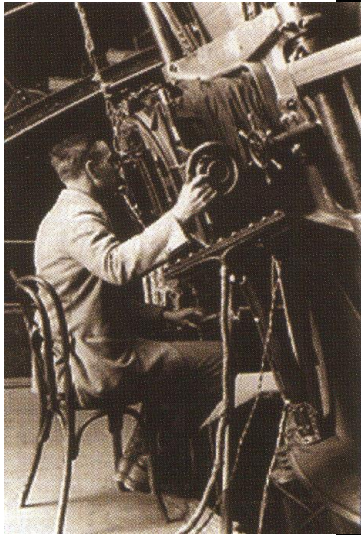
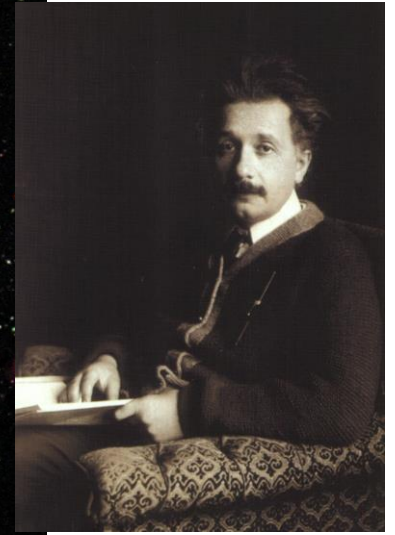


Oris sodobne kozmologije, III. predavanje:
**Standardni kozmološki model “prapoka”
in razvoj vesolja**



Edwin Hubble
pri teleskopu
1930



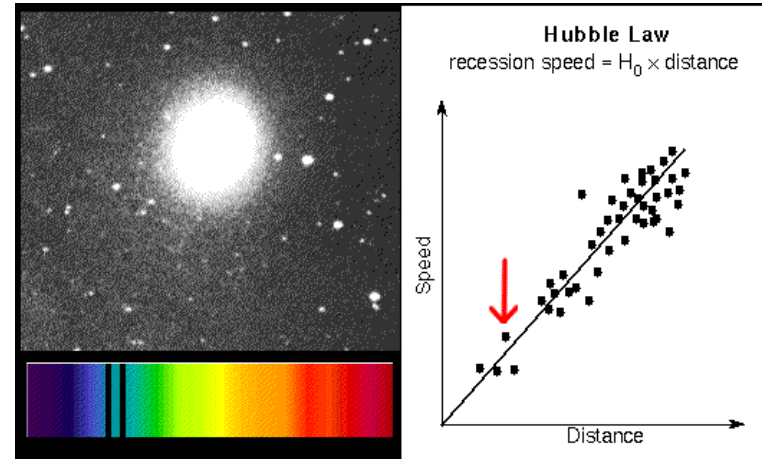
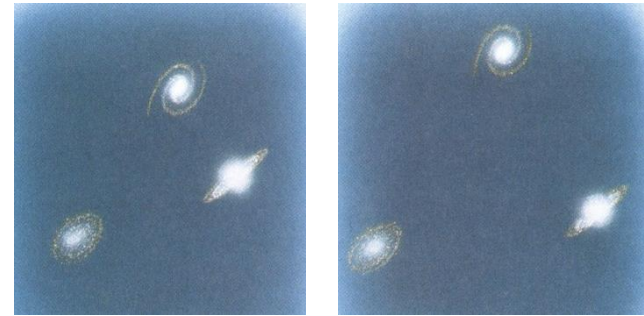
Albert
Einstein
1920



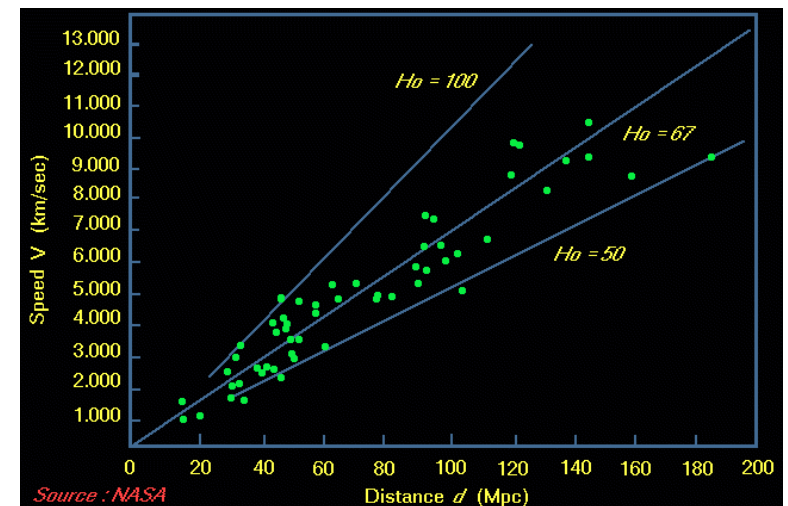
Ponovitev:

