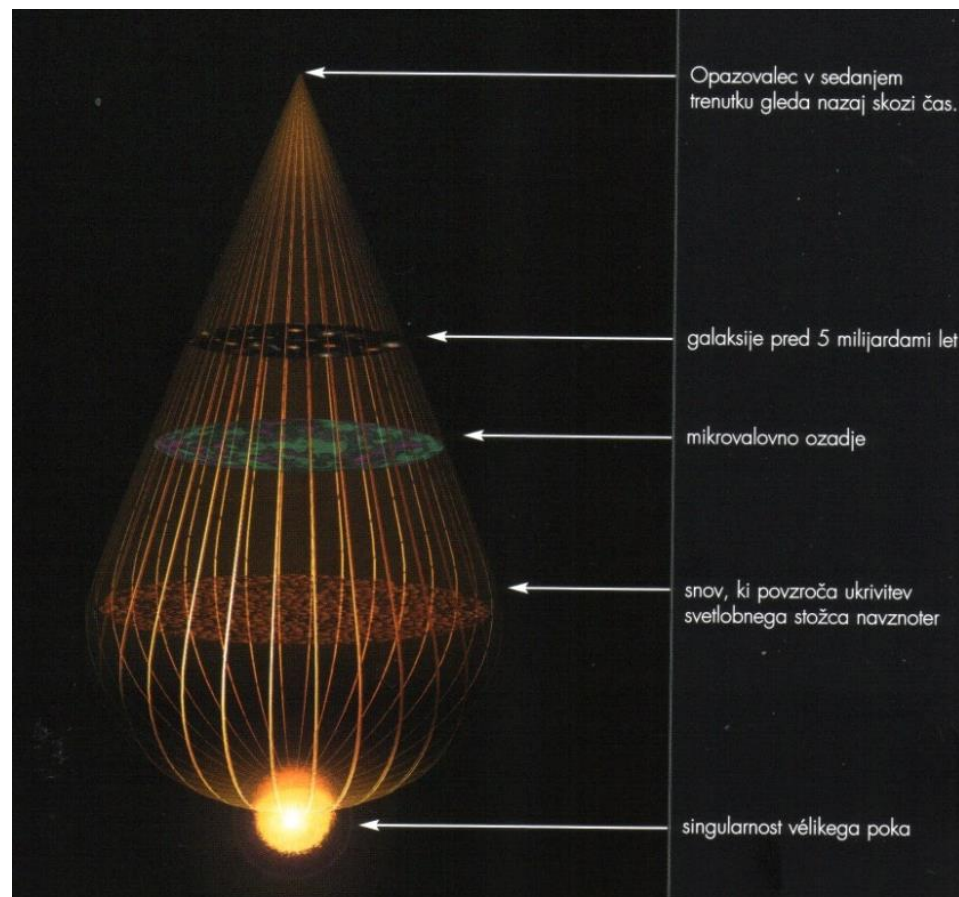


# Kozmološki čas

(oz. prostor-čas)

1. čas: “notranji” in “zunani”
2. starost vesolja je odvisna od vrednosti Hubblove konstante in od dinamike raztezanja vesolja
3. gravitacijska “upočasnitev” časa; Hawkingov primer “pogumnega vesolja”
4. opredelitev kozmološkega časa z “idealnim vesoljnim opazovalcem”
5. problem “prvih treh minut”
6. Hawkingova dva časa, “realni” in “imaginarni”
7. “singularnost” na začetku?



“Čas v obliki hruške”, slika iz knjige  
Stephena Hawkinga *Vesolje v orehovi lupini* (2001)

# Čas

(v fil. in/ali znanosti)

"notranji"  
ali intrinzični  
(= čas zavesti)

---

Platon  
Plotin  
Avguštin

Kant ... Hegel (tudi zgod.  
čas → Marx)

Husserl  
Heidegger  
Berenson  
v lit.: Proust  
eksistencializem

"zunanji"  
ali ekstrinzični  
(= fizikalni čas)

---

Aristotel (vendar tudi  
notranji čas!)  
Akvinski (kozmol. čas)

...

Kopernik, Galilej, Newton

...

Einstein  
in sodobna fizika,  
tudi "analitična fil.":

Russell  
Reichenbach ...

↳ Sodobna kozmologija

je to sploh mogoče  
povezati, združiti?

