

Bi(g) bang

OD VELIKOG PRASKA DO NOBELOVE NAGRADE ZA 2019. GODINU

13,8 milijardi godina posle velikog praska

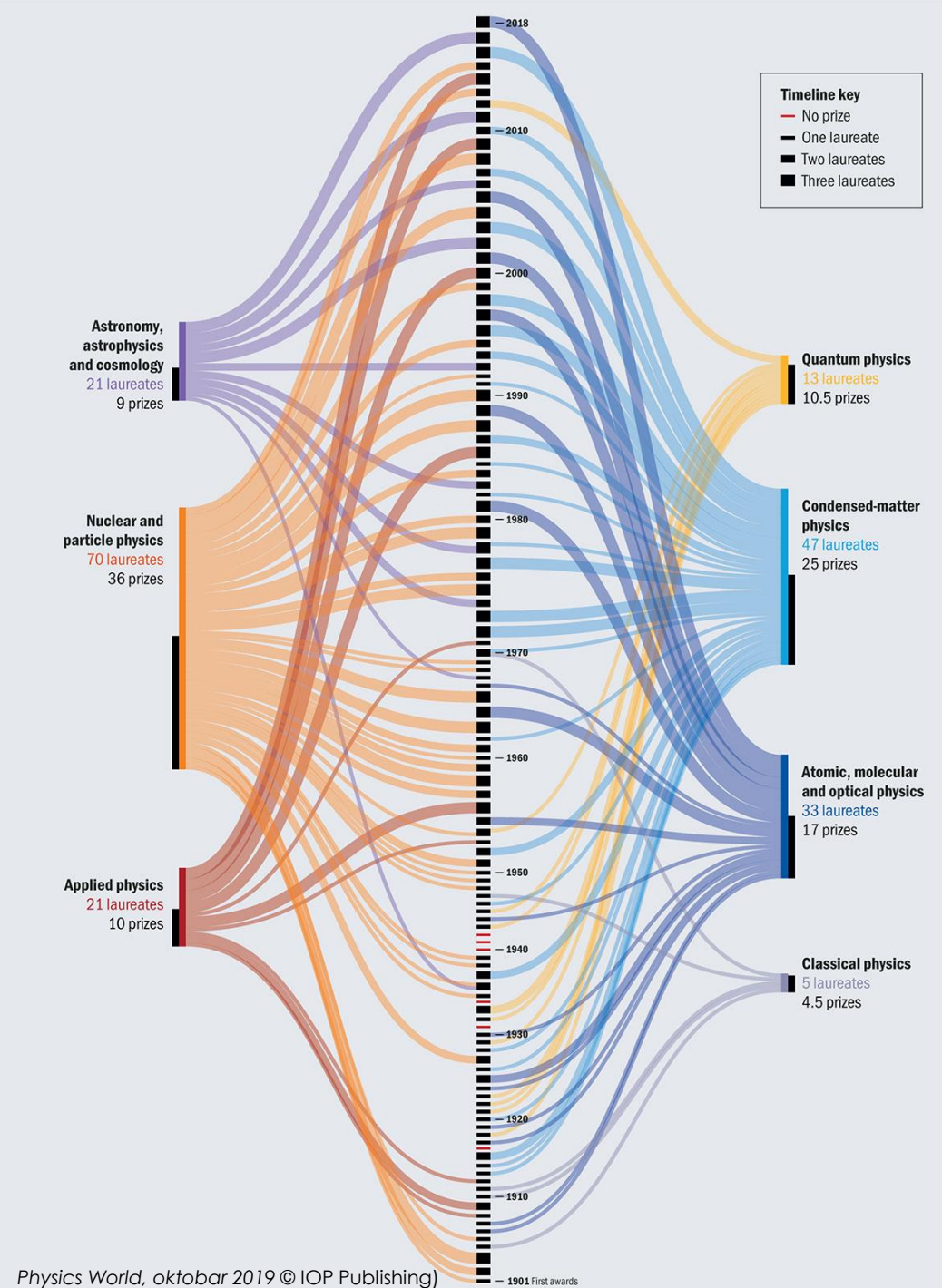
Nobelova nagrada za fiziku

- Najprestižnija nagrada u fizici
- Maksimum 3 laurata, za dva različita rada
- Dug i rigorozan proces selekcije
- Nobelov komitet (5 članova koje imenuje Švedska kraljevska akademija)
 - Početak – septembar, komitet poziva 3000 ljudi (profesori, prethodni dobitnici itd) nominuju kandidate. Prikupljaju 31. januara.
 - Eksperti selektuju 15 imena
 - Nobelov komitet bira dobitnike većinom glasova
- Nominacije se ne objavljuju, sve se čuva tajno narednih 50 godina
- Otkrića mora da „testira vreme“, vreme od otkrića do dodele oko 20 godina



Nobelova nagrada za fiziku

- 2018 „za revolucionarna otkrića u oblasti fizike lasera“
- 2017 „odlučujući doprinos LIGO detektoru i uspešnu detekciju gravitacionih talasa“
- 2016 „teoretska otkrića topološke faze tranzicije i topoloških faza materije“
- 2015 „otkriće oscilacije neutrina i dokaz da ove čestice imaju masu“
- 2014 „dioda koja emituje plavu svetlost“
- 2013 „za teorijsko otkriće mehanizma koji daje značajan doprinos razumevanju porekla mase subatomske čestice.“



Nobelova nagrada za fiziku 2019

Nobel Prize in Physics



James Peebles (CAN/USA, right), **Michel Mayor** (SUI, centre), and **Didier Queloz** (SUI, left) share the Nobel Prize for their work on the evolution of the Universe and the discovery of a distant planet

112 Nobel Prizes in Physics awarded from 1901 to 2018

1 double winner, **John Bardeen**, awarded prize in 1956 and 1972



25 Age of youngest laureate, **Lawrence Bragg**, awarded prize in 1915



3 Women awarded prize, including **Marie Curie** in 1903

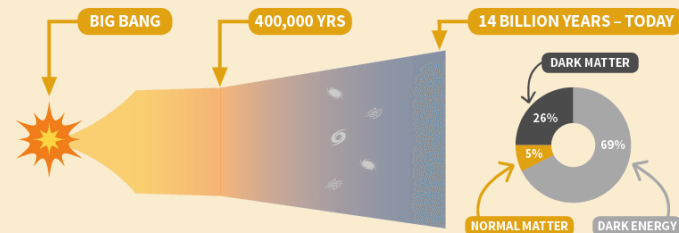


Pictures: AP, Nobel Foundation, Newscom, Getty Images Source: Nobelprize.org © GRAPHIC NEWS

2019 NOBEL PRIZE IN PHYSICS



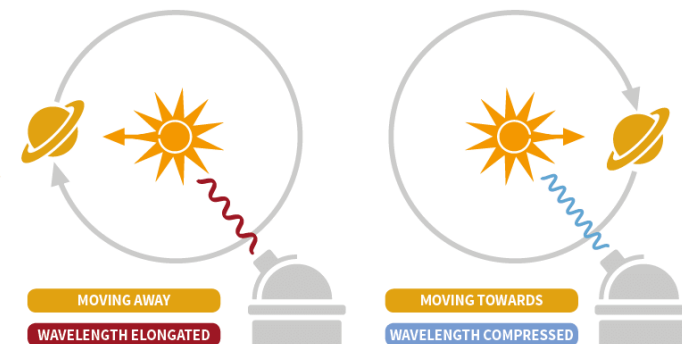
The Nobel Prize in Physics 2019 was awarded to **James Peebles** for theoretical discoveries in physical cosmology and to **Michel Mayor & Didier Queloz** for discovering an exoplanet orbiting a solar-type star.



