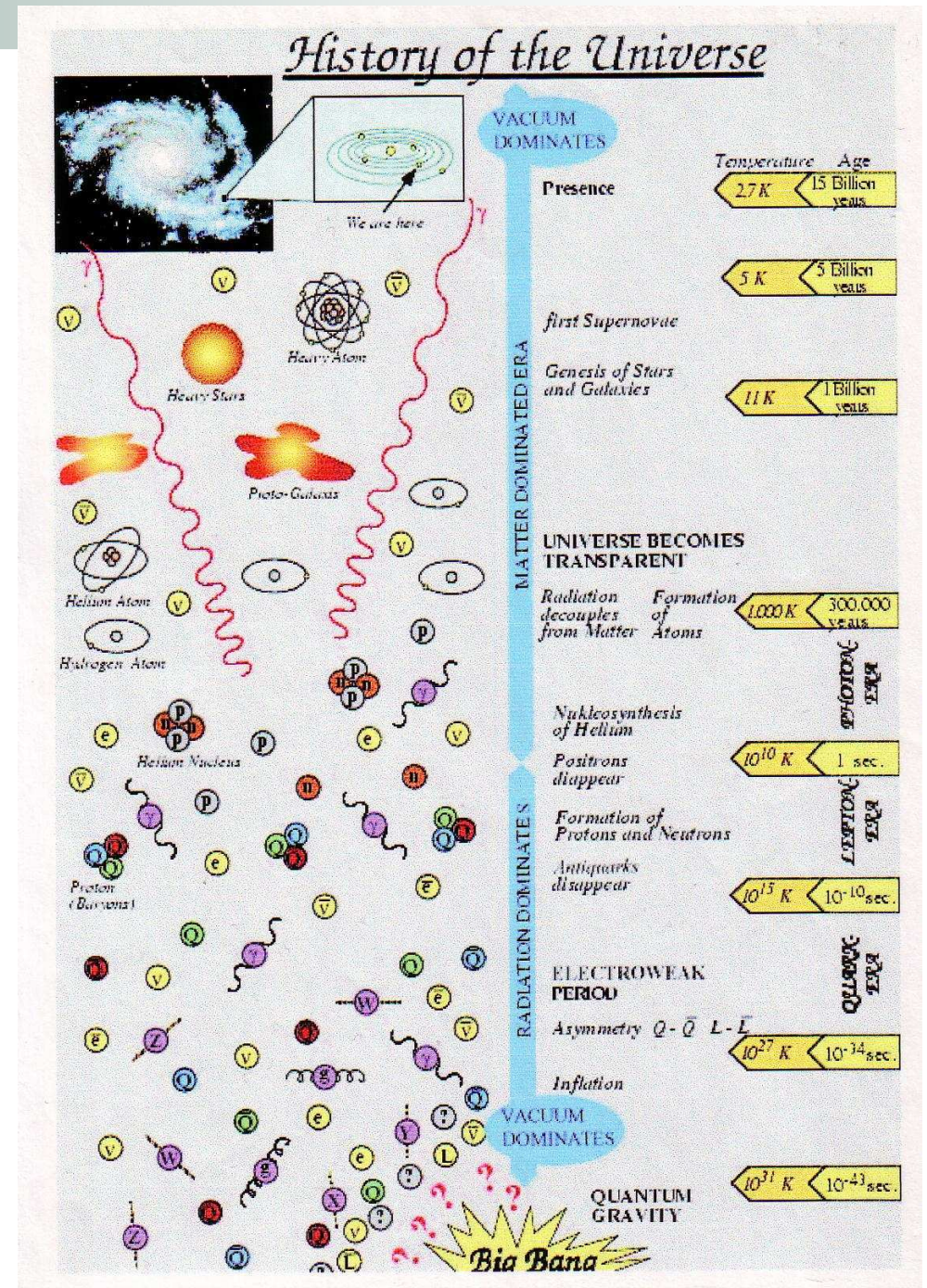


FIZIKALNA KOZMOLOGIJA

Gdje smo mi?

Jedna u slijedu civilizacija koje pokušavaju razumjeti svoje mjesto u svemiru (pritom je svaka umišljala da, ako ništa drugo, ono razumije prirodu svemira).





Što je to kozmologija?

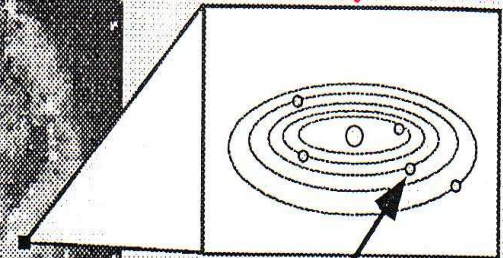
- Studij svemira u najširem smislu;
- Kozmologija kao znanost, **fizikalna kozmologija**, posvećena svemiru na najvećoj ljestvici (do nedavno suprotstavljena FEČ kao ispitivanju subatomske), danas doživljava susret s fizikom čestica pri izučavanju ranog svemira

Svemir doživljavamo kao TVAR u prostoru i vremenu

- Svemir = model svemira (koji je jedan kao što je jedna Zemlja): Aristotelov, Kopernikov, Newtonov, ...
- razbacivanje prostorom
- škrtost vremenom

The Sun lies at a distance of 30 000 ly from the nucleus of the Milky Way

The Sun is at a distance $150 \cdot 10^6$ km (500 light seconds \equiv 1 AU)



We are here

In its lifetime the Sun has journeyed 25 times around the Galaxy.

the Earth has journeyed $\sim 4 \cdot 10^9$ times

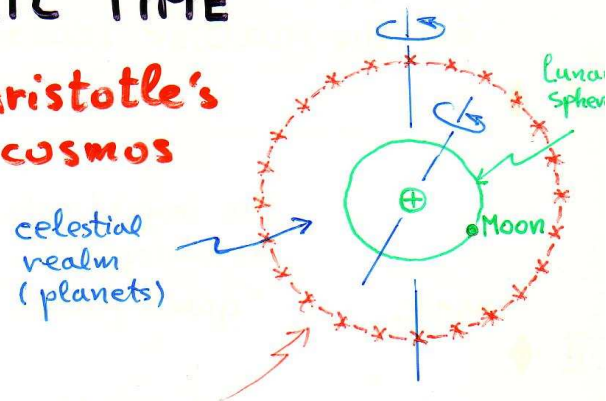
Cosmic display of generosity with space and economy with time:

$$1 \text{ pc} = 3.26 \text{ ly} = 3.09 \cdot 10^{16} \text{ m}$$

VRIJEME: od cikličkog (u zapadnoj i istočnjačkoj filozofiji)

CYCLIC TIME

in Aristotle's cosmos



endless revolution of the etheric element

(later known as **quintessence**,
thought to be the substance of the
heavenly bodies and latent in all things)

w.r.t. the "TIME OF THE CHANGE"

- Aristotle defines time as

"that aspect of CHANGE that
enables it to be counted"

in Hindu universe

each cycle (a KALPA / day of Brahma)
lasts 4320 million years

~ Earth's lifetime!