## Ponovitev: raztezanje vesolja



Raztezanje vesolja  
je odkril

**Edwin Hubble**

in ga izrazil z enačbo:

$$v = H_0 \cdot d$$

tj. Hubbllov zakon, 1929



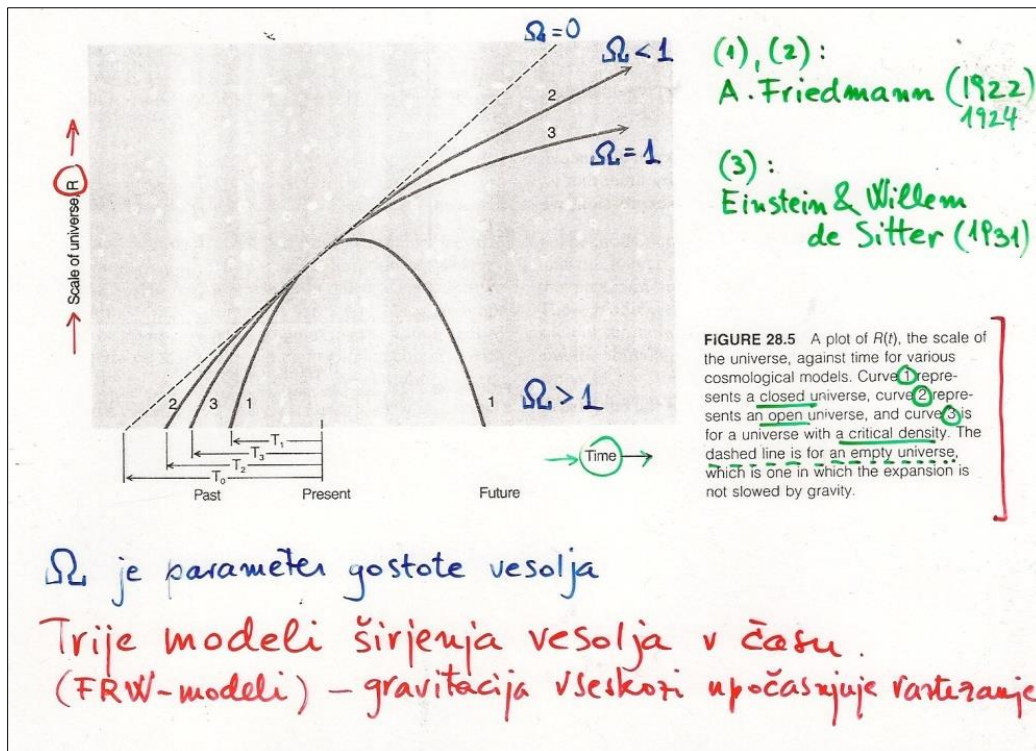
- Hubble je z merjenjem »rdečih premikov« svetlobe iz drugih galaksij odkril, da se vesolje razteza, tj. da se razdalje med galaksijami s časom povečujejo (*gl. slike zgoraj*).
- To je izrazil s zakonom, ki se po njem imenuje Hubbllov zakon: čim dlje je galaksija ( $d$ ), tem hitreje ( $v$ ) se oddaljuje od nas.
- Hitrost raztezanja je izražena s Hubblvovo konstanto ( $H_0$ ): čim večja je, tem hitreje se vesolje razteza.
- Obratna vrednost Hubbllove konstante ( $1/H_0$ ) pa je Hubbllov čas, ki nam omogoča prvi približek izračuna starosti vesolja: čim počasneje se vesolje razteza, tem starejša je. Sedanja ocena starosti vesolja je 13-14 milijard let.
- *Toda*: ta ocena starosti vesolja je odvisna tudi od *dinamike* raztezanja, tj. od njej ustreznega modela *razvoja* vesolja v času → Friedmanovi modeli.

# Friedmannovi dinamični modeli z vidika kozmološkega časa (odvisnost od parametra $\Omega$ )

Parameter  $\Omega$  izraža povprečno masno-energetsko gostoto vesolja glede na "kritično gostoto" ( $\Omega = 1$ ), nad katero bi se vesolje v daljni prihodnosti spet "zaprl".

Od parametra  $\Omega$  je odvisno oboje: ukrivljenost vesoljnega prostora in njegova starost (tj.: prostor-čas).

(diagram je z knjige: Abell, Morrison, Wolff, *Universe*, 1994, str. 490)



V dinamičnih FRW-modelih (Friedmann, Robertson, Walker) to pomeni za globalno ukrivljenost vesoljnega prostora, da je pri  $\Omega = 1$  (ko ima vesolje natanko "kritično gostoto") njegova geometrija "ravna", *evklidska* (lahko bi rekli, da se razteza evklidska, klasična "koordinatna mreža"), pri  $\Omega > 1$  je geometrija *sferična*, pri  $\Omega < 1$  pa *hiperbolična*.