James Peebles developed a theoretical framework which forms the foundation of our understanding of the universe's history. He predicted the existence of cosmic background radiation and theorised that dark matter and dark energy make up 95% of the mass of the universe.

Michel Mayor & Didier Queloz discovered the first exoplanet orbiting a sun-like star. They discovered a Jupiter-sized planet by observing light from the star it was orbiting.

As the planet orbits the star, the star wobbles due to the planet's gravitational pull. This wobbling slightly alters the wavelength of the star's light, meaning it shifts in colour. By measuring the changes in wavelength, an estimate of the orbiting planet's minimum mass can be made.



WHY DOES THIS RESEARCH MATTER?

Peebles' work has helped us understand the evolution of the universe. The discovery of thousands more exoplanets have followed Mayor and Queloz's work, and it is possible that some of these may harbour life.

Nobel Prize in Physics press release: <https://www.nobelprize.org/uploads/2019/10/press-physics2019.pdf>



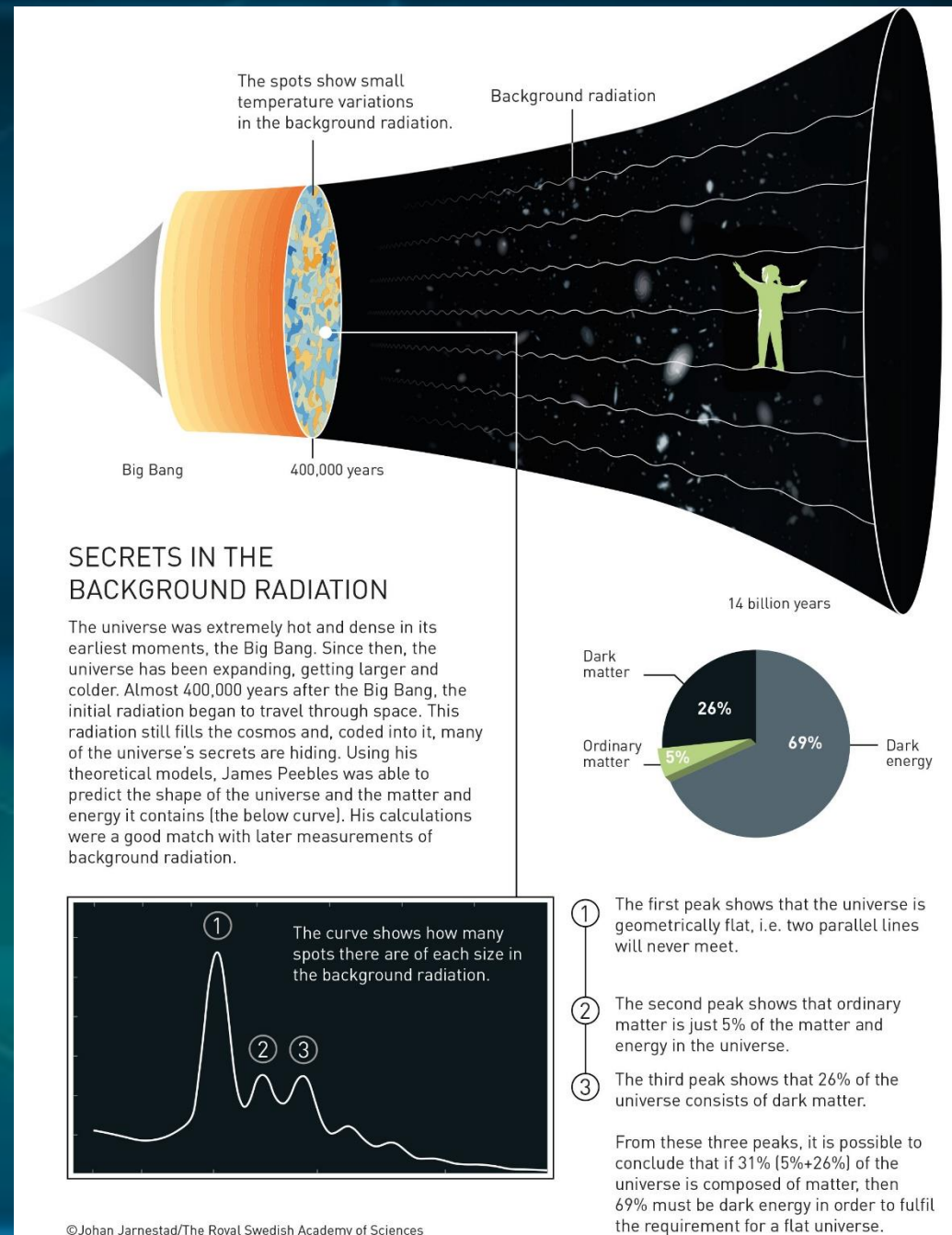
© 2019 Compound Interest/Andy Brunning - compoundchem.com | @compoundchem
Shared under a CC Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 licence