- controlled by Vishnu

who has a life of a 100 "years"

~ 360 days
of Brahma

- the world comes to an end
after 36 000 cycles

~ 150 trillion
ordinary years

and only the Absolute
Spirit survives

- a new world and a new Vishnu emerge
after an indefinite period of time, and
the cyclic scheme is repeated ...

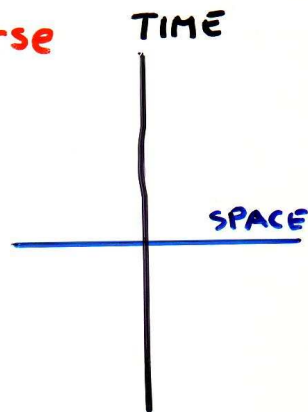
i apsolutnog do vlastitog vremena specijalne teorije relativnosti

ABSOLUTE TIME

of Newton: "Absolute, true, and mathematical time, of itself, and from its own nature, flows equally without relation to anything external ..."

Newton's universe

- absolute space & time
- a framework in which he shaped the laws governing the whole universe



- TIME distance t
- SPACE distance l

$$l^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

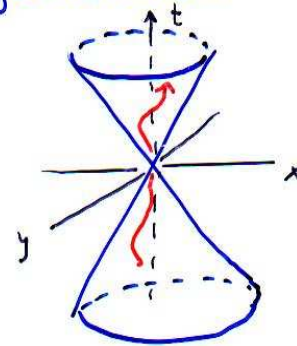
- zadire dublje u strukturu prostora i vremena $x^M = (x^0, x^1, x^2, x^3) = (ct, \vec{x})$
kakvo vide elementarne čestice

Hermann Minkowski

- geometrija s jedinstvenom udaljenošću:

$$s^2 = c^2 t^2 - x^2 - y^2 (-z^2)$$

- > 0 vremenska
- $= 0$ svjetlosna
- < 0 prostorna



PROSTORNI aspekti

- Prostorni orijentiri (koordinatni sustavi)

POVIJEST SVEMIRA

- od
- GEOCENTRIČKOG
- preko
- HELIOCENTRIČKOG
- do
- GALAKTIČKOG

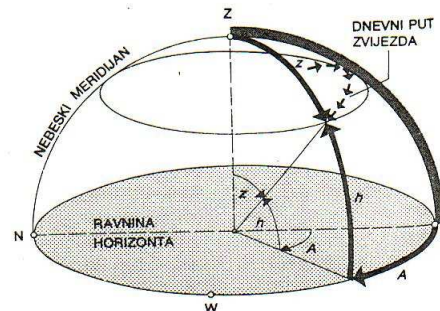
ASTRONOMSKI KOORDINATNI SISTAVI

HORIZONTSKI

referentna vodoravna ravnina promatrača ⇒ ravnina horizonta

h - visina iznad horizonta (zenitna duljina $z = 90^\circ - h$)

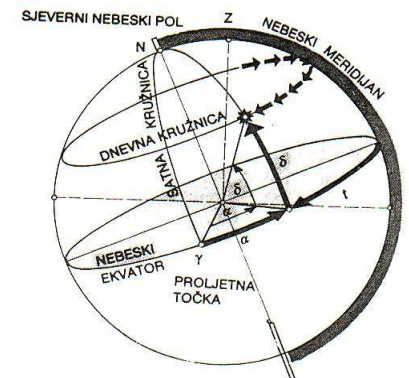
A - azimut ($0^\circ - 360^\circ$) mjereno od južne točke horizonta prema zapadu



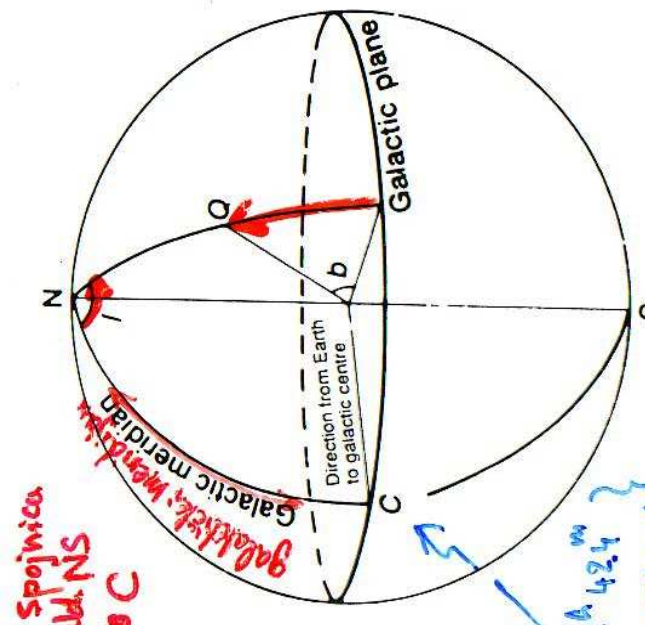
EKVATORSKI

→ projekcija GEOGRAFSKOG na nebesku sferu

referentna je ravnina Zemljinog ekvatora protegnuta do nebeske sfere ⇒ nebeski ekvator



