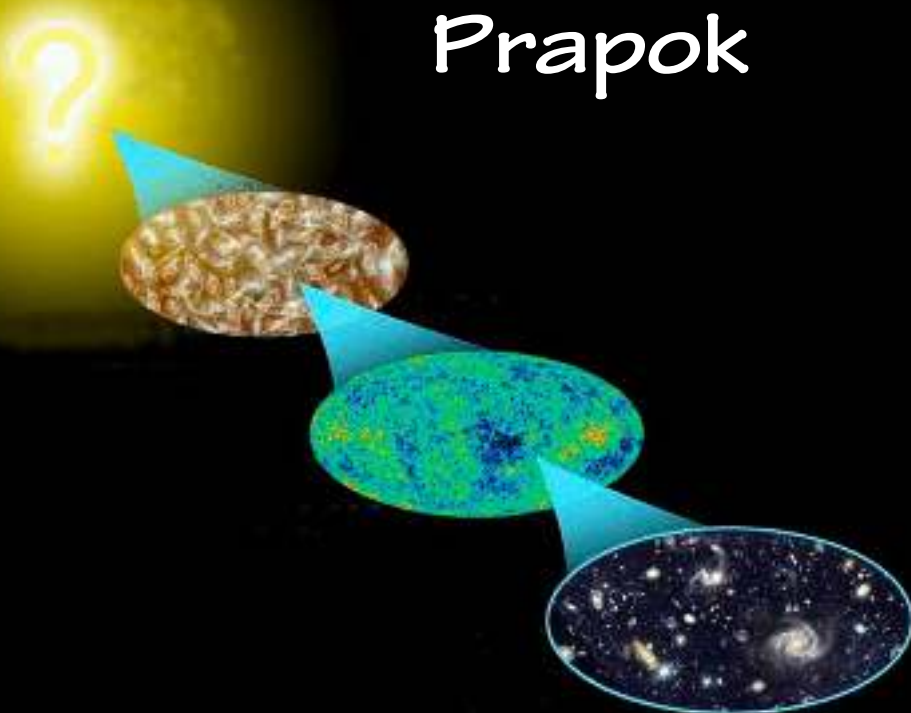


# Vesolje v mojem žepu

## Prapok



Françoise Combes

Pariški observatorij



Vesolje je nekoliko podobno površini napihujočega se balona, na katerem bi bile narisane galaksije. Vsak opazovalec v kateri koli galaksiji ima vtis, da se vse druge galaksije oddaljujejo s hitrostjo, sorazmerno z njihovo oddaljenostjo. Leta 1915 je Vesto Slipher preučeval spektre spiralnih meglic in odkril, da večina izmed njih kaže rdeče premaknjene spektralne črte, kar kaže na to, da se oddaljujejo od Zemlje \*. To je bil prvi dokaz - takrat še ne priznan - širjenja Vesolja (glej nasprotno stran).

\* Glej TUIMP 10.

# Širjenje Vesolja

Kako so nastale galaksije? Pred sto leti se je o tem malo vedelo, niti to ali obstajajo galaksije poleg naše, Rimske ceste. Leta 1908 je Henrietta Leavitt dokazala, da je pri kefeidah – vrsti zvezd s spremenljivim izsevom – časovni interval med dvema zaporednima maksimumoma povezan z izsevom. Ko je leta 1925 Edwin Hubble identificiral kefeide v **spiralnih meglicah**, je zato lahko ocenil njihove razdalje in dokazal, da so zunaj Rimske ceste. Spiralne meglice se od takrat imenujejo **galaksije**.

Leta 1927 je Georges Lemaître razumel, da je »beg« galaksij posledica širjenja prostora. Leta 1929 je Hubble vzpostavil razmerje med razdaljo in hitrostjo oddaljitev galaksij. To ključno razmerje, ki se je sprva imenovalo Hubblov zakon, je bilo leta 2018 preimenovano v zakon Hubble-Lemaître.

# Veliki pok



Fred Hoyle

Če se Vesolje širi, je nujno, da je bilo v začetku zelo gosto in zelo vroče. Astronom Fred Hoyle

ni maral tega kozmološkega modela. Da bi se norčeval iz njega, ga je leta 1949 v oddaji BBC poimenoval Veliki pok (ali **prapok**). In to je ime, ki se je obdržalo!