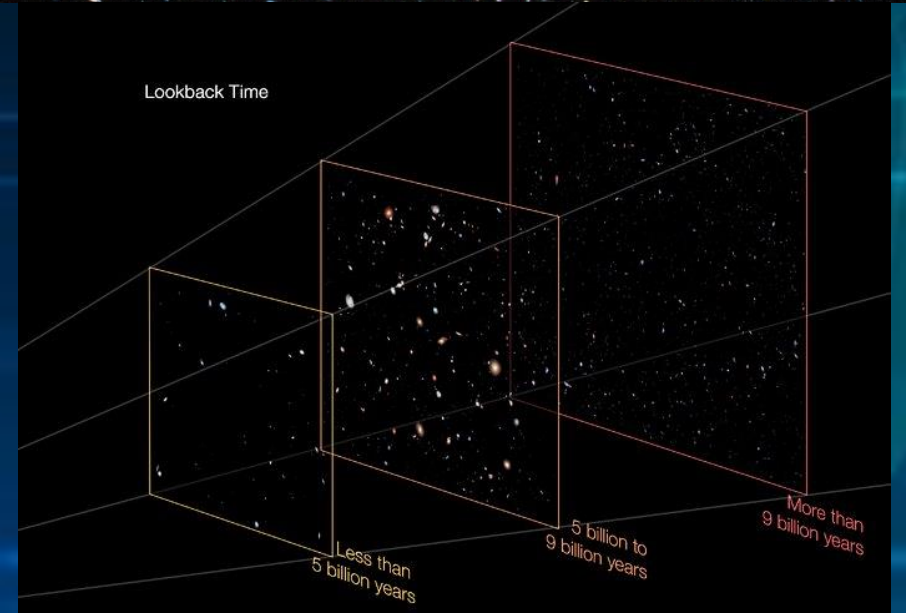
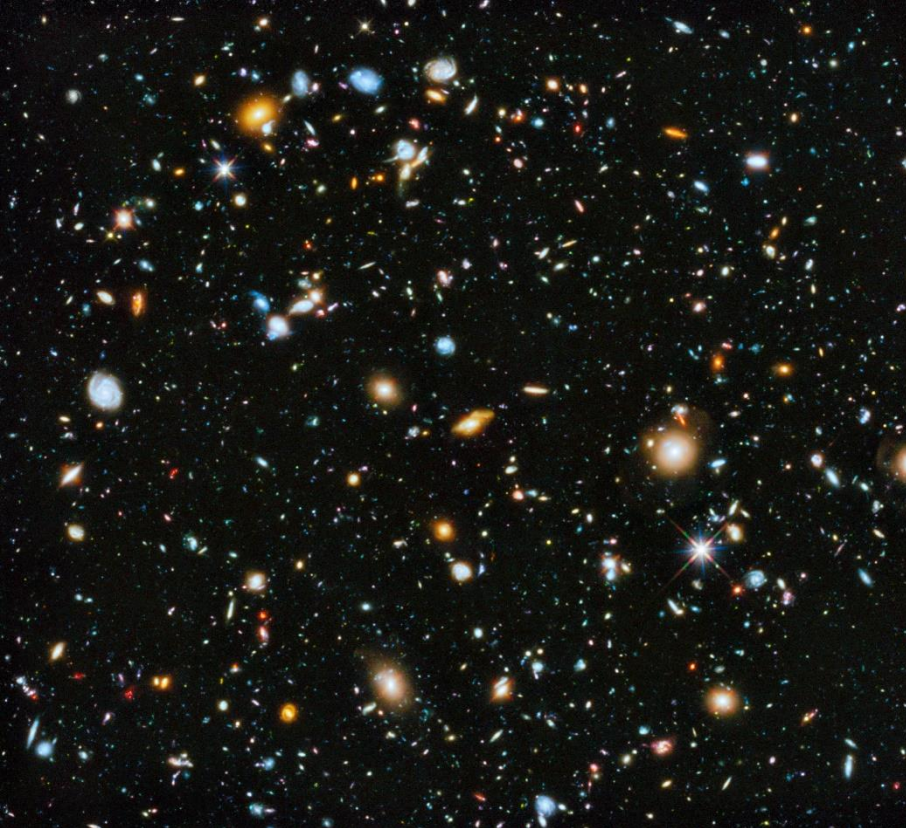


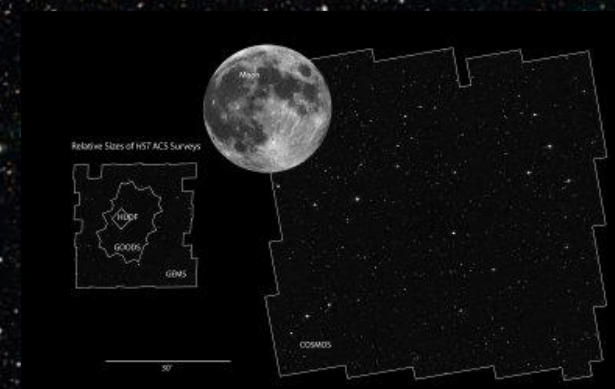
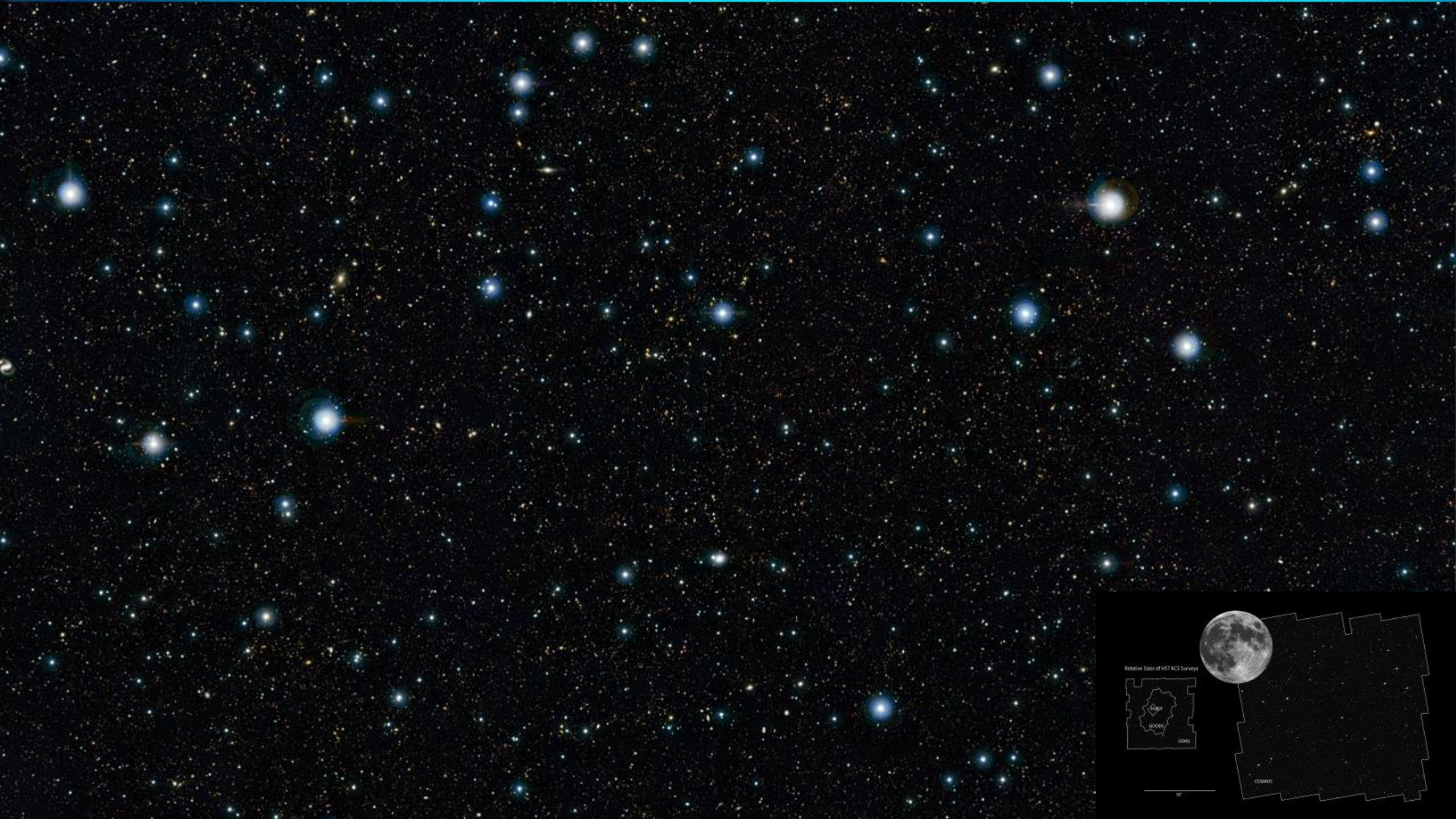
Najvažniji teorijski doprinos

• „za teorijska otkrića u fizičkoj kosmologiji”

1. Sinteza helijuma u toplom, ranom svemiru
2. Mikrotalasno pozadinsko zračenje (CMB)
3. Zrnasta struktura ranog svemira
4. Uloga tamne materije
5. Potreba za kosmološkom konstantom









Šta je svemir?