GALAKTIČKE KORDINATE

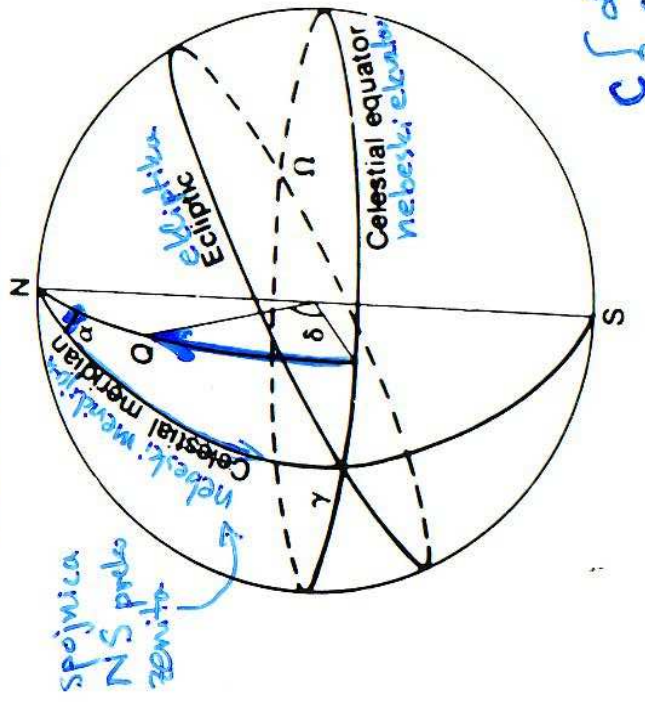


"kozmoške"

ℓ (galaktička dužina)

b (gal. širina)

EKVATORSKE KORDINATE



"astronomske"

δ (deklinacija)

kutna udaljenost od nebeskog ekvatora;

α (rektascija)

Prostorna praznina

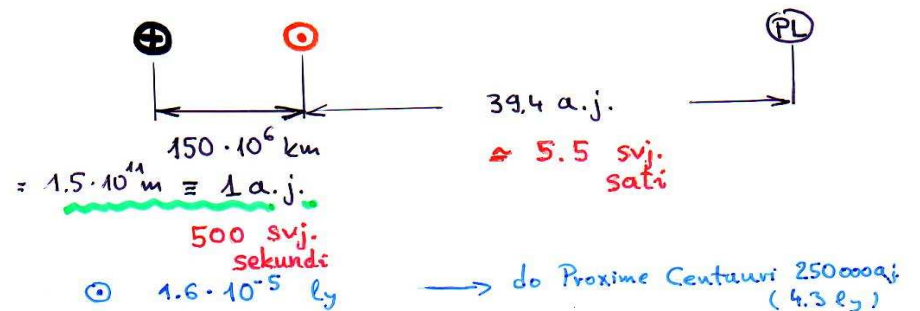
- neznatno kontaminirana materijom unutar galaktika

- **Vježba 1.1:** usporedba veličina i masa u svemiru

Sunčev sustav

$$R_{\oplus} = 6370 \text{ km}$$

$$R_{\odot} = 7 \cdot 10^8 \text{ m}$$



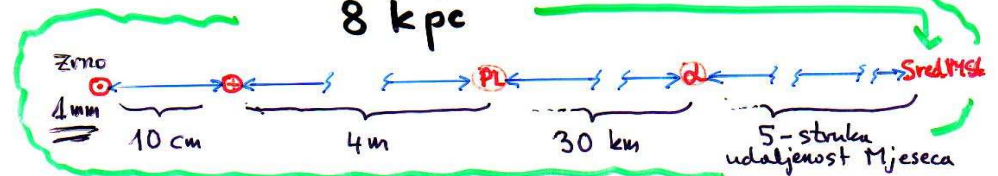
do najbližih / najsjajnijih zvijezda

α Centauri	4.3 ly	Sirius	23 L_{\odot} (86 ly)
Barnardova	6.0 ly	Canopus	$1.5 \cdot 10^3 L_{\odot}$ (98 ly)
359 Vuk	7.6 ly	δ Centauri	$1.5 L_{\odot}$ (43 ly)
21185 Lalande	8.1 ly	Arktur	114 L_{\odot} (36 ly)
Sirius	8.6 ly	Vega	54 L_{\odot} (26 ly)

parsek, $1 \text{ pc} = 3.26 \text{ ly} = 3.09 \cdot 10^{16} \text{ m}$

do središta Mliječne staze

8 kpc





■ raspršenih u prazninu na slijedećoj ljestvici

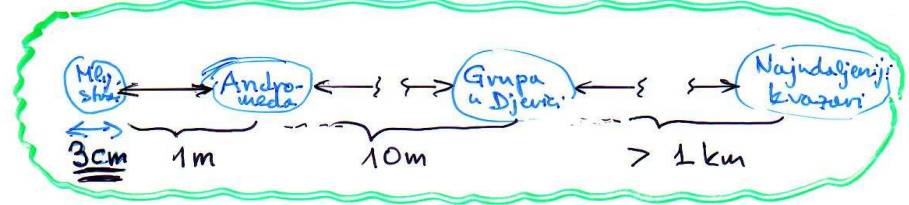
Mliječna staza u lokalnoj galaktičkoj grupi

30 galaktika dimenzija 1 Mpc

- Andromedina galaktika udaljena 0.7 Mpc (≈ 2 milijuna ly)
 (M31) radijusa 25 kpc
 s $4 \cdot 10^{11} M_{\odot}$ (dvostruko masivnija od naše)
 i njeni sateliti:
 M32 (najveća eliptička u grupi / puno manja)
 M33 (jedina preostala spiralna u grupi / 1/10 mase Mliječne staze)
- Veliki i Mali Magellanov oblak (nepravilni)
 ud. → 170 km/s → 280 km/s
- 7 minijaturnih sferoidalnih → unutar 100 kpc
 (Fornax, najmasivnija među njima sa samo $2 \cdot 10^8 M_{\odot}$)