Eden prvih argumentov v prid prapoku je leta 1948 predlagal George Gamow s svojim študentom Ralfom Alpherjem. Pokazala sta, da se lahko helij, devterij in litij tvorijo le pod ekstremnimi

gostotnimi in temperaturnimi pogoji prapoka, v količinah, ki jih zdaj opazujemo v Vesolju.



G. Gamow

# Prasevanje

Zaradi širjenja se Vesolje ohlaja. Danes je njegova temperatura le 3 stopinje nad absolutno ničlo (3 K ali  $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Vesolje je oblito z sevanjem te temperature, ki je ostanek prapoka.

To sevanje sta leta 1965 po naključju odkrila radioastronoma Arno Penzias in Bob Wilson, ki sta delala na mikrovalovnih sprejemnikih.



Penzias & Wilson

Zainteresirana za šibek signal, ki je prihajal iz vseh smeri, sta se posvetovala z astrofizikom Robertom Dickejem in njegovimi kolegi, ki so predlagali, da gre za fosilno sevanje prapoka. Za to odkritje sta Penzias in Wilson leta 1978 prejela Nobelovo nagrado.

## Zemljevid

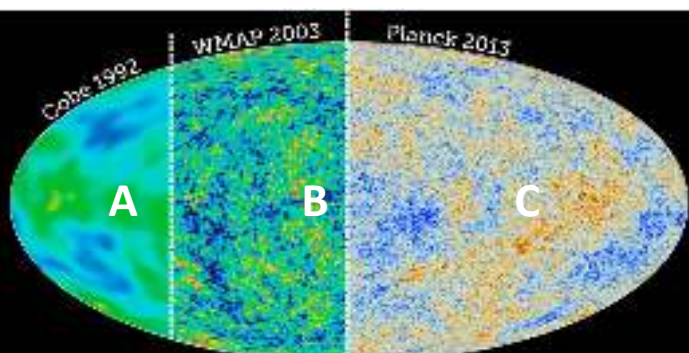
mikrovalovnega  
sevanja, pridobljen s  
satelitom COBE

a: po odštetju enotnega  
dela kozmičnega  
mikrovalovnega ozadja  
(CMB)

b: po korekciji celotnega  
učinka zaradi gibanja naše  
Galaksije glede na CMB,  
c: po odstranitvi

sevanja Rimske ceste in bližnjih galaksij  
končno odkrijemo majhne fluktuacije CMB  
(1/100.000 amplitudne vrednosti),  
torej stanje Vesolja med rekombinacijo.

Mikrovalovno ozadje, ki ga je COBE opazil  
leta 1992 (A), WMAP leta 2003 (B) in  
satelit Planck, ki sta ga lansirala NASA in  
ESA leta 2013 (C).



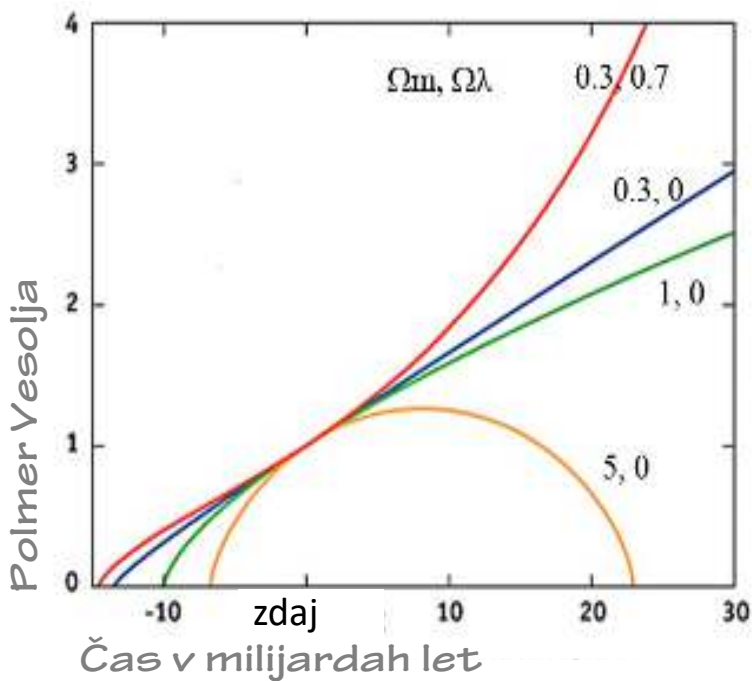
Vsak satelit  
razkrije več  
podrobnosti.