- Svemir, kosmos, vasiona, univerzum
- Prostor, vreme (tj. prostor-vreme) i „sve što se tu nalazi“
 - Planete, sateliti, zvezde, galaksije
 - Međugalaktički prostor
 - Sva materija i energija
- **Misija Plank** (februar 2015)
 - Materija (Ω_m): $31,5 \pm 0,13\%$
 - Obična materija (Ω_b): $4,82 \pm 0,05\%$
 - Tamna materija $25,8 \pm 0,4\%$
 - Tamna energija (Ω_Λ): $68,5 \pm 0,13\%$
 - Starost (t_0): $13,819 Gy$



The Cosmic Calendar

The 13.8 billion year history of the universe scaled down to a single year, where the Big Bang is January 1st at midnight, and right now is midnight 1 year later

January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
<p>Known from telescopes looking back in time, physical models</p> 					<p>Known from geologic record, fossils, genetic drift</p> 						
The Big Bang, Stars First Appear				Thin Disk of the Milky Way				The Solar System, Life	Oxygen from Photosynthesis	Eukaryotic Cells	Multicellular Life

The Month of December...

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
15 Trace Fossils Only		16		17 Bones and Shells		18 Vertebrates		19 Land Plants		20 Fish with Jaws		21 Insects	
22 Amphibians		23 Reptiles		24 Pangaea Forms		25 Dinosaurs		26 Mammals		27 Birds		28 Flowers	
29 Tyrannosaurids		30 Dinosaurs Extinct, Mammals Take Over on Land and in Sea		31 The Final Day...									
Dawn: Apes and Monkeys Split		8 PM: Humans and Chimpanzees Split		9:25: Humans First Walk Upright		10:30: Human Brain Size Begins Tripling		11:52: Modern Humans Evolve		11:56 to 11:59: Human Migration			

The Final Minute...

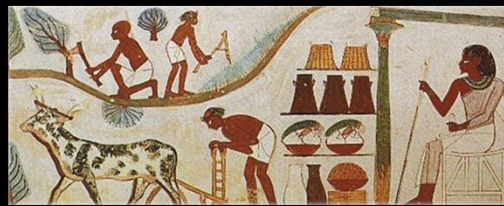
A human life only lasts for the blink of an eye on the Cosmic Calendar: $100 \text{ years} * 365 * 24 * 60 * 60 / 13,800,000,000 = 0.23 \text{ Cosmic Seconds}$

Known from artifacts, radiocarbon dating, DNA extraction from remains

Written records



End of Last Ice Age, Sea Level 400 Feet Lower Than Now



Agriculture Leads to Permanent Settlements

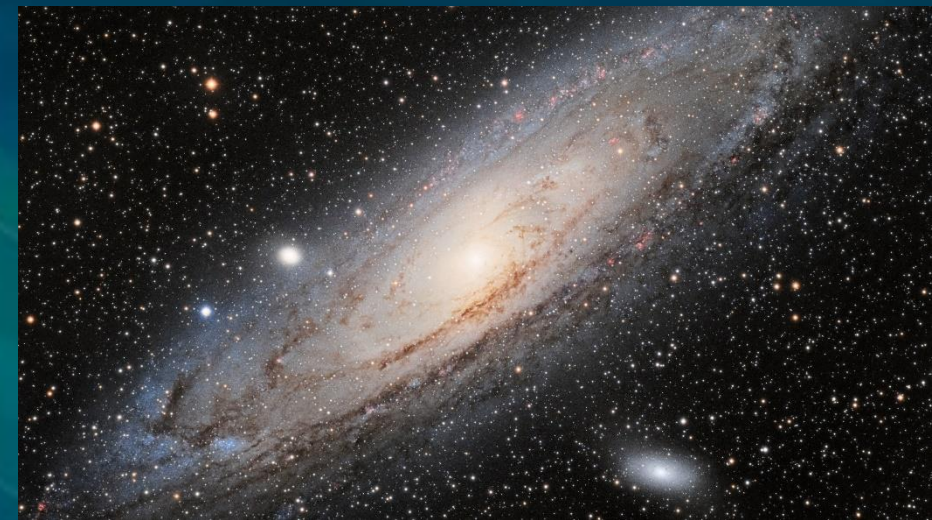
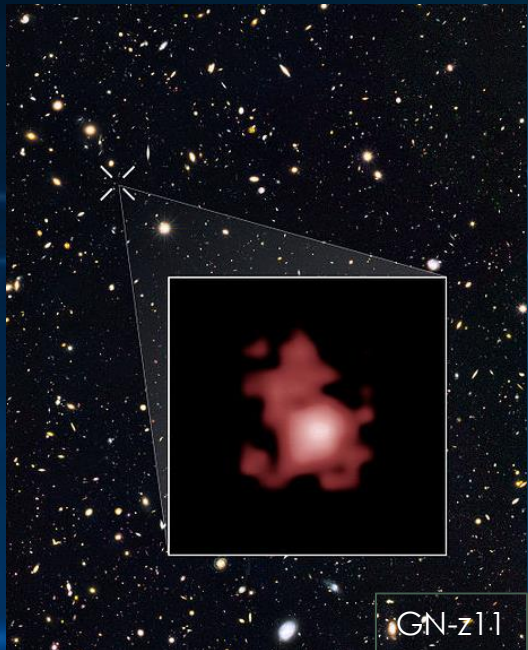
Columbus Arrives in America (1.2 Seconds Ago)