Grupa u Djevici → 1200 km/s

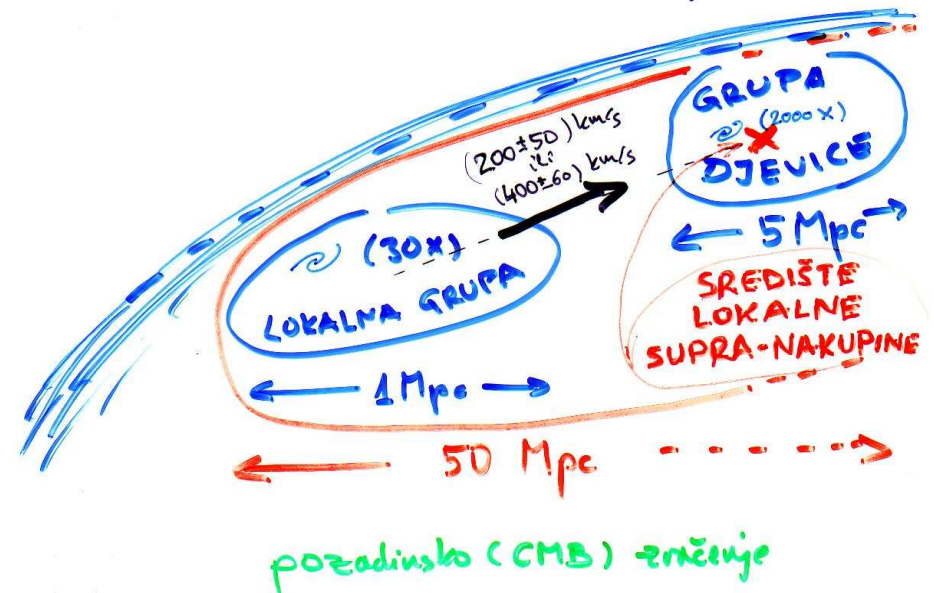
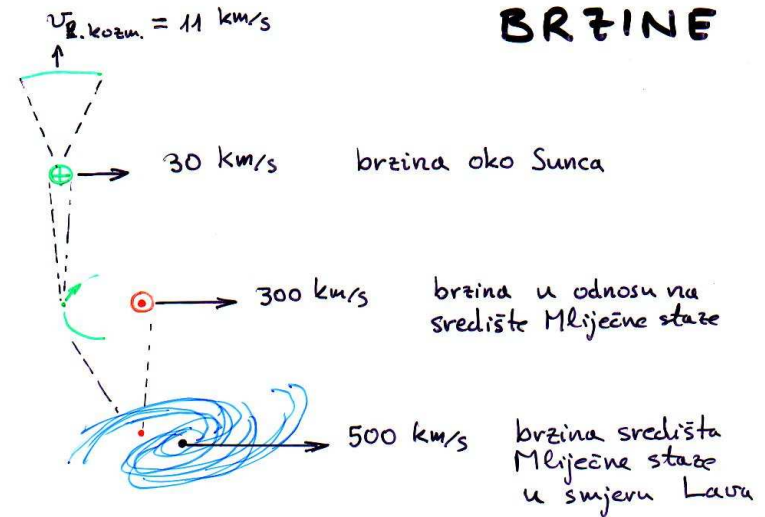
s preko 2000 galaktika, dia. 5 Mpc
 blizu je središta lokalnog superskupa, dia. 50 Mpc



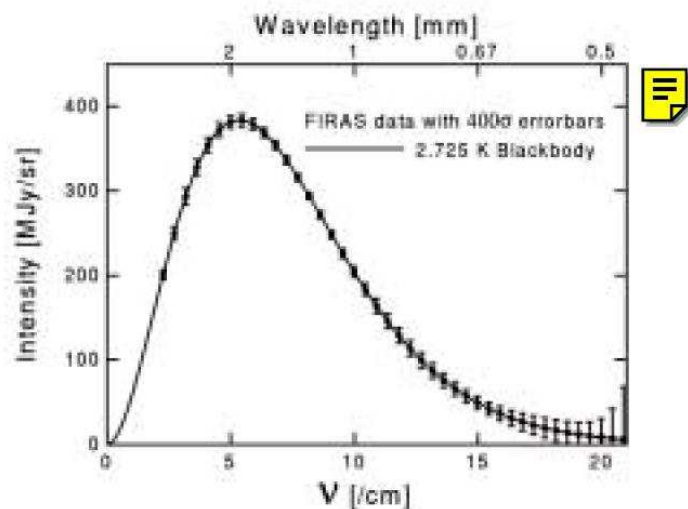
Relativna gibanja

- mala Zemaljska jedinica udaljenosti (1m)
- velika Zemaljska jedinica vremena (sekunda = 300 000 km)
- **Dz. 1.1: Kozmičke brzine**

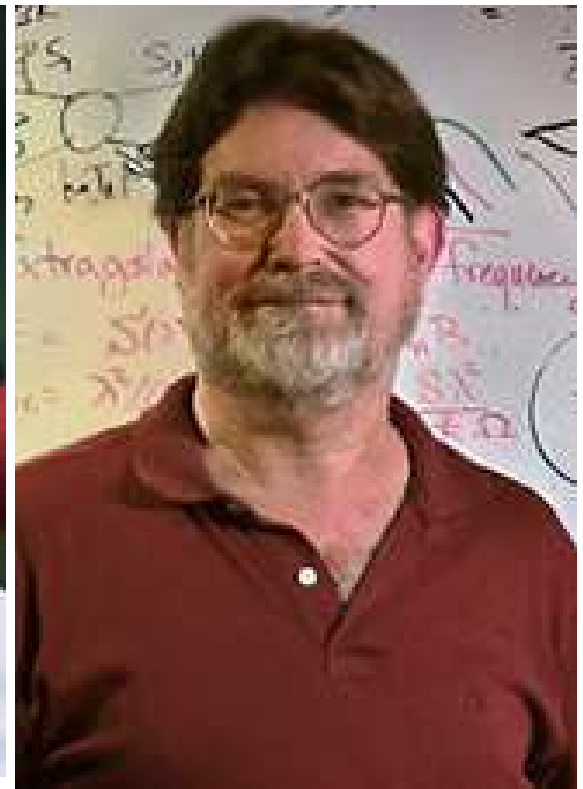
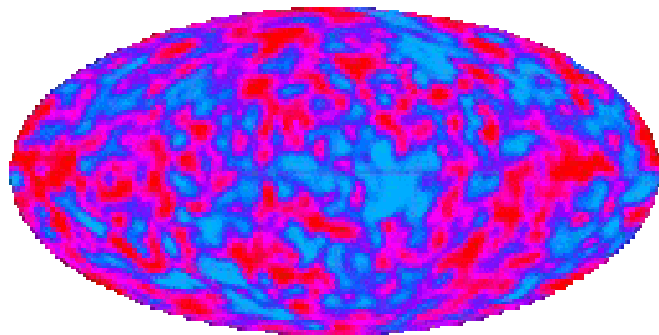
KARAKTERISTIČNE BRZINE