**Toda**, ne pozabimo: v FRW-modelih *gravitacija ves čas upočasnjuje raztezanje*, kar pomeni, da ni nobene "antigravitacije", ki jo je Einstein v svojem prvem, še *statičnem* modelu vesolja (1917) označil s "kozмолоško konstanto"  $\Lambda$ , po Hubblovem odkritju raztezanja (1929) pa jo je opustil, vendar dandanes spet postaja aktualna neka varianta  $\Lambda$  zaradi odkritja (leta 1998), da se v našem kozmološkem obdobju (~ zadnje milijardo let) vesolje razteza (rahlo) pospešeno, ne pa pojemajoče, kot so predvidevali FRW-modeli.

Pojemanje ali pospeševanje raztezanja pa je izraženo s tretjim parametrom:  $q$

Parameter  $q$  v kozmoloških modelih označuje pospešek (oz. pojemek) hitrosti raztezanja: če je *pozitiven*,  $q > 0$  (slika spodaj), potem hitrost raztezanja s kozmološkim časom pojema, tj. gravitacija ustavlja raztezanje (kakor predpostavljajo zdaj že "klasični" FRW-modeli); če pa je negativen,  $q < 0$  (slika zgoraj), potem hitrost raztezanja s časom narašča.

Starost vesolja je torej odvisna od treh med seboj povezanih parametrov:  $H$ ,  $\Omega$  in  $q$ .

*Razlaga:* Vrednost Hubblove "konstante" ( $H$ ) je matematični odvod (tangenta) krivulje oz. grafa parametra  $q$ , ki se *spreminja* v poteku kozmološkega časa. To pomeni, da časovno pravzaprav ne gre za konstanto, ampak za Hubblov *parameter* ( $H$ ), ki se s časom spreminja. Hubblova konstanta ( $H_0$ ) pa je prava *prostorska* konstanta (v nekem določenem kozmološkem času), ker je raztezanje v vseh *smereh* enakomerno (izotropno).

Harrison: "Cosmology" (2000)