Edwin Hubble (1889-1953)

Hubblev zakon (1929):
 $v = H_0 \cdot d$



- Hubble je z merjenjem spektralnih premikov svetlobe z drugih galaksij odkril, da se vesolje razteza, tj. da se razdalje med galaksijami s časom povečujejo.
- To je izrazil s zakonom, ki se po njem imenuje Hubblev zakon (zgoraj): čim dlje je galaksija (d), tem hitreje (v) se oddaljuje od nas (*desno*).
- Hitrost raztezanja je izražena s Hubblevo konstanto (H_0): čim večja je, tem hitreje se vesolje razteza (*desno spodaj*).
- Obratna vrednost Hubbleve konstante ($1/H_0$) je Hubblev čas, ki nam v izbranem kozmološkem modelu omogoča izračun starosti vesolja (sedanja ocena v modelu "ravnega" vesolja: 13-14 milijard let).



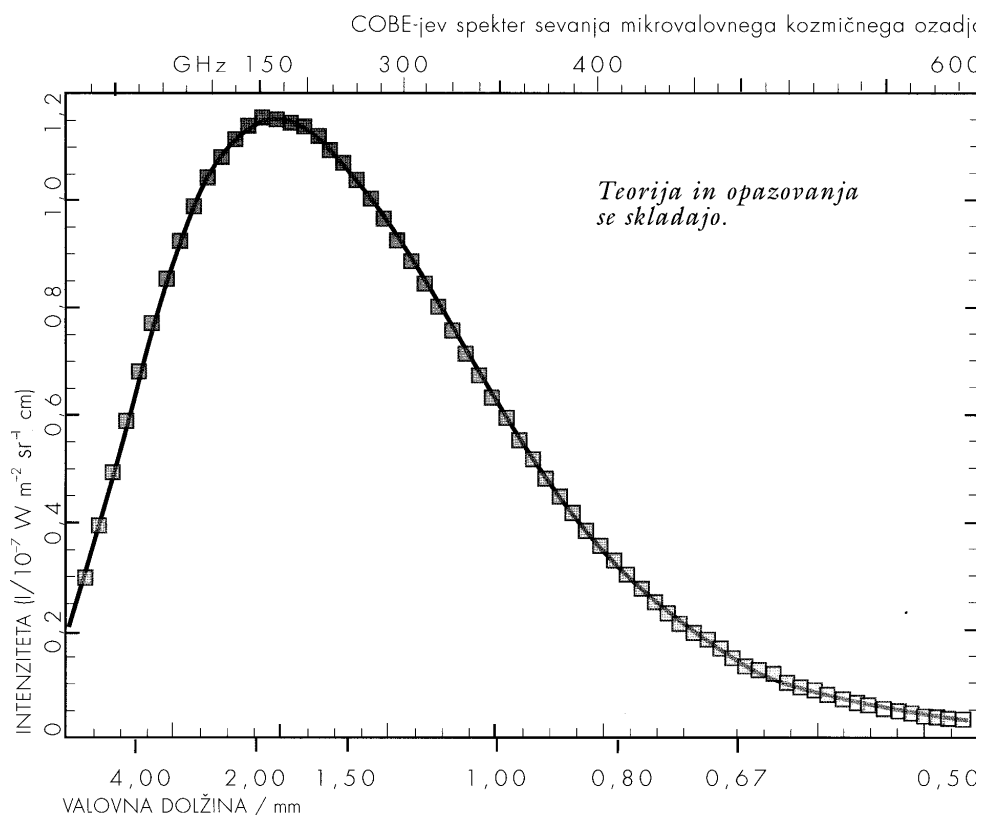
Drugo kozmološko dejstvo: razmerja med elementi