# Primarne fluktuacije

Prasevanje iz prapoka, ki se je zaradi širjenja ohladilo na 3 Kelvine, je bilo oddano, ko je bilo Vesolje še gosto in vroče, 380.000 let po prapoku. Takrat so Vesolje prečkali valovi, ki so pustili svoj pečat na kozmičnem mikrovalovnem ozadju. To so **primarne fluktuacije** – semena galaksij (glej stran 6).

Ko je temperatura Vesolja padla pod 3000 K, so se protoni rekombinirali z elektroni in tvorili atome vodika.

Statistični študiji fluktuacij kažejo, da Vesolje vsebuje 5 % barionov (snov, kot jo poznamo), 25 % **temne snovi** in 70 % **temne energije**. Prav tako kažejo, da Vesolje geometrijsko ni ukrivljeno in da je od prapoka minilo 13,8 milijard let.



Razvoj polmera Vesolja po raznih kozmoloških modelih za različne vrednosti parametrov  $\Omega_M$ , gostote snovi, in  $\Omega_\Lambda$ , gostote energije Vesolja. Razvoj Vesolja je povezan z vrednostjo  $\Omega = \Omega_M + \Omega_\Lambda$ .

Če je  $\Omega = 5$ , se bo Vesolje ponovno zbralo v Velikem stisku (rumena krivulja). Če ima Vesolje ničelno ( $\Omega = 1$ ) ali negativno ( $\Omega = 0,3$ ) ukrivljenost, se bo širjenje nadaljevalo neskončno (zelena in modra krivulji).

Trenutna opazovanja vodijo do rdeče krivulje. Ukrivljenost je enaka ničli in širjenje se pospešuje.

## Kozmološka konstanta

Leta 1915 je Albert Einstein objavil enačbe splošne teorije relativnosti, ki povezujejo geometrijo Vesolja s količino snovi in energije, ki ju vsebuje. Da bi se Vesolje obržalo statično (kar se je takrat verjelo), je dodal člen, imenovan kozmološka konstanta,  $\Lambda$ . Ko je leta 1929 postalo jasno, da se Vesolje širi, je Einstein izjavil, da je uvedba  $\Lambda$  največja napaka njegovega življenja. Večji del 20. stoletja je bil  $\Lambda$  zanemarjen. Toda leta 1998 sta dve skupini opazovalcev z uporabo supernov tipa Ia, ki so boljši kazalniki razdalj kot kefeide, odkrili, da se širjenje Vesolja pospešuje. Leta 2011 so prejeli Nobelovo nagrado.

**PRAPOK**

**CMB**

**Prve zvezde**

**380.000 let**

**200 milijonov let**

**Danes**

**13,8 milijard let**


## Poenostavljena zgodovina Vesolja:

- V prvih minutah: prapok ter nastanek osnovnih delcev in sevanja.
- Po 380.000 letih: rekombinacija protonov in elektronov v vodikove atome.
- Po 200 milijonih let: nastanek prvih zvezd v prvih galaksijah in postopna reionizacija Vesolja.
- Končno, do danes: preobrazba galaksij s spajanjem manjših galaksij.

# Temna energija

Zaradi gravitacijske privlačnosti vse snovi v Vesolju naj bi se širjenje upočasnjevalo.

Če se širjenje pospešuje, kot zdaj menimo, to pomeni, da obstaja še ena komponenta, ki povzroča odbojno silo. To je vloga, ki jo igra kozmološka konstanta. Ta komponenta se imenuje **temna energija**. To bi omogočilo združiti vse opazovanja med seboj, kot sta ukrivljenost in starost Vesolja (ki ne more biti manjša od starosti najstarejših zvezd). Narava te temne energije še ostaja neznana. Zgodovina Vesolja, kot jo poznamo danes, je opisana na str. 10, njegova usoda pa je shematizirana na str. 8.



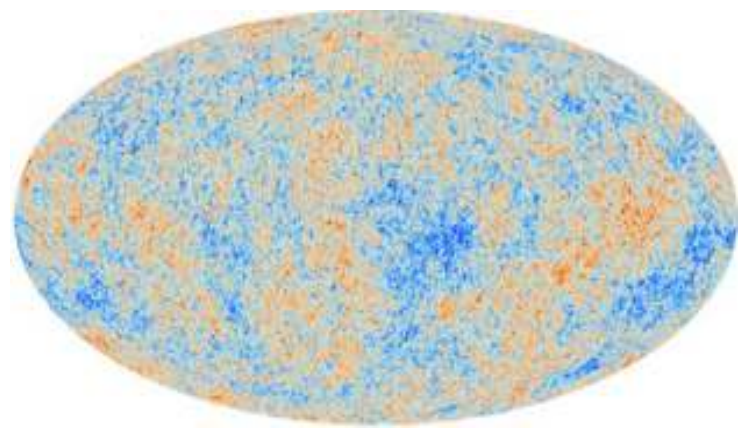
Vi ste tukaj,  
v središču  
vidnega  
Vesolja