Nobelova nagrada iz fizike za 2006: "for their discovery of the blackbody form and anisotropy of the cosmic microwave background radiation" - John C. Mather & George F. Smoot



FIRAS spectrum (frequency vs. intensity) with errors expanded 400 times



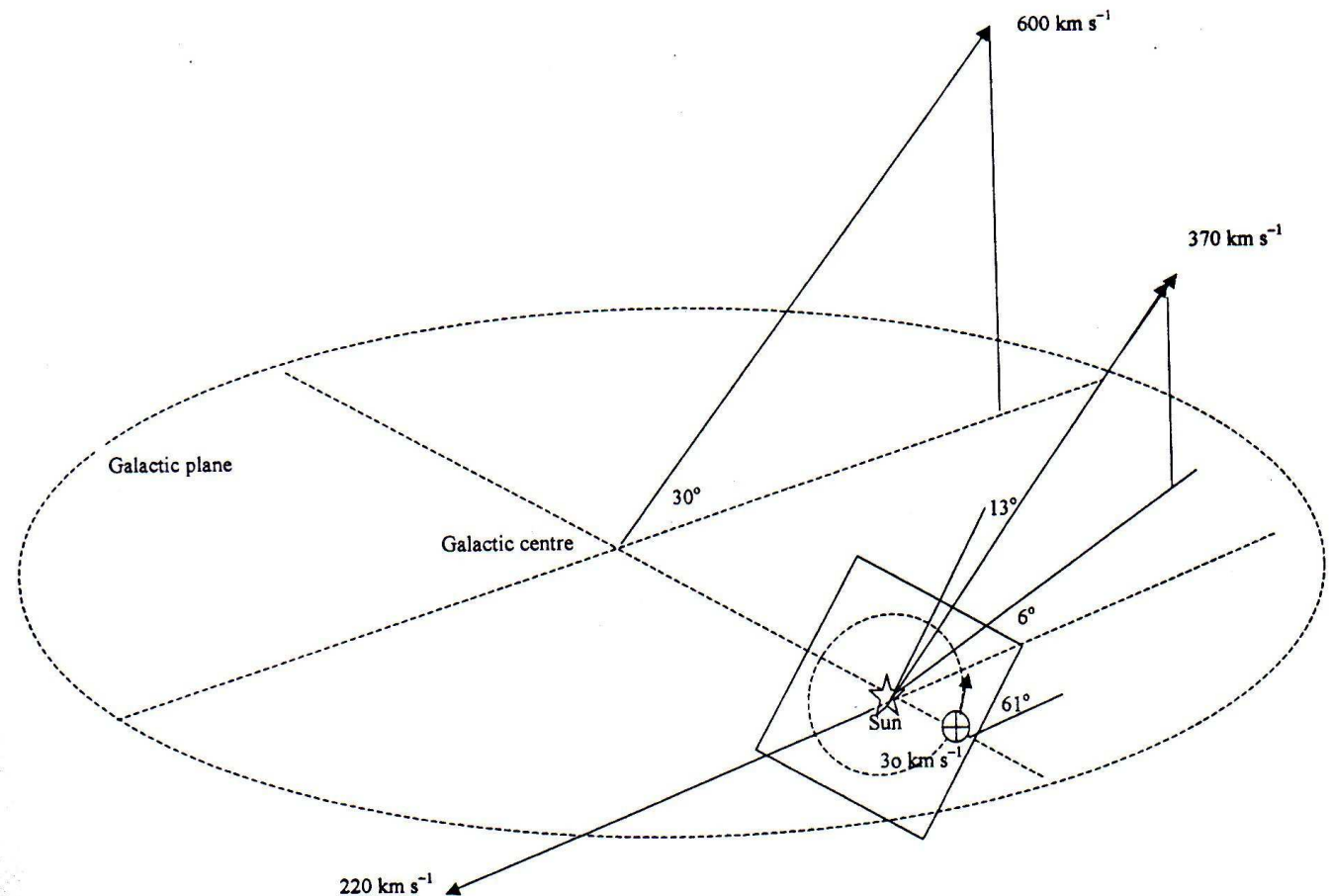
Istaknuti (preferirani sustav)

u relativnom mirovanju prema sustavu
Velikog praska;

brzina solarnog sustava $371(1) \text{ km/s}$ u smjeru:

$$l=264.14(30)$$

$$b=48.26(30)$$



Svemirski opažać želi biti istraživač

- Uvođenje
kozmoškog načela
"dat će mu krila"

KOZMOLOŠKO NAČELO

(KOVANICA EDWARD-a MILNE-a iz 1933)

RAVNOPRAVNOST MJESTA U SVEMIRU

("all places in the universe are alike", Einstein 1931)

◇ HOMOGENOST svemira

mogao bi utvrditi POKRETNI
KOZMIČKI ISTRAŽIVAČ ("explorer")

◇ Običan LOKALIZIRANI OPAŽAČ utvrđuje samo ravnopravnost smjerova tj. IZOTROPNOST svemira oko njegove lokacije =>

- i) u nehomogenom svemiru opažaćevu
SPECIJALNU LOKACIJU (a takva je
u velikom svemiru za nas krajnje
nevjerojatna !)

usp. Aristarh-Kopernikovo načelo
"nismo u središtu svemira"
(pretp. da središte negdje postoji !)

- ii) Homogeni svemir koji je izotropan
na jednom mjestu, mora biti izotropan
posvuda ! (=> ~~ne~~ središte !)

Zahtijevanje homogenosti na temelju
izotropnosti sadržaj je kozmoškog načela !

- s ovim bi ipak mogli pretjerati

SAVRŠENO KOZMOLOŠKO NAČELO

H. Bondi & T. Gold, 1948

homogenost u prostoru i VREMENU

znači svemir u stacionarnom stanju ("steady state")
"stalne pojavnosti"

Primjeri:

- STACIONARNI EKSPANDIRAJUĆI SVEMIR, konstantne ekspanzije isključeni opažanja: broj radio-izvora i kvazara je bio veći u prošlosti
- NEWTONOV (iz 18. st.) je stacionaran i STATIČAN (nema ni ekspanzije ni kontrakcije)

ŠTO će opažati kozmički ISTRAŽIVAČ budućnosti?

Na svakom ponovljenom "trenutačnom" proputovanju, sve nalazi ostajelim / evoluiranim. Za svemir koji ostaje homogenim, evolucija se posvuda događa na isti način - ZAKONI PRIRODE (za svakog zasebnog putovanja) su posvuda isti!