Christ Born
 Mohammed Born
 Old Testament, Buddha
 Dynastic China Begins

60 55 50 45 40 35 30 25 20 15 10 5 0

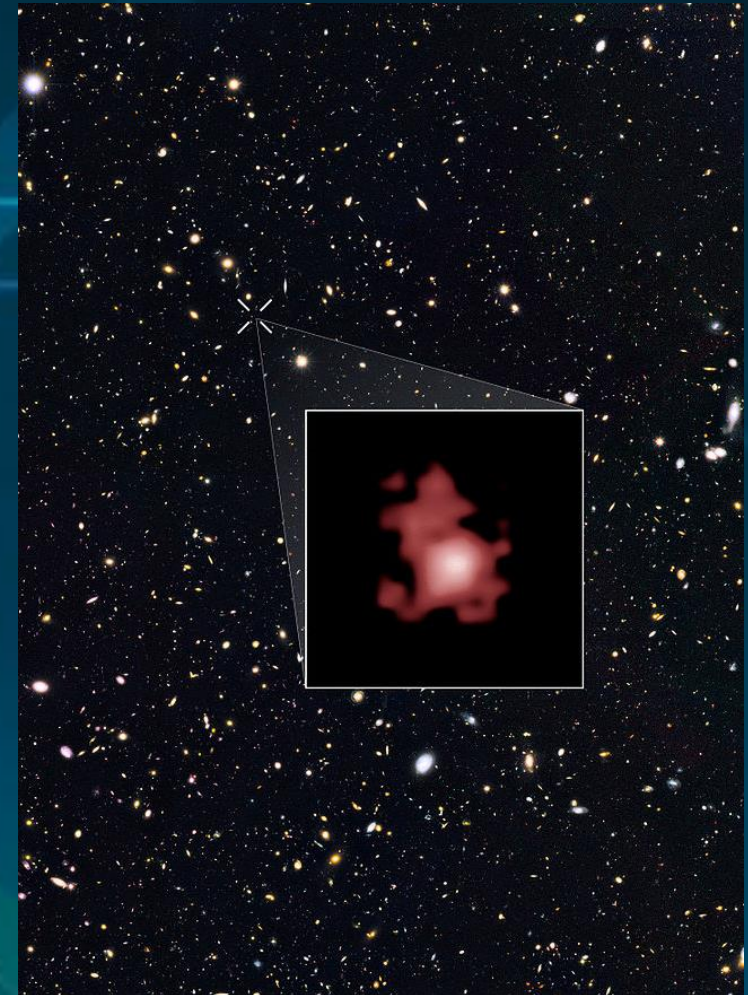
Život svemira

- Kosmologija
 - Astro(fizika) i istorija svemira
- Astronomija – pogled u prošlost



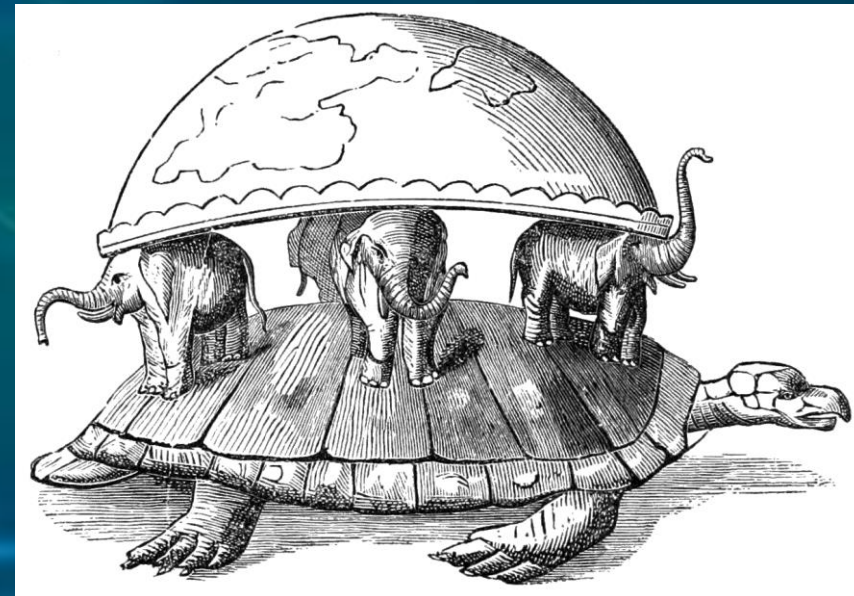
GN-z11

- Najdalja i najstarija galaksija u vidljivom svemiru
 - Sazvežđe: Veliki medved
 - Pravo rastojanje
 - 32 milijarde svetlosnih godina
 - Ovu galaksiju vidimo kako je izgledala pre 13,4 milijarde godina (400 miliona godina posle nastanka svemira)
 - Otkrivena – mart 2016, HST i Spitzer teleskop
 - Najveće rastojanje koje HST može da posmatra
 - 150 miliona godina starija od prethodnog rekordera EGSY8p7
 - „blizu kraja tzv. tamne faze svemira“ i „blizu početka perioda rejonizacije“
 - 1/25 prečnika Mlečnog puta, 1% mase, zvezde nastaju 20 puta brže; starost zvezda 40 miliona godina;
 - Toliko masivna galaksija u ranom svemiru, nakon početka nastanka zvezda - izazov za teorijske modele



Naša slika sveta

- Na jednom predavanju:
 - “Sve to što ste nam ispričali obična je besmislica. Svet je, zapravo, ravna ploča koja se nalazi na leđima džinovske kornjače.” - jedna starija žena u dnu sale
 - “A na čemu stoji kornjača?” – naučnik
 - “Veoma ste pametni mladiću, veoma pametni. Ali kornjače se pružaju sve do kraja!”



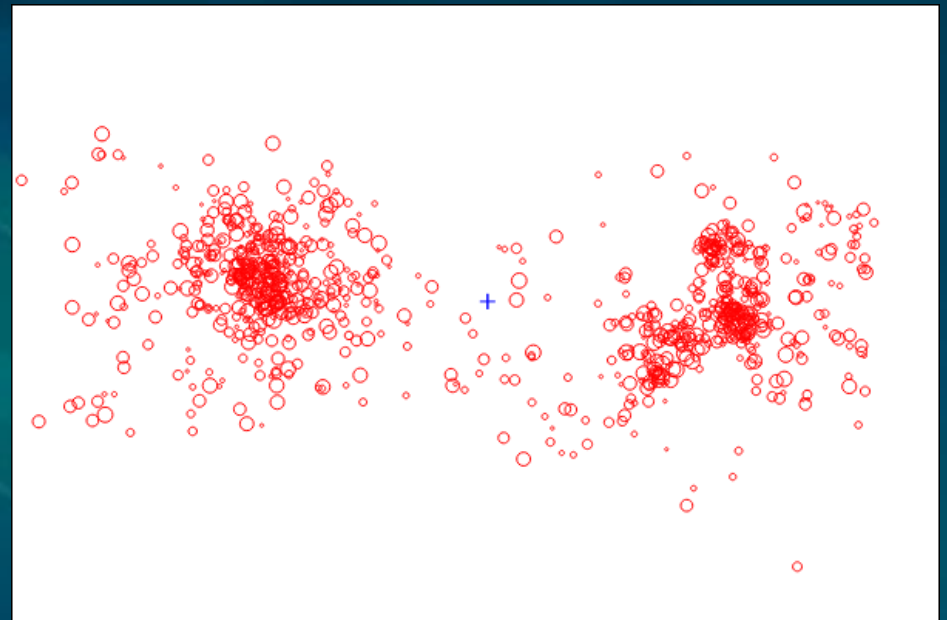
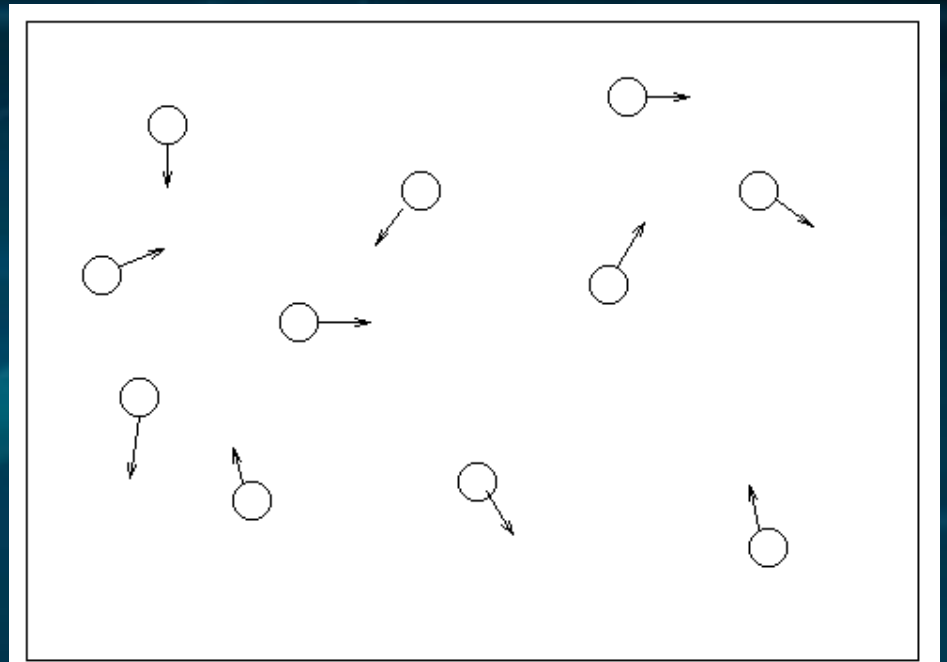
Malo istorije (civilizacije)