EXPANSION OF THE UNIVERSE

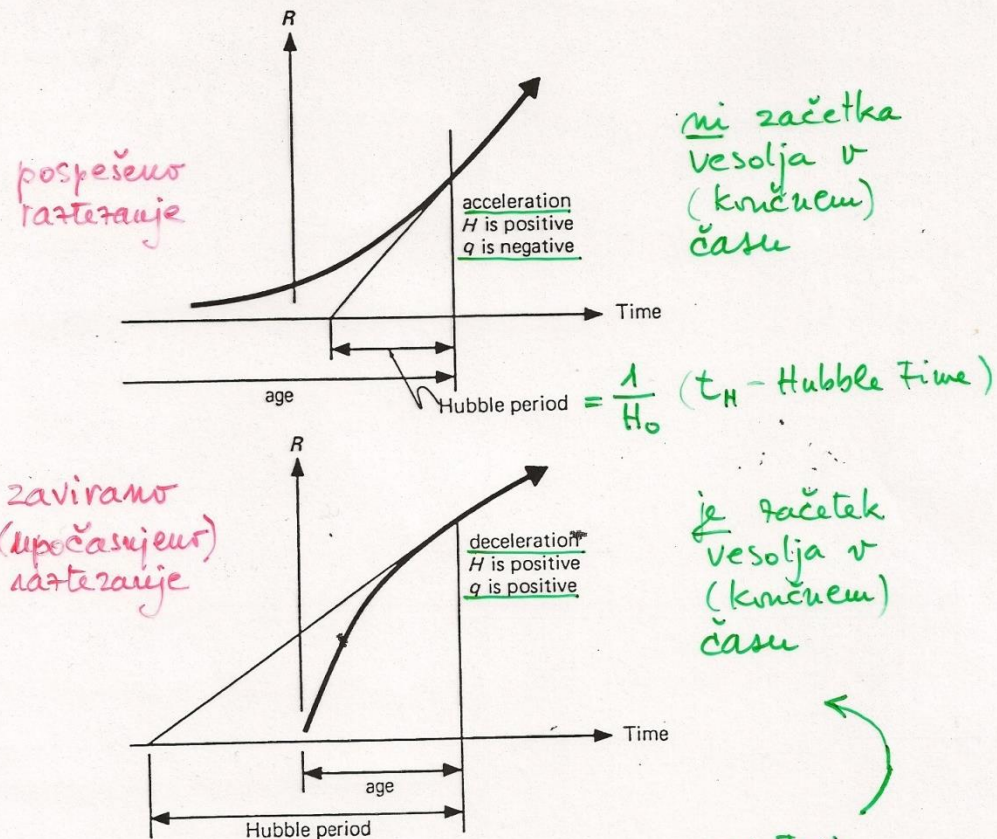
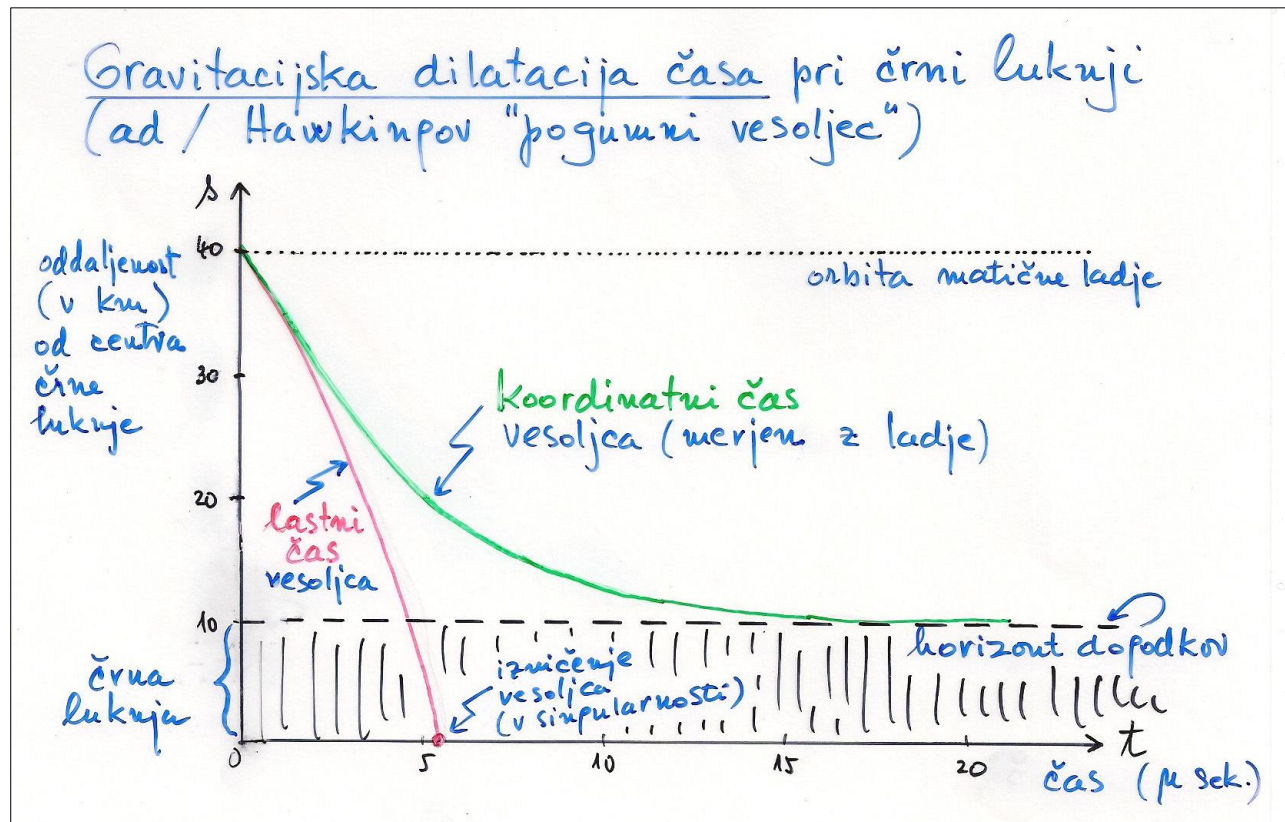


Figure 14.21. Expansion in accelerating and decelerating universes. Notice that in accelerating universes the age is greater than the Hubble period, and in decelerating universes the age is less than the Hubble period.

vsi trije Friedmannovi modeli so "decelerating universes"