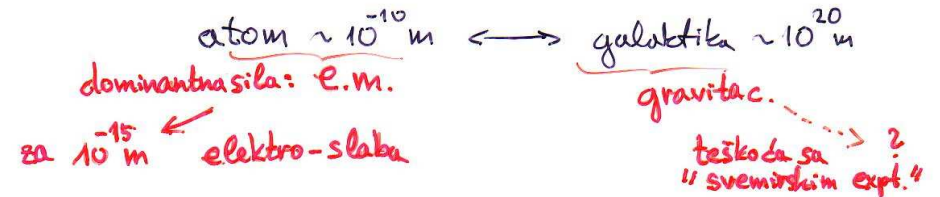
Primjer kozmogoničkog niza

- ◊ inačica :
- SAVRŠENO KOZMOLOŠKO NAČELO
+ homogenost u vremenu

◊ pitanja sadržaja : ruba svemira :

○ KOZMOGONIJA

proučavanje porijekla
astronomskih struktura



○ KOZMOGENIJA

istraživanje porijekla svemira
kao cjeline

nepoznati r.u. \longleftrightarrow dostupni zakoni

kompleksnost implicitna
u jednostavnom poč. st. ("Kozmogenička Ockamova britva")

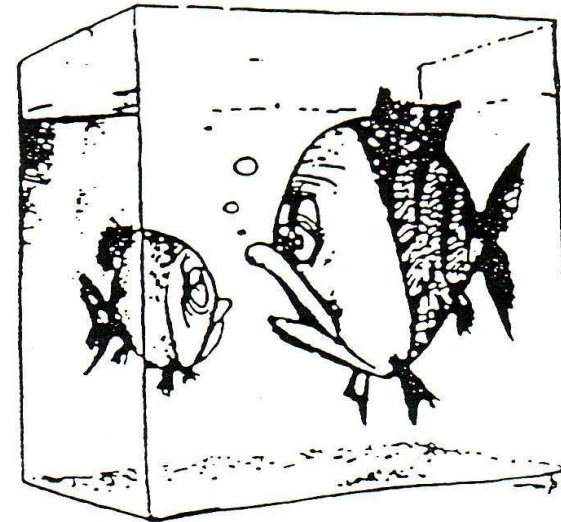
- ANTROPIČKO \longleftrightarrow TEISTIČKO NAČELO
pitanje fino podešenog svemira



- "kozmoško načelo"
neke druge
civilizacije

KOZMOŠKO NAČELO

Kćeri moja, Svemir
ti je veliki spremnik,
pun vode



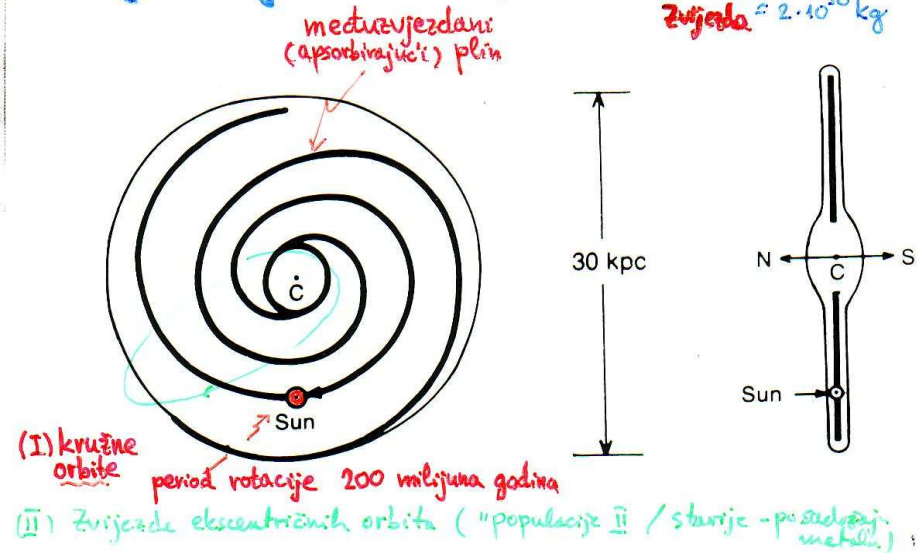


Mliječna staza kao jedna od 100 milijardi galaktika

Vježba 1.2: Procjena količine helija stvorenog zvijezdama naše galaktike

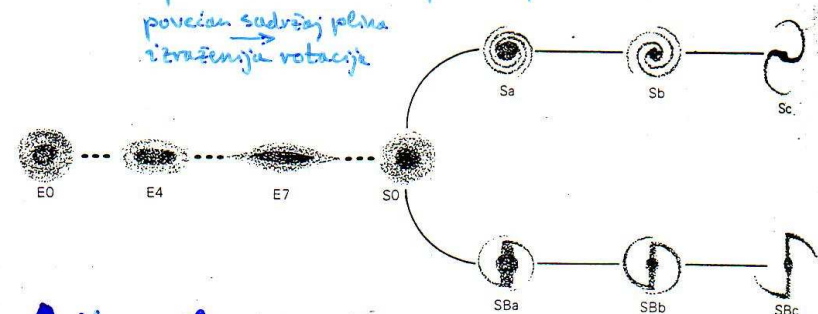
GALAKTIČKI ORIJENTIRI

◊ Mliječna staza, masa $\approx 1.4 \cdot 10^{11} M_{\odot}$
Zvijezda $\approx 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$



◊ Hubble-ova "glasbena viljuška"