- **Aristotel** (384 – 322 pne) – Zemlja nije ravna ploča (pomračenje Meseca – senka; zvezda Severnjača niže na horizontu; jedra)
 - Zemlja – statična i centar svemira; ostala tela kruže oko „nas“
- Ptolomej (90 – 168 pne) – prvi „kosmološki“ model; govorio samo o tome šta se u svemiru dešava (bez nastanka, prošlosti, budućnosti)
 - 8 kristalnih sfera – svaka jedno telo, a jedna za zvezde (iza „nevidljiv“ svemir)
 - Uveo epicikle - videti predavanje o Sunčevom sistemu ☺
 - Prihvatljiv za crkvu – dovoljno prostora za raj i pakao
- Kopernik (1514) – centar Sunce, objavio anonimno
- Kepler, Galilej, Njutn...



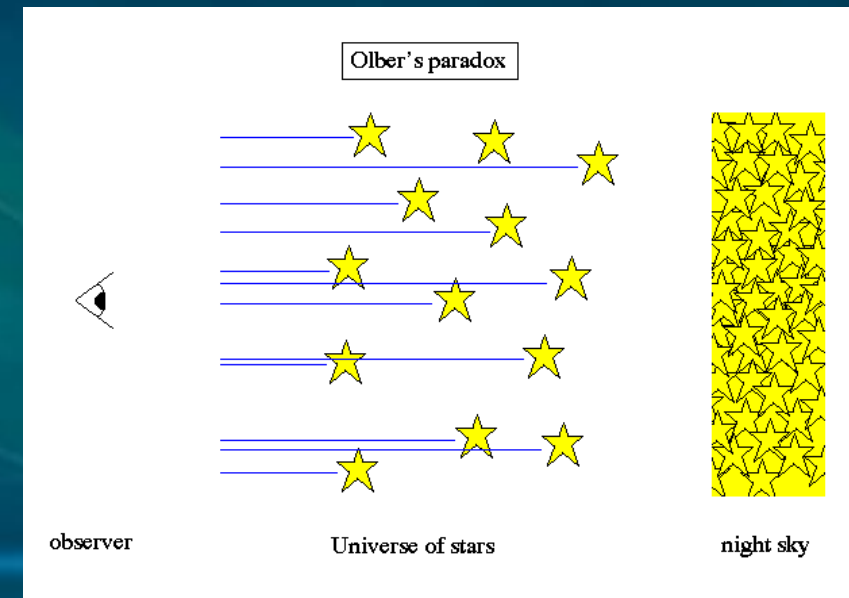
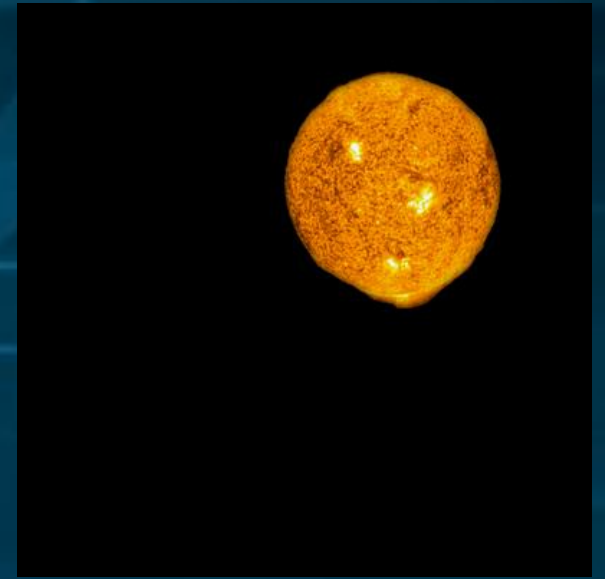
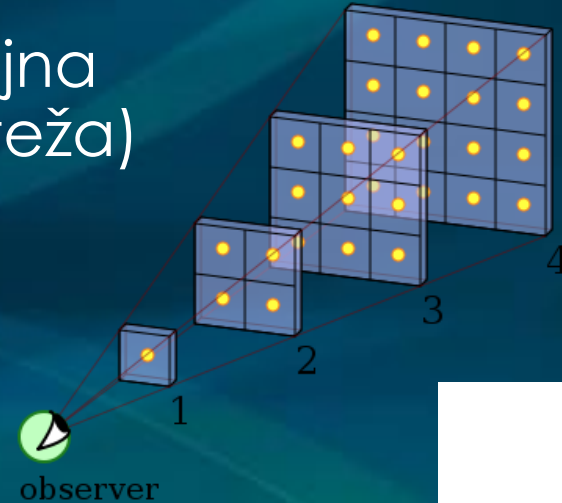
Statična vasiona?

- Zvezde – tela slična Suncu; ne kreću, statične, udaljene
- Njutn – zvezde gravitaciono privlače
 - Zar se neće „sunovratiti“ jedna ka drugoj?
 - Konačan broj zvezda – to će se dogoditi!
 - Beskonačan broj – neće se dogoditi
- Osnovna ideja (pre XX veka):
 - svemir večiti, statičan, bez promena
 - Verovanje u večite istine
 - Čovek je prolazan, ali svemir je večit



Zašto je nebo tamno?