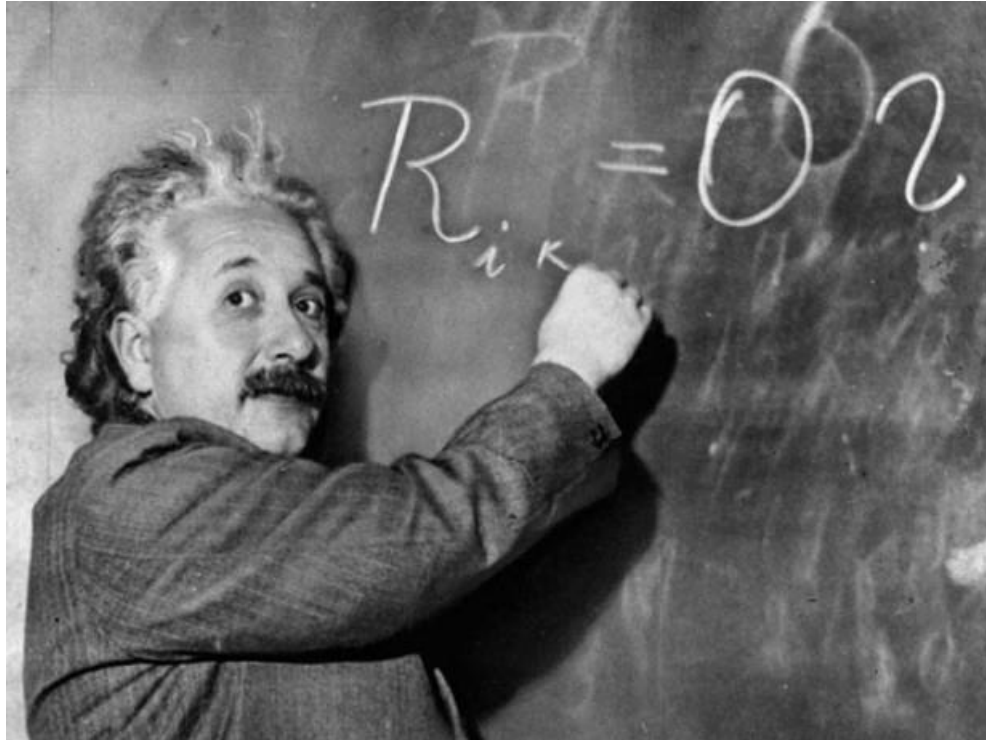
Čas je v Einsteinovi relativnostni teoriji, ki je teoretska osnova vseh sodobnih kozmoloških modelov, odvisen od lokacije oz. "referenčnega okvira" opazovalca

V splošni teoriji relativnosti je prostor-čas odvisen od moči gravitacije (ta pa od masno-energetske gostote) – kot nam Stephen Hawking nazorno pokaže v *Kratki zgodovini časa* s hipotetičnim primerom "pogumnega vesolja", ki se z matične ladje spušča v črno luknjo.



Na začetku razvoja vesolja je bil prostor-čas mnogo bolj ukrivljen, kot je danes v pretežno "praznem" vesolju, ker je bila masno-energetska gostota takrat mnogo večja. Zato moramo tudi v kozmoloških modelih razlikovati med lastnim in koordinatnim časom ter določiti opazovalca (oz. referenčni okvir), za katerega je kozmološki čas *lastni* čas.

Kozmološki čas je, sledeč Einsteinovi relativnostni teoriji, *lastni* čas hipotetičnega “idealnega vesoljnega opazovalca” (oziroma njegovega ali njenega referenčnega okvirja)



Kozmološki čas ni absolutni oz. univerzalni čas (v Newtonovem pomenu), ampak kvečjemu “nadomestek” univerzalnega časa, definiran kot zaporedje “presekov simultanosti”, in sicer za mirujočega vesoljnega opazovalca: v vesolju, ki se razteza, so simultane (istočasne) tiste “regije”, ki imajo enako gostoto (galaksij).

## Kozmološki čas kot *lastni* čas "idealnega vesoljnega opazovalca"?

**Edward Arthur Milne**, profesor matematike v Oxfordu ~1935, je poudarjal, da teorija relativnosti dovoljuje in tudi teoretsko omogoča uporabo *poljubnih* časovnih koordinat pri opredelitvi kozmološkega časa.

Čeprav opredeljujemo standardni kozmološki čas (14 milijard let do sedaj) kot *lastni* čas mirujočega »idealnega« vesoljnega opazovalca, to ni edina možnost, saj kot pravi Milne –

»... lastni čas, ki je najprimernejši čas v okolju tu na Zemlji, morda ni najprimernejši fizikalni čas za vesolje kot celoto.«

Nadalje je Milne trdil, da:

»... četudi morda vesolje obstaja v zgolj končnem lastnem času, tako preteklem kot prihodnjem, pa bi bilo v entropičnem času <entropic time> lahko večno tako v preteklosti kot v prihodnosti.« [*ibid.*].

Entropija pa je tudi mera informacijske zmogljivosti nekega sistema (Shannon, 1948) ...

gl. M. V. : "Daljna bližina neba", str. 613-14.



## Kako dolge so *resnično* bile tiste “prve tri minute”?

Odgovor je odvisen od tega, *katero resničnost* s tem mislimo oziroma *kateri kriterij* smatramo za merjenje časa kot osnovni, tj., kaj je sploh “resnični čas”?

Že znotraj same fizike je mogoče opredeliti – ali si vsaj zamisliti – *različne* časovne kriterije (kot predlagajo Milne, Shallis, tudi Hawking idr.).

Širše, *filozofsko* vprašanje resničnosti časa pa je v tem, ali naj kot “temeljni” (ontološki) čas razumemo *fizikalni* čas (od Aristotela do Einsteina in dalje), ali “čas duše” (od Platona do kognitivne znanosti), ali morda *fenomenološki* čas (Husserl, Heidegger, Merleau-Ponty idr.) – ali pa kako četrto možnost?

