorije inflacije živeli  $\Omega_m$  in  $\Omega_\Lambda$ . Teorija inflacije namreč pravi, da je vesolje skoraj popolnoma ravno in velja  $\Omega_m + \Omega_\Lambda = 1$ . To tudi opazimo, kar so izjemno natančno potrdili sateliti, ki merijo prasevanje [Perlmutter (2003)].

sorazmeren napetostnemu tenzorju, izpeljemo Einsteinove enačbe splošne relativnosti. Konstanta sorazmernosti je podana z zahtevo, da se enačbe poenostavijo v Newtonovo gravitacijo v limiti, ko je polje majhno in velja  $\Lambda \sim 0$ . Splošne enačbe polja so torej

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}. \quad (5)$$

Večina je verjela, da je naravna vrednost  $\Lambda$  enaka nič. V tem primeru enačbe teorije napovedujejo, da se vesolje širi ali krči. Ta pretresljiv zaključek je dosegel Friedmann celo desetletje pred Hubblovim odkritjem oddaljevanja galaksij. Toda neničelna kozmološka konstanta obstaja kot edina matematično logična razširitev minimalne splošne teorije relativnosti. Einstein, nezadovoljen s širjenjem, ki se ni ujemalo s takratno predstavo o statičnem vesolju, je kozmološko konstanto postavil na vrednost, ki je ravno uravnovesila silo gravitacije in preprečevala vesolju širjenje. Vendar jo je Einstein, ki s to rešitvijo ni bil zadovoljen, kasneje ovrigel in označil za svojo največjo napako. Vendar so opazovanja skoraj 80 let kasneje pokazala, da je ta člen prav presenetljivo briljanten.

Zanimivo je, da so znanstveniki naleteli na težave s statičnim vesoljem že pred Einsteinom in splošno relativnostjo. Konec 19. stoletja je strokovna javnost zapisala in oblikovala termodinamične zakone. Le-ti pravijo, da vsak termodinamičen sistem teži k najmanjši prosti energiji in največji entropiji. In največjo entropijo sistem doseže v končnem času. Če pa je vesolje statično, potem je neskončno staro in je imelo povsem dovolj časa, da bi prišlo v stanje z maksimalno entropijo. Vendar če je vesolje že doseglo to točko, potem se v takem vesolju ne bi moglo nič več zgoditi – noben proces ne bi mogel teči, predvsem pa ne fuzija v zvezdah, kar so v času pred Hubblovim odkritjem že poznali.

S statičnim vesoljem, kot ga je Einstein dobil z uvedbo kozmološke konstante, tudi sam ni bil zadovoljen. Enačbo (5) lahko preuredimo v

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}(T_{\mu\nu} + T_{\mu\nu}^{\text{vac}}), \quad (6)$$

kjer velja  $T_{\mu\nu}^{\text{vac}} = -\frac{\Lambda c^4}{8\pi G}g_{\mu\nu}$ . Kozmološko konstanto si lahko torej predstavljamo ne samo kot spremembo enačb splošne relativnosti, ampak kot snov s posebnimi lastnostmi. Napetostni tenzor  $T_{\mu\nu}^{\text{vac}}$  opisuje vrsto temne energije, ki je razpredena po celotnem prostoru enakomerno, medtem ko ima snov očitne zgoščine v obliki galaksij in zvezd. Torej je takšne vrste statično vesolje neravnovesno, in če je neskončno staro, bi moralo že priti iz



tega neravnovesnega stanja, kar pomeni, da se širi ali krči, kot napoveduje teorija brez kozmološke konstante. V tem primeru je uvedba kozmološke konstante, kot si je to zamislil Einstein, popolnoma nesmislena – saj z njo ne moremo popolnoma izničiti širjenja vesolja.