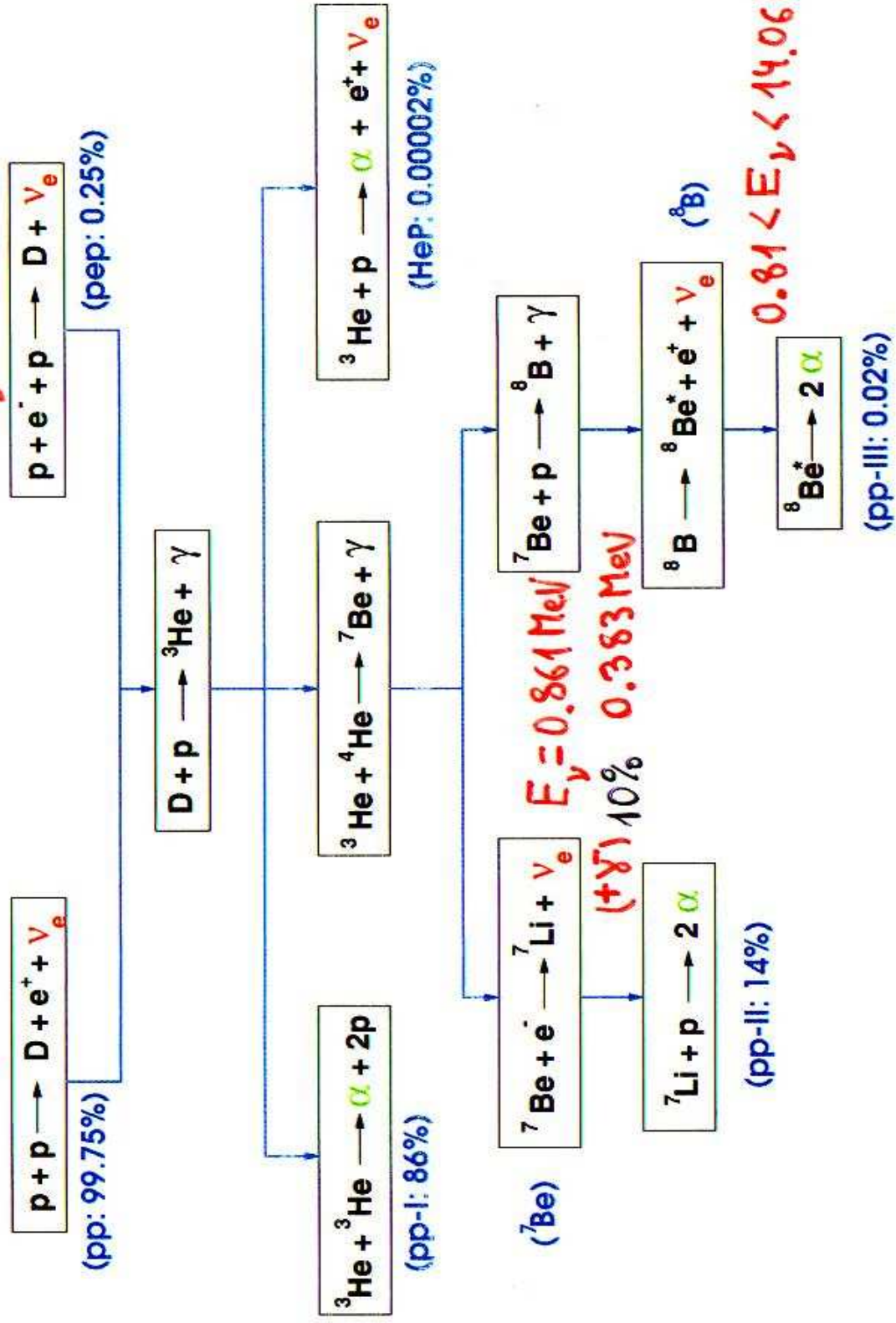
• Za pravilne galaktike od eliptičkih (E) → prema spiralnim (S):



◊ Nepravilno (Seyfertove, N-galaktika, radioizirani, kvazari)

$0 < E_\nu < 0.42 \text{ MeV}$

$E_\nu = 1.44 \text{ MeV}$





- Uz pp-lance nukleosinteze u zvijezdama

Vježba 1.3: Ideja prvotne nukleosinteze



RAZUMIJEVANJE PRVOTNE NUKLEOSINTEZE

- Rješava problem “toplinske smrti” (19. st), jer se termička ravnoteža dogodila u prošlosti
- nukleosinteza staje na lakim elementima, čime je u svemiru uskladištena energija za kasniju fuziju u zvijezdama

**UKUPNO, POTVRDA VRUĆEG VELIKOG
PRASKA**

Svemir sadrži i tamnu tvar i energiju

NEBARIONSKA T.T.

moraju peterostruko premašivati barionsku
(opuš. lakih elemenata $\Rightarrow \Omega_B h^2 \lesssim 0.02$)

pri čemu formiranje struktura na velikim skalama zahtijeva

HLADNU T.T. (CDM = "Cold Dark Matter")

aksoni (po neteorijskom nastanku)

WIMP - čestice ("Weakly Interacting Massive Particles")

npr. suprasimetrični partneri

VRUĆA T.T. (HDM = "Hot Dark Matter")

lakci (ali masivni) neutriini

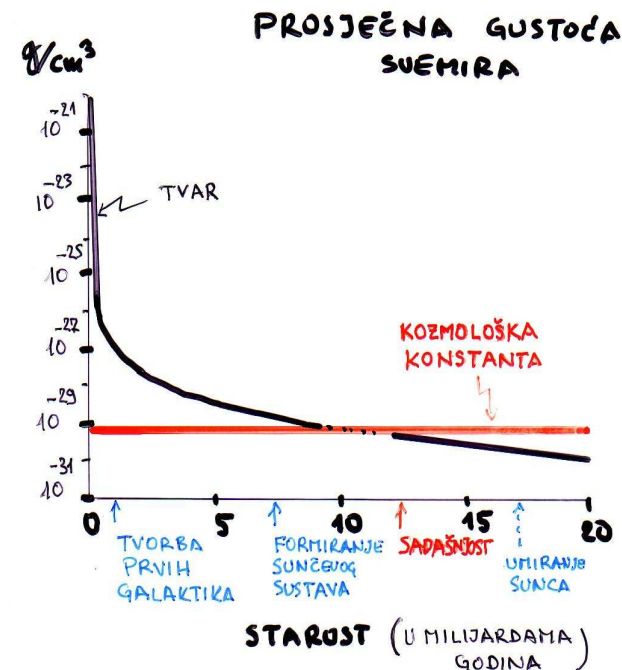
\rightarrow od 1998. naznake iz atmosferskih ν -oscilacija na Super-Kamiokande!