- Prve ideje – gravitacija na velikim rastojanjima slabi ili postaje odbojna (danas znamo: nestabilna ravnoteža)
- Osnovni problem – NOĆ!
 - Olbersov paradoks
 - Henrich Wilhem Olbers (1758 – 1840)
 - Paradoks tamnog neba

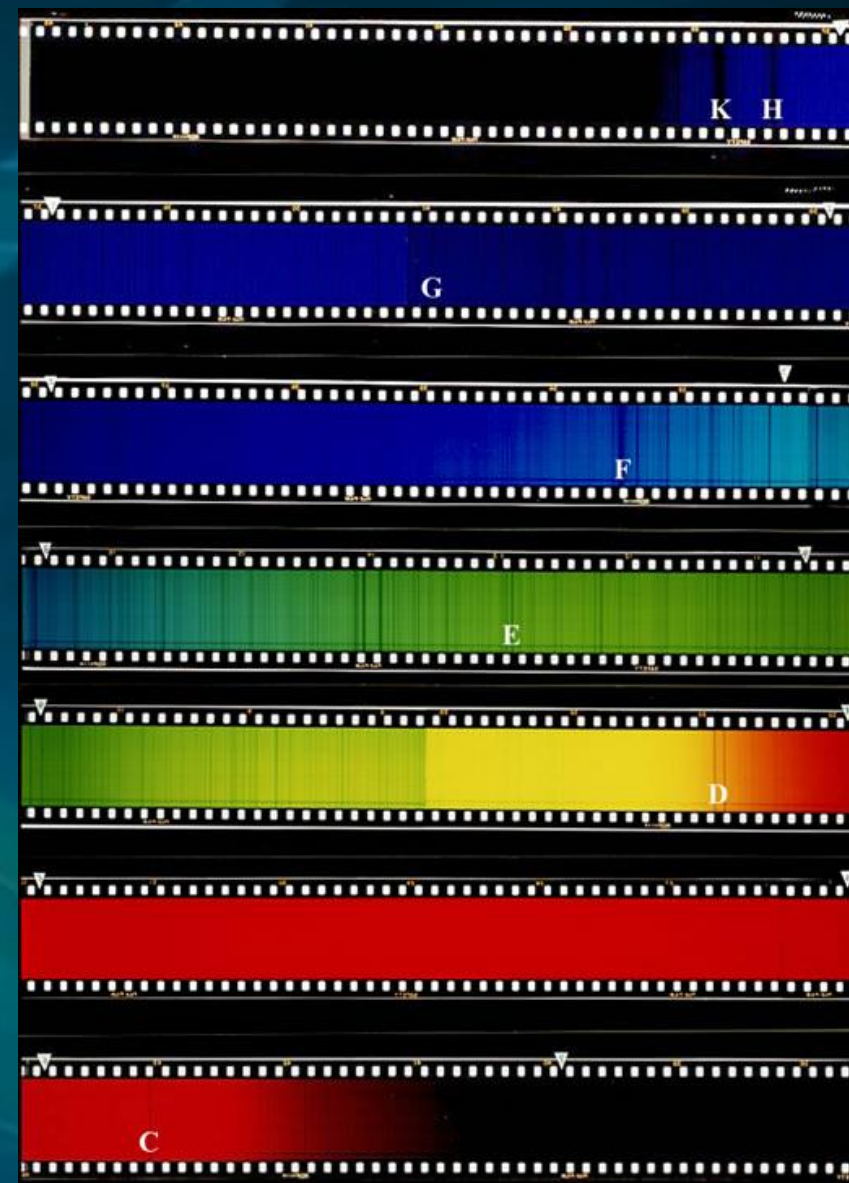
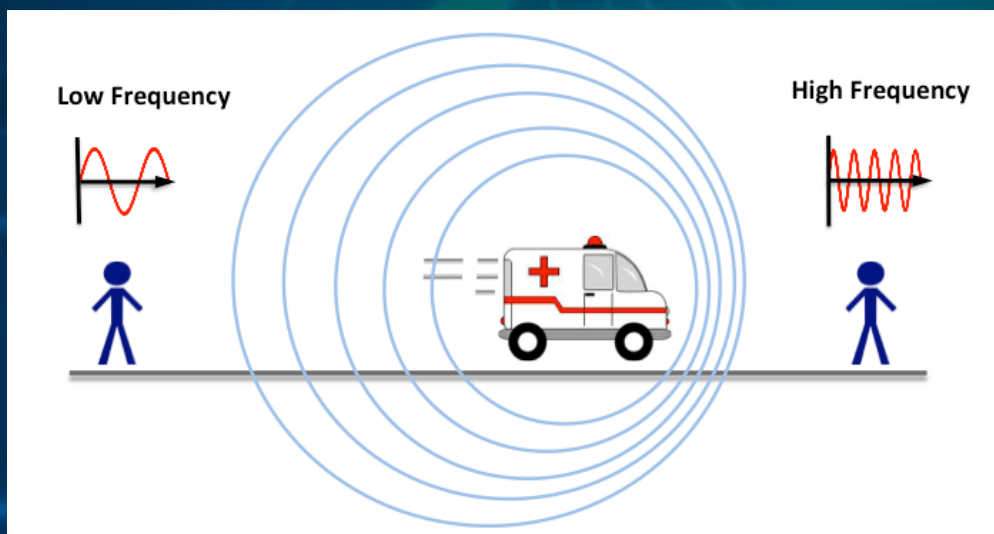


Na putu do kosmološkog modela

- „Univerzum nije čudan koliko mi to mislimo, nego je čudniji nego što možemo da zamislimo“ – J. B. Haldan, biolog
- Zvezde „nepokretene“, ali neka brza zvezda u toku godine oko milijardu kilometara
- Bernardova zvezda – udaljena oko $5,6 \cdot 10^{13} \text{ km}$, kreće brzinom oko 90 km/s (2,8 milijardi godišnje) – pravo kretanje
- Kako vidimo da se zvezde kreću?
 - Bernardova zvezda – samo 10,44 lučne sekunde godišnje

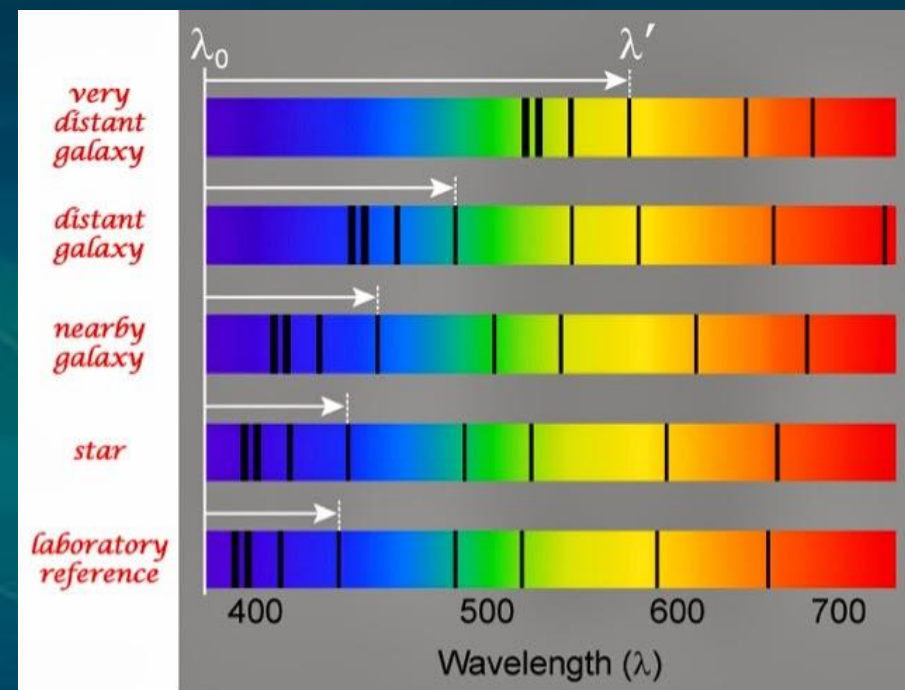
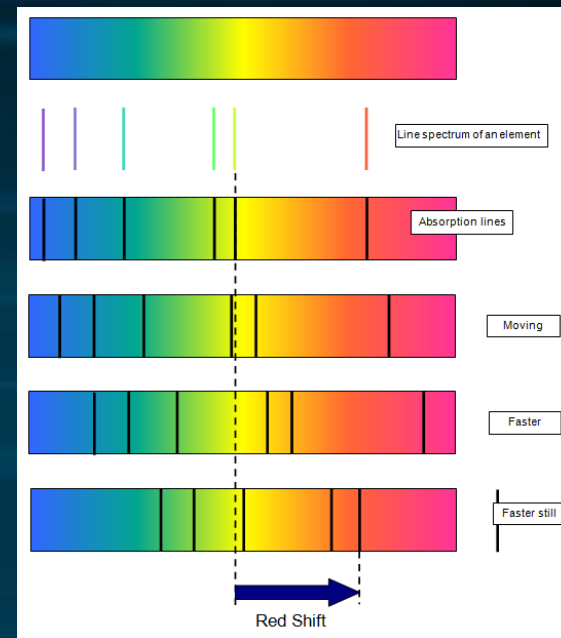
Doplerov efekt