- Po standardnem modelu je vesolje na začetku, v “prvih treh minutah” (Steven Weinberg), silno gosto in vroče, je kakor “ognjena krogla”.
- Ko se ohlaja, se “lomijo simetrije” med štirimi osnovnimi fizikalnimi silami (že v prvi sekundi), iz sevanja se pod določenimi temperaturnimi pragi “strjujejo” elementarni delci, pozneje pa nastajajo še atomska jedra.
- V tem procesu nastane največ vodika ($\approx 3/4$ vse snovi v vesolju) in helija ($\approx 1/4$) – in to razmerje, ki ga predvideva teorija, je izkustveno potrjeno (z analizo spektrov svetlobe) kot *drugo kozmološko dejstvo* – vseh ostalih elementov pa je manj kot en odstotek in nastanejo pozneje, v središčih zvezd.



Tretje kozmološko dejstvo: izotropija in spekter prasevanja

Sled prapoka je “prasevanje” ali mikrovalovno sevanje “ozadja” (Penzias & Wilson, 1965), tj. elektromagnetno sevanje v mikrovalovnem delu spektra, ki je skoraj povsem izotropno (v vseh smereh enako), in to je *tretje kozmološko dejstvo*. Temperatura prasevanja v našem času znaša komaj 2,7 °K .



Graf prikazuje spekter sevanja mikrovalovnega kozmičnega ozadja (tj. “prasevanja”), kot ga je izmeril satelit COBE (1990) – to je bil najbolj prepričljiv argument, da je standardni kozmološki teoretski model “prapoka” res skladen z opazovanji, kajti:

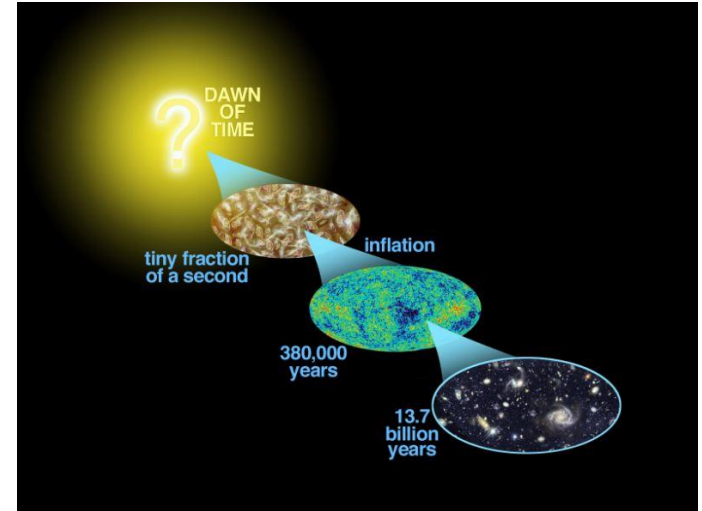
spekter prasevanja, tj. porazdelitev njegove intenzitete po frekvencah (oz. valovnih dolžinah), je značilen za “termično ravnovesje” – preprosto rečeno: ta spekter priča, da je bilo na začetku celotno vesolje homogena “ognjena kroglja”, ki se s časom ohlaja.

(Povzeto po: Stephen Hawking, *Vesolje v orehovi lupini*, str. 38.)

Sodobni standardni kozmološki model: sedem glavnih obdobjih kozmološkega časa.

(1-3): prva sekunda

1. Prapok kot začetna “singularnost”: pri času $t_K = 0$, temperaturi $T = \infty$, itd. ?
Planckov čas: $t_K = t_P = 10^{-43}$ s (pod to vrednostjo fizikalni čas sploh “ni definiran”)
2. doba sevanja, do $t_K \approx 10^{-10}$ s : vesolje je zelo vroča, visokofrekvenčna “svetloba”.
 - temperatura sevanja pada (ob Planckovem času je $T = 10^{31}$ °K)
 - lomi simetrijo med štirimi osnovnimi fizikalnimi silami (“mnoštvo iz enega”)
 - napihnjenje (inflacija) vesolja pri $t_K \approx$ od 10^{-35} do 10^{-32} s (prve sekunde)
3. doba delcev, do $t_K \approx 10^{-3}$ s : nastajajo prvotni delci, čeprav sevanje še prevladuje
 - ostane presežek delcev (elektroni, nevtrini in kvarki) nad antidelci (pozitroni...)