Kaj torej poganja pospešeno širjenje vesolja? To čudno obliko energije imenujemo *temna energija* in je velik in resen problem fundamentalne fizike, ki nam ga še ni uspelo rešiti. Predlaganih je bilo veliko idej, najpreprostejša je ponovna uvedba Einsteinove kozmološke konstante. Čeprav jo je Einstein uvedel kot antigravitacijsko silo, ki bi uravnovesila gravitacijsko silo snovi in tako ustvarila statično vesolje, jo dandanes uporabljamo za ustvarjanje pospešenega širjenja vesolja.

Kozmološka konstanta je, kot že samo ime pove, konstantna in se ne spreminja ne s krajem in ne s časom. Temna energija torej postane dominantna, ko se snov razleze zaradi širjenja vesolja in se s tem zmanjša gravitacijski privlak. To bi razložilo, zakaj je temna energija vstopila v igro tako pozno v evoluciji vesolja, šele pred dobrimi 5 milijardami let (vesolje je staro 13.8 milijard let). Takrat se je gravitacijska sila zadosti zmanjšala v primerjavi s temno energijo, da je le-ta prevladala. Do takrat se je vesolje širilo pojemajoče.

Kozmološka konstanta ima lahko svoj izvor v kvantni mehaniki. Vakuum, prazen prostor, po teoriji kvantne mehanike nikoli ni popolnoma prazen in je bolj podoben brbotajoči kvantni juhi, kjer nastajajo in izginjajo virtualni pari delcev in antidelcev, ki ustvarjajo energijo. Da to ni popolna znanstvena fantastika, so potrdili eksperimenti Casimirjevega efekta. Vendar se najpreprostejši račun za količino temne energije sploh ne ujema z opazovanji, saj teorija napoveduje količino temne energije za faktor  $10^{120}$  več, kot pravijo opazovanja.

Mogoče pa temna energija vendarle ni konstanta. Morda obstaja skalarno polje, ki samo občasno ustvari temno energijo. Teorije, ki opisujejo takšna polja, se imenujejo kvintesence (angl. quintessence), po grškem imenu za peti element. V takšnih teorijah poleg deleža temne energije ( $\Omega_{de}$ ) nastopa še dodatni parameter, ki opisuje enačbo stanja temne energije. Gre za razmerje med tlakom, ki ga temna energija povzroča, in njeno energijsko gostoto

$$w = \frac{p}{\rho c^2}. \quad (7)$$

V primeru kozmološke konstante je parameter enačbe stanja ( $w$ ) tudi konstanten in enak  $-1$ . Bolj preproste modele opisuje še vedno konstanten parameter  $w$  z vrednostjo, različno od  $-1$ . Kadar imamo opravka z di-

namičnim skalarnim poljem, pa je lahko  $w$  poljubno komplicirana funkcija časa.

Poleg uvedbe temne energije za opis pospešenega širjenja vesolja obstaja cela kopica modifikacij Einsteinove teorije splošne relativnosti na velikih skalah. Kvalitativno podobni modeli so se pojavljali do pred nekaj leti za opis temne snovi, vendar so jih eksperimenti ovrgli. Še zmeraj pa ostajajo ti modeli za opis pospešenega širjenja vesolja, saj za zdaj nimamo dovolj eksperimentalnih podatkov, da bi lahko razlikovali med opisi temne energije in spremembami v splošni relativnosti [Tsujiikawa (2010)].

Zanimivo naključje, ki so ga mnogi poskušali razložiti, je, zakaj je delež temne energije enakega reda velikosti kot delež snovi v vesolju danes, ko to opazujemo. Večina teh teorij se sklicuje na antropičen argument, kajti če bi bila temna energija že malo drugačna (npr. malo večja), strukture, kot so galaksije, zvezde in planeti, ne bi utegnile nastati in ne bi bilo nas, ki bi to opazovali. Vendar takšen pogled še ne odgovori na vprašanje, kaj temna energija je, le postavi kvaziargument, zakaj se to sploh lahko vprašamo.