Michael Shallis: “Time and Cosmology”

(v zborniku *The Nature of Time*, ur. R. Flood & M. Lockwood, Basil Blackwell, Oxford 1990, str. 75-76)

...Vendar se je treba vprašati, kaj v resnici menimo s časom, ko razpravljamo o preteklosti in prihodnosti vesolja. V zelo gostem vesolju bi čas seveda tekel mnogo počasneje kot v velikanskem, praznem, razredčenem vesolju. Ena izmed težav je v tem, da je naše sedanje vesolje za nas preveč uniformno, da bi bili pozorni na spremembe v ritmu ur, ki jih povzroča spreminjajoča se gostota vesolja. Kar želim vprašati je to, kako dolge so resnično bile tiste prve tri minute?

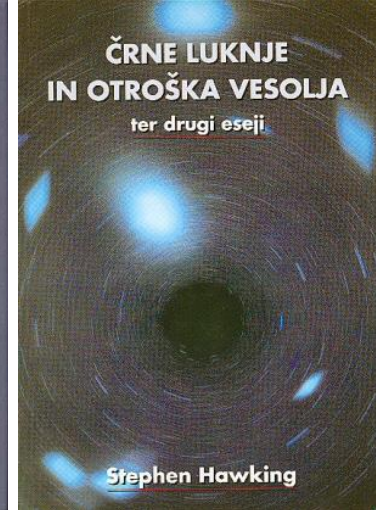
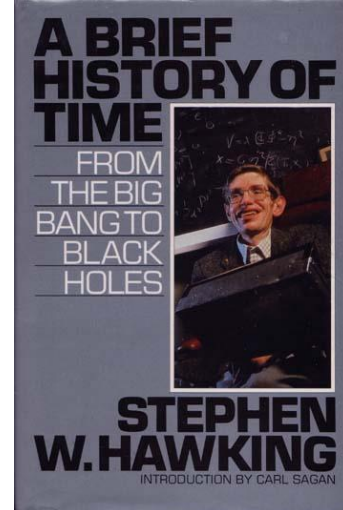
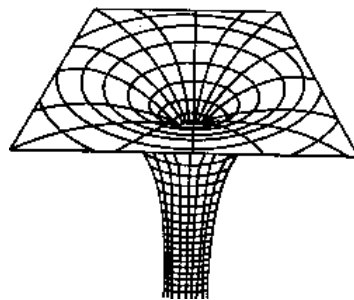
To ni šaljivo vprašanje, kajti kaže na zelo pomemben poudarek v zvezi s časom in kozmologijo. Odpira problem, katera časovna merila so ustrezna, o čemer smo govorili že prej. Ko govorimo o prvem  $10^{-43}$  delčku sekunde ali o prvih treh minutah ali o prvem milijonu let vesolja, imamo v mislih to, kar smo poprej imenovali lastni čas. No, lastni čas pa je merjen z idealno uro, mirujočo v istem gravitacijskem polju kot idealni in hipotetični opazovalec. Lastni čas je oblika Newtonovega absolutnega časa, razlikuje se od njega po tem, da je lokalno omejen, čeprav se nanaša na vesolje kot celoto. Če merimo tiste prve tri minute z lastnim časom, nas to navaja k misli, da gre za isto vrsto minut, ki jih izkušamo sedaj. Toda takšna definicija časa ni samo hipotetična in abstraktna, ampak je tudi v marsičem zavajajoča, začeni s tem, da se ne meni za spreminjajoče se ritme ur ob spreminjanju moči gravitacijskega polja in se v splošnem ne nanaša na fizikalne lastnosti vesolja.

Če bi se odločili, naj enoto časa opredeljuje neko fizično dogajanje, na primer, povprečni prazni čas med dvema interakcijama delcev, ki bi ga izbrali na neki relevanten način, bi ugotovili, da je bilo zgodnje vesolje zelo polno dogajanj, poznejše vesolje pa zelo prazno. Tj., fizikalni čas je tekel veliko hitreje v zgodnjem vesolju in se postopoma upočasnjuje. V takšnem merilu bi bilo vesolje dejansko neskončno staro (podč. M. U.).