### Obzorje vidnega Vesolja.

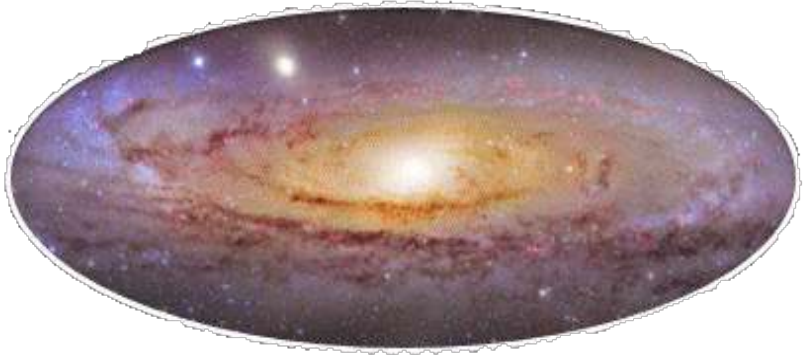
Vsi opazovalci so v središču krogle, ki predstavlja njihovo vidno Vesolje. Ne morejo opazovati dlje kot to obzorje. Galaksije, ki morda obstajajo onkraj tega obzorja, še niso imele časa komunicirati z opazovalci, ker njihovi fotoni, ki potujejo s svetlobno hitrostjo, niso imeli dovolj časa, da bi dosegli opazovalce.

# Obzorje Vesolja

Danes lahko sledimo celotni zgodovini Vesolja, od prapoka naprej (glej str. 10). Številna opazovanja potrjujejo ta kozmološki model, astronomi pa so raziskali velik del vidnega Vesolja. Seveda ne morejo opazovati dlje od določene razdalje, saj signali, ki prispejo na Zemljo, ne morejo potovati hitreje od svetlobe, katera hitrost je  $299.792 \text{ km/s}$ . Tako je opazovanje oddaljenih teles kot potovanje nazaj v čas. Fotoni, ki jih danes prejemamo iz primarnih galaksij, so bili oddani pred 12 ali 13 milijardami let. Tako te galaksije vidimo, kakršne so bile v svoji mladosti. Ko opazujemo fotone iz kozmičnega ozadja, gledamo 13,8 milijard let nazaj v čas (glej nasprotno stran).



## Kviz



Katera od teh slik prikazuje fluktuacije kozmičnega ozadja?



Odgovor na naslednji strani

Fluktuacije kozmičnega  
ozadja

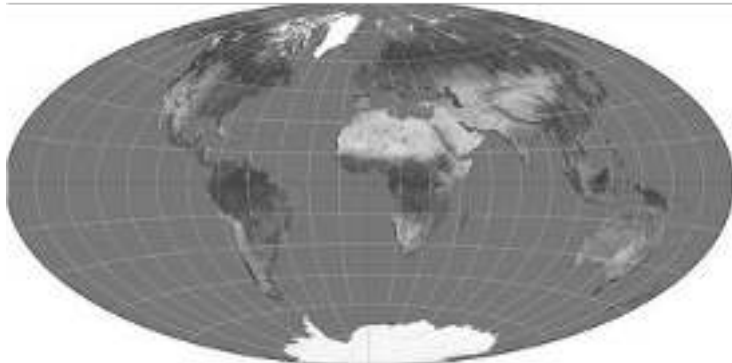


Optična slika galaksije  
Andromede M31



# Odgovori

Zemljevid celin  
in oceanov  
Zemlje.



# Yesolje v mojem žepu št. 12

To knjižico je leta 2020 napisala  
Françoise Combes z Pariškega  
Observatorija (Francija).

St. 1

Naslovna slika: Kratka zgodovina Yesolja  
(glej tudi stran 10).

Zasluga NASA/WMAP



Če želite izvedeti več o tej seriji  
in temah, predstavljenih v tej  
knjižici, obiščite  
<http://www.tuimp.org>

Prevod: Jérôme Novak  
TUIMP Creative Commons