### 3. Sklep

Karkoli že temna energija je, se zelo dobro ujema z opazovanji. Po zadnjih podatkih je delež temne energije v vesolju okoli 73%. Preostalo je (večinoma) snov. A le približno 4.5% je običajne barionske snovi. Preostali delež je temna snov, ki je prav tako ne razumemo popolnoma.

Temna snov je še ena od ugank našega vesolja. Kot temna energija je tudi temna snov „nevidna“ in lahko izmerimo le njene gravitacijske efekte. Obema neznankama je skupen le pridevnik temna, a ena privlači, druga odbija.

Odkritje, za katero je bila podeljena letošnja Nobelova nagrada za fiziko, je torej pripomoglo k ugotovitvi, da je vesolje več kot 95% sestavljeno iz snovi (temna energija in temna masa), katere mikroskopska fizika in pomen znotraj standardnega modela fizike delcev še ni pojasnjen.

### LITERATURA

- [Hamuy et al. (1993)] M. Hamuy et al., *The 1990 Calan/Tololo Supernova Search*, *Astron. J.* **106** 2392 (1993) in **109** 1 (1995).
- [Perlmutter et al. (1997)] S. Perlmutter et al. (Supernova Cosmology Project), *Measurements of the cosmological parameters  $\Omega$  and  $\Lambda$  from the first seven supernovae at  $z \geq 0.35$* , *Astrophys. J.* **483** 565 (1997).

- [Perlmutter et al. (1999)] S. Perlmutter et al. (Supernova Cosmology Project), *Measurements of Omega and Lambda from 42 High-Redshift Supernovae*, *Astrophys. J.* **517** 565 (1999).
- [Riess et al. (1998)] A. Riess, B. Schmidt et al. (High-z Supernova Search), *Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant*, *Astron. J.* **116** 1009 (1998).
- [Perlmutter (2003)] S. Perlmutter, *Supernovae, Dark Energy, and the Accelerating Universe*, *Physics Today*, 53 (April 2003).
- [Dekel et al. (1997)] A. Dekel, D. Burstein in S. D. M. White, *Measuring Omega*, *Critical Dialogues in Cosmology*, 175, 1997.
- [Komatsu et al. (2011)] E. Komatsu, K. M. Smith, J. Dunkley et al., *Seven-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Cosmological Interpretation*, *Astrophys. J.*, **192**, 18, 2011.
- [Tsujikawa (2010)] S. Tsujikawa, *Modified Gravity Models of Dark Energy*, *Lecture Notes in Physics*, Berlin Springer Verlag, **800**, 99, 2010.
- [Dodelson (2003)] S. Dodelson, *Modern cosmology*, Academic Press (2003).

## VESTI

---

### NOVI ČLANI DRUŠTVA V LETU 2011<sup>1</sup>

V letu 2011 se je v Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije včlanilo 23 novih članov:

- |                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| 2327. Loti Ašič                | 2339. Urka Rihtaršič       |
| 2328. Lidija Babič             | 2340. Nino Bašič           |
| 2329. Andrej Blejcek           | 2341. Sergio Cabello Justo |
| 2330. Dejan Čurk               | 2342. Tajana Stres         |
| 2331. Mihael Gojkošek          | 2343. David Gajser         |
| 2332. Oskar Krevh              | 2344. Dunja Fabjan         |
| 2333. Darja Potočar            | 2345. Darja Antolin        |
| 2334. Milojka Vidmar           | 2346. Luka Snoj            |
| 2335. Simon Pertoci            | 2347. Gabrijela Hladnik    |
| 2336. Tjaša Blažej             | 2348. Ana Pušnik           |
| 2337. Bernarda Slodnjak Pernek | 2349. Valerij Romanovskij  |
| 2338. Monika Cerinšek          |                            |

Tadeja Šekoranja

<http://www.obzornik.si/>

---

<sup>1</sup>Novi člani DMFA Slovenije za leto 2010 so bili objavljeni v *Obzorniku za matematiko in fiziko* **57** (2010) 6, stran 239.