Sedem glavnih obdobij kozmološkega časa. (4-6): od minut do milijard let

4. doba jeder, do $t_K \approx 300.000$ oziroma 3×10^5 let:
prevlada snov nad sevanjem

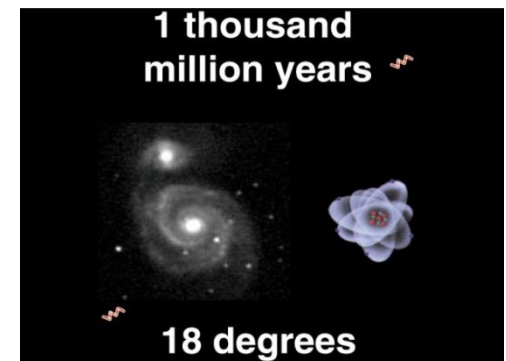
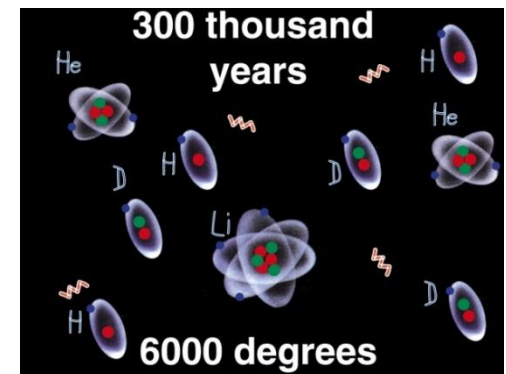
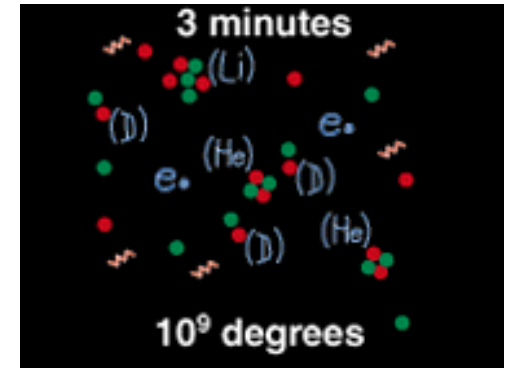
- nastajajo protoni oz. vodikova jedra (H), nevtroni, devterij (D) in helij (He)
- “rekombinacija”, konec stanja plazme:
pri $t_K \approx 3 \times 10^5$ let oz. pri $T < 6000$ °K postane vesolje transparentno za fotone, tj. svetlobo:
sprosti se prasevanje

5. doba atomov, do $t_K \approx 1$ milijarde oziroma 10^9 let;
vesolje ni več “ognjena krogla”

- prevladujejo vodikovi ($\approx 3/4$) in helijevi ($\approx 1/4$) atomi, začnejo nastajati zvezde, v njih pa težji elementi

6. doba galaksij, od $t_K \approx 1$ milijarde let (ali prej) do danes:
galaksije, jate galaksij ...