## “Kratka zgodovina časa”

Stephen  
Hawking  
(1942-)



- Hawking, avtor *Kratke zgodovine časa* (1988), je med najbolj zaslužnimi znanstveniki za teorijo črnih lukenj. V '60-letih sta z Rogerjem Penroseom zapisala “teoreme o singularnostih”, konvergenčnih točkah vseh svetovnic v neki regiji prostora-časa.
- Očitna je teoretska *povezava med črnimi luknjami in prapokom*, ki ga lahko pojmuje kot kozmično “belo luknjo”. Domnevna singularnost prapoka naj bi bila konvergenčna točka vseh preteklih svetovnic v celotnem kozmosu. Drugače rečeno, čas naj bi se začel z velikim pokom.
- Hawking je pozneje postal kritičen do te povezave, predvsem pa do ideje o začetku časa, kajti:
  1. med črnimi luknjami in prapokom gotovo obstajajo zanimive podobnosti, vendar tudi razlike, očitno različna je *smer časa* (krčenje zvezde vs. raztezanje vesolja);
  2. da bi zaobšel oz. presešel idejo o začetku časa, Hawking uvede “drugo časovno dimenzijo”, “*imaginarni čas*” in s pomočjo kvantne kozmologije (ki pa je še hipotetična) zagovarja ateistični model vesolja, tj. vesolje brez začetka in stvarnika.
- To misel najdemo že v *Kratki zgodovina časa* (1988): »Robni pogoj vesolja je ta, da nima nobenega roba. V celoti je vsebovano samo v sebi, in nič, kar je zunaj, nanj ne more vplivati. Ni ustvarjeno in tudi uničeno ne bo. Vesolje kratko malo JE.« (slov. prev., str. 127)

## Dve dimenziji časa, realni in imaginarni čas?

Stephen Hawking: *Kratka zgodovina časa*  
O REALNEM IN IMAGINARNEM ČASU  
(slov. prev., 2. izd., 1994, str. 130)

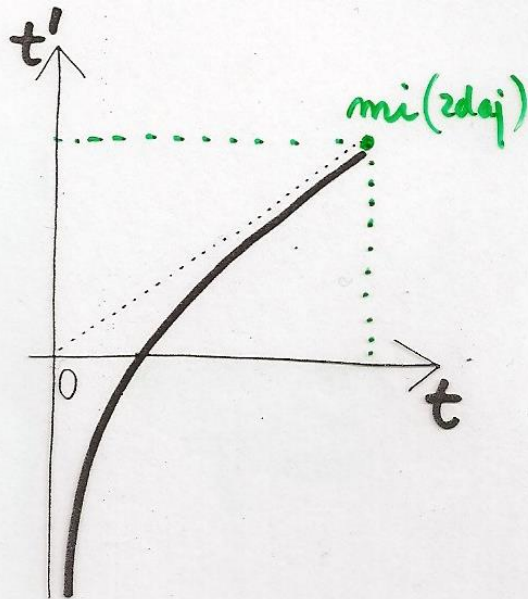
...Iz tega se je porodila misel, da bi vesolje v imaginarnem času utegnilo biti končno, vendar brez robov ali singularnosti. Toda če se vrnemo k realnemu času, v katerem živimo, singularnosti, kakor vse kaže, še vedno so. In tisti ubogi vesoljec, ki pade v črno luknjo, še vedno žalostno konča; pred singularnostmi bi bil varen le, če bi živel v imaginarnem času.

To človeka navaja na misel, da je tako imenovani imaginarni čas v resnici realni čas, tisto, čemur pravimo realni čas, pa samo plod naše domišljije. V realnem času vesolje nastane in se konča v singularnostih, ki postavljajo meje prostor-času in pri katerih fizikalni zakoni odpovedo. V imaginarnem času pa ni ne singularnosti ne mej.

(Podč. M. U.)

## Hawkingova dva časovna "parametra"

(iz knjige: Janez Strnad, *Prapok prasnov požene v dir*, 1988, str. 76)