(ipak, $m_\nu \sim 0.1 \text{ eV}$ daje doprinos ukupnoj masi svemira tek usporediv onom od vidljivih zvijezda)

\rightarrow neutriinska fizika (SN 87A)

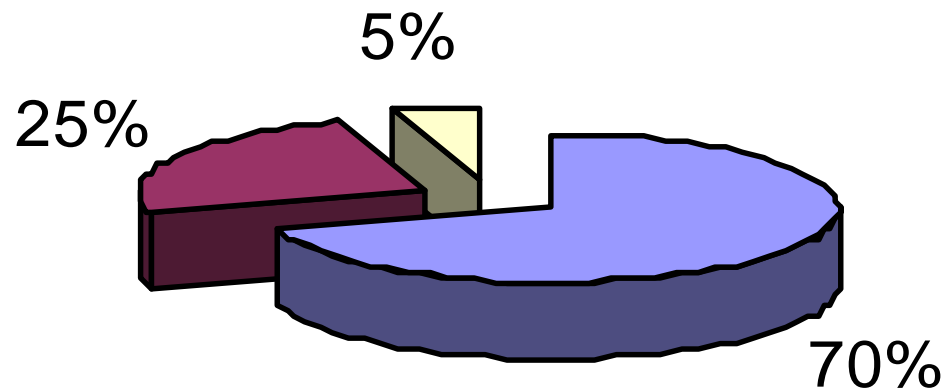
\rightarrow neutriinski teleskopi (AMANDA)

ERA KOZMIČKE KOINCIDENCIJE





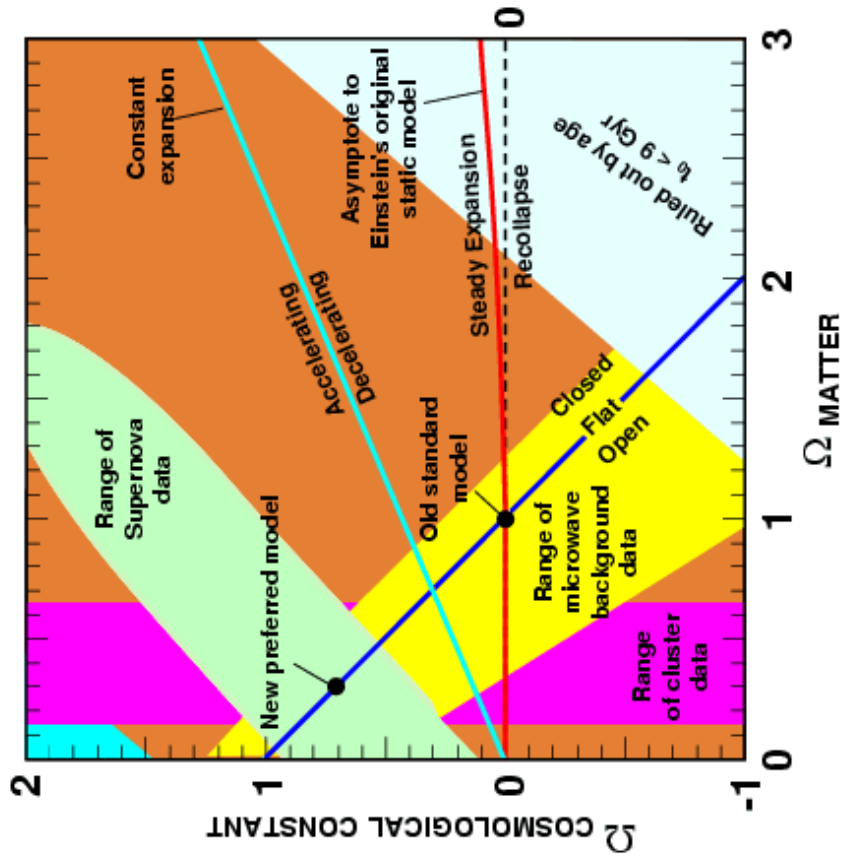
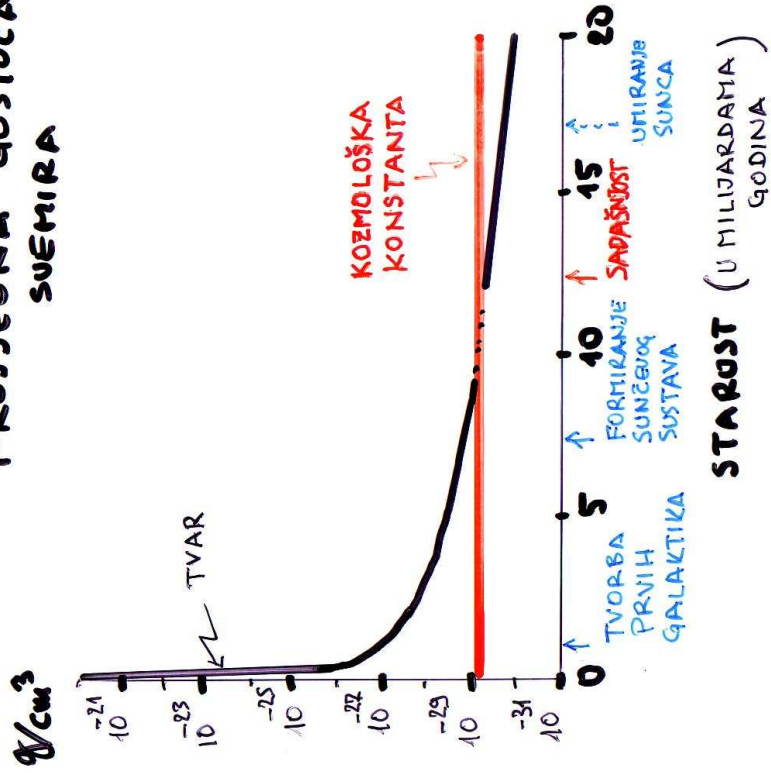
SVEMIRSKI KOLAČ



■ Tamna energija ■ Tamna materija ■ Barionska tvar

ERA KOZMIČKE KOINCIDENCije

PROSJEČNA GUSTOĆA SVEMIRA





KOZMIČKA KOINCIDENCIJA – SAMO ZADNJA U SLIJEDU

- **OD ČINJENICE DA POSTOJANJE
DUGUJEMO MALOM VIŠKU ČESTICA**
- **PREKO FIZIKALNIH PARAMETARA
FINO PODEŠENIH NA VRIJEDNOSTI
KOJE ĆE OMOGUĆITI POJAVU ŽIVOTA**
- **UPUĆUJE NAS DA ŽIVIMO U JEDNOM
OD MNOŠTVA SVEMIRA
("MULTIVERSE")**