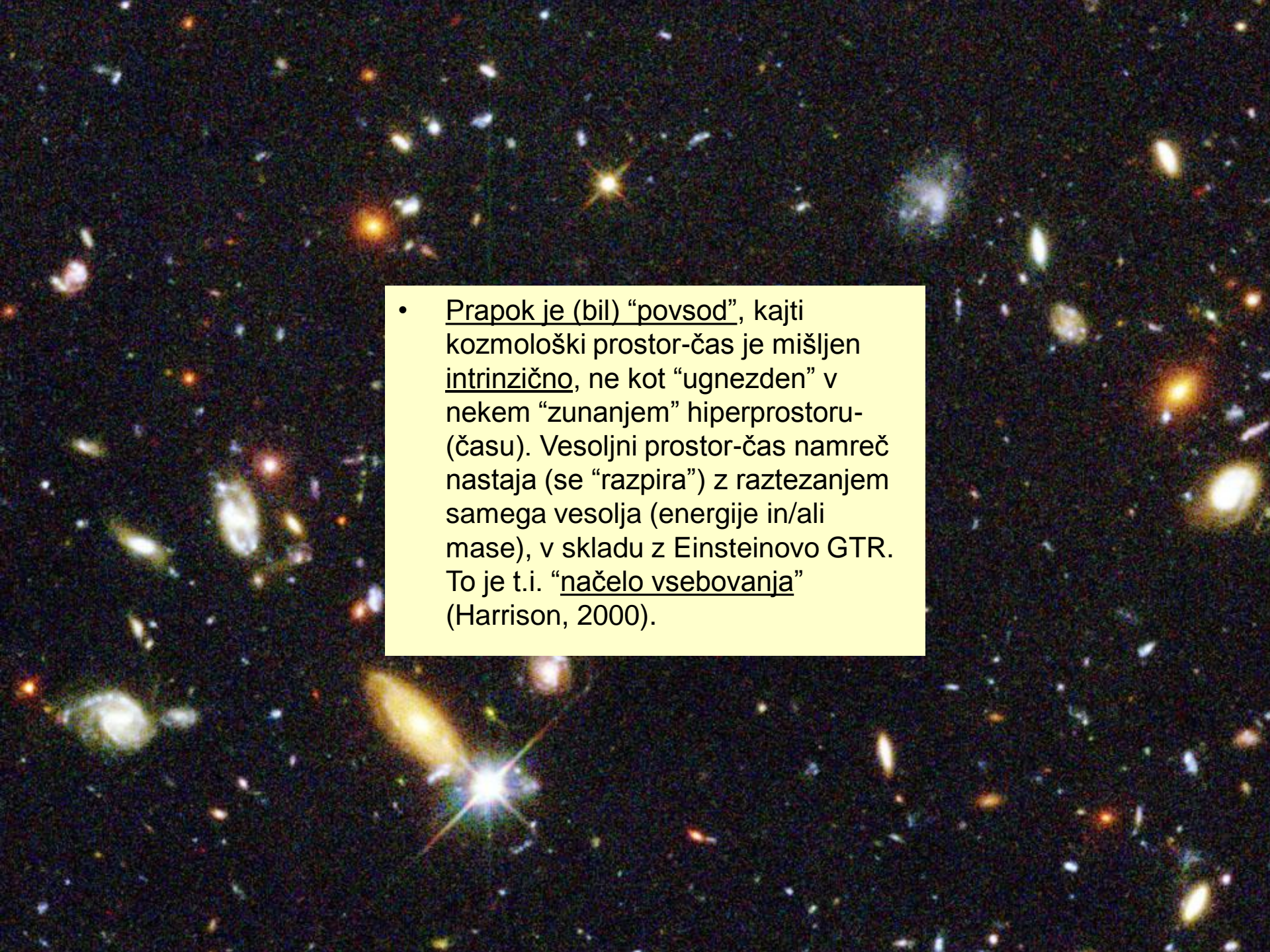
- na začetku je mnogo galaksij z “aktivnimi jedri”
(kvazarji → črne luknje)



... in še zadnja (7) doba kozmološkega časa – mi, zdaj in tu:

7. doba Sonca in Zemlje, od $t_K \approx 9$ milijard let do danes, do $t_K \approx 14$ milijard let
- Sonce je zvezda druge ali celo tretje “generacije” v naši Galaksiji, Mlečni cesti
 - nastanek življenja na Zemlji ($t_K \approx 10$ milijard let), vse do vrste *homo sapiens*
 - človeška zavest je doslej edini znani razumni “opazovalec” vesolja (več o tem → “antropično načelo”)
 - kultura in zgodovina : če bi celoten dosedanji kozmološki čas ($t_K \approx 14$ milijard let) primerjali z enim samim dnevom, bi zgodovinski čas človeštva (≈ 5000 let) obsegal komaj tri stotinke zadnje sekunde pred polnočjo!



- 
- Prapok je (bil) “povsod”, kajti kozmološki prostor-čas je mišljen intrinzično, ne kot “ugnezden” v nekem “zunanjem” hiperprostoru- (času). Vesoljni prostor-čas namreč nastaja (se “razpira”) z raztezanjem samega vesolja (energije in/ali mase), v skladu z Einsteinovo GTR. To je t.i. “načelo vsebovanja” (Harrison, 2000).