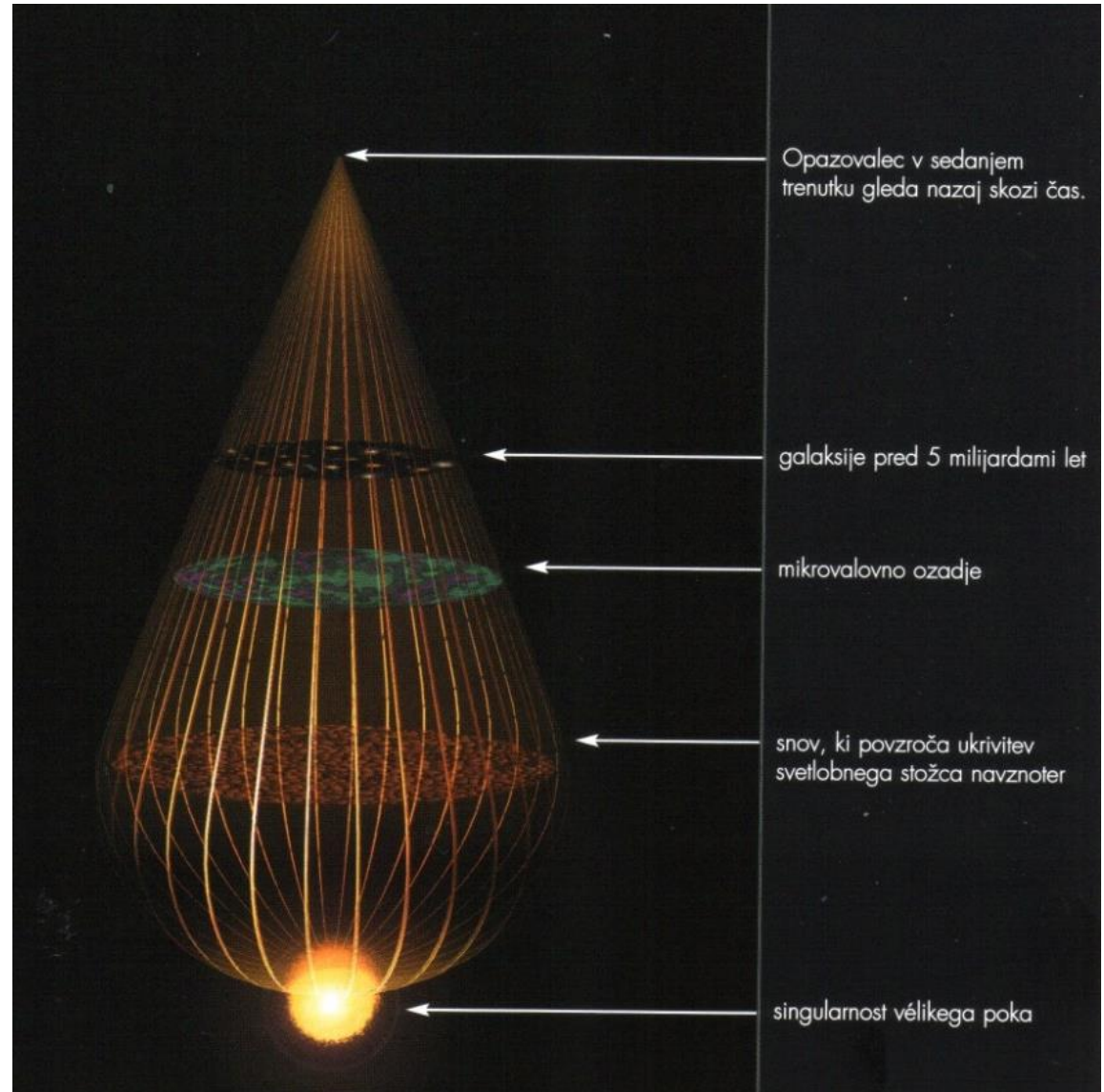
$t'$  je Hawkingov  
"imaginarni čas"  
 $t$  pa je "realni čas" ( $t_k$ )

Časovna parametra  $t$  in  $t'$ , ki ju vpeljemo v vesolju in ki se pri poznejših časih dobro ujemata. Pri poznejših časih ju lahko uporabimo za merjenje časa. Glede na prvega ima vesolje končno starost, glede na drugega pa ne.

Povedano nas je prepričalo, da je starost vesolja odvisna od modela o njegovem razvoju. Starost je lahko neskončna in tudi začetek s prapokom se ne zagotavlja, da je končna. Vzemimo, da je  $t$  časovni parameter, ki da po modelu s prapokom končno starost, če priredimo  $t=0$  najbolj zgodnji epohi, v kateri je smiselno govoriti o času. Vpeljimo drugi časovni parameter  $t'$ . S  $t$  se ujema na območju, na katerem velja zaupanja vredna teorija, od njega pa se vse bolj razlikuje na območju, na katerem nimamo uporabne teorije. Glede na parameter  $t'$  je starost vesolja neskončna, saj se je začelo vesolje v času  $t' \rightarrow \infty$ .

Stephen Hawking (2001),  
*Vesolje v orehovi lupini*:  
“Čas ima obliko hruške”

“Če sledimo našemu svetlobnemu stožcu nazaj v času, vidimo, da se ta zaradi snovi v zgodnjem vesolju zakrivi. Celotno opazljivo vesolje je vsebovano v območju, katerega rob se v velikem poku zmanjša na velikost nič. To je singularnost, prostor, kjer je gostota snovi neskončna in klasična splošna teorija relativnosti ne velja več.” (gl. Hawking: *Vesolje v orehovi lupini*, 2. poglavje “Oblika časa”, slov. prev. 2004, str. 40-41).



*O Bog, v orehovi lupini bi se štel za kralja brezmejnega prostorja –  
ko ne bi imel slabih sanj.*

Shakespeare, *Hamlet*, 2. dejanje, 2. prizor, prev. Milan Jesih