- Johan Kristian Dopler (1842) – zvuk i svetlost
- Jozef Franhofer (1814)
- Značaj u astronomiji – 1868
 - Hajgens – utvrdio da je položaj linija u spektrima nekih zvezda pomeren



Izvan Mlečnog puta

- Tomas Rajt (1750) – prva ideja o Mlečnom putu
 - Zvezde u ravni jedne plosnate ploče, oblika tocila
 - Danas – sferni halo
- Andromeda
 - prvi zapis: Abdurhman Alsufi, persijski astronom (964)
 - „mali oblak“
- Šarl Mesije (1781)
 - Zvezdana jata, magline
 - 1/3 – „bele magline“ eliptičnog oblika – galaksije



Teorija

- Emanuel Kant (1755) – prihvatio Rajtovu teoriju za Mlečni put
 - Magline → galaksije (delo: *Opšta istorija prirode i teorija o nebu*)
 - Zbunjivale eksplozije – supernove („zvezde sjajnije od galaksije“)
- Isak Njutn (1643 – 1727) – problemi sa statičnim svemirom
- Albert Ajnštajn – opšta teorija relativnosti (1915)
 - Gravitacija → zakrivljenost prostor-vremena
 - Rešavao problem stacionarnog svemira
 - Ajnštajnovе jednačine polja

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}.$$

$$R_{\mu\nu} = \Gamma_{\mu\nu,\alpha}^{\alpha} - \Gamma_{\mu\alpha,\nu}^{\alpha} + \Gamma_{\beta\alpha}^{\alpha} \Gamma_{\mu\nu}^{\beta} - \Gamma_{\beta\nu}^{\alpha} \Gamma_{\mu\alpha}^{\beta}, \quad R \equiv g^{\mu\nu} R_{\mu\nu},$$

$$\hat{T} = \begin{pmatrix} \rho c^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p \end{pmatrix}$$

Kosmološki model

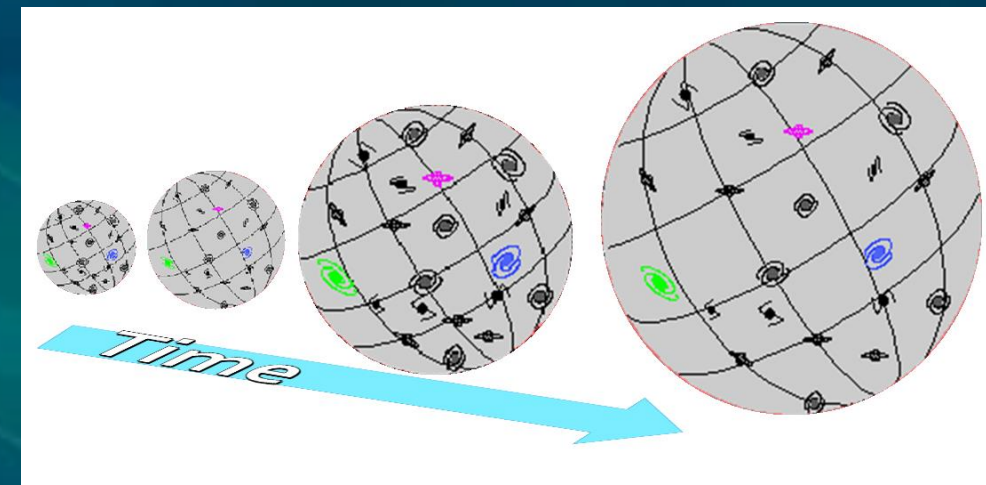
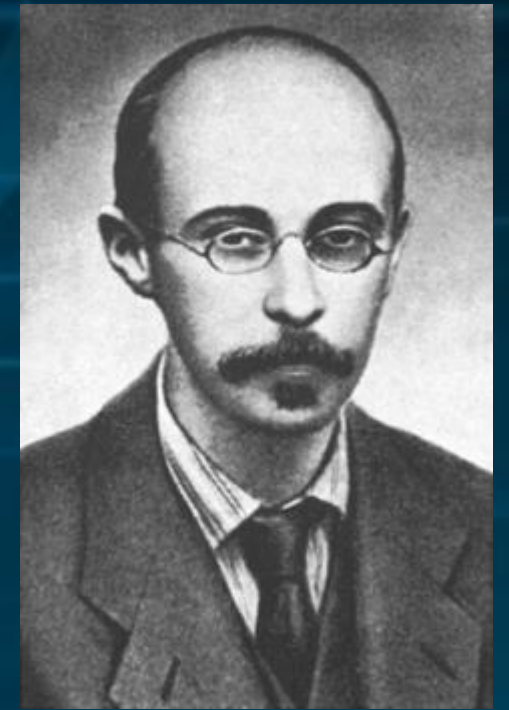
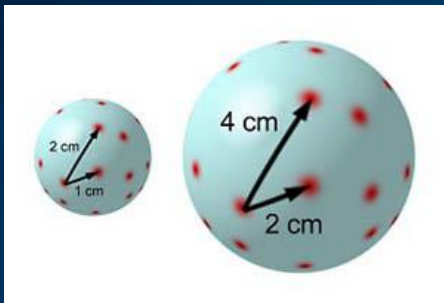
- Egzaktno rešenje Ajnštajnovih jednačina
- Fridman-Lemetr-Robertson-Vokerova metrika

$$ds^2 = c^2 dt^2 - a^2(t) \left[\frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2) \right],$$

- Opisuje homeogeni, izotropni svemir koji se širi!
- Fridmanove jednačine (1922):

$$H^2 \equiv \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho - \frac{kc^2}{a^2}$$

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3} \left(\rho + \frac{3p}{c^2} \right)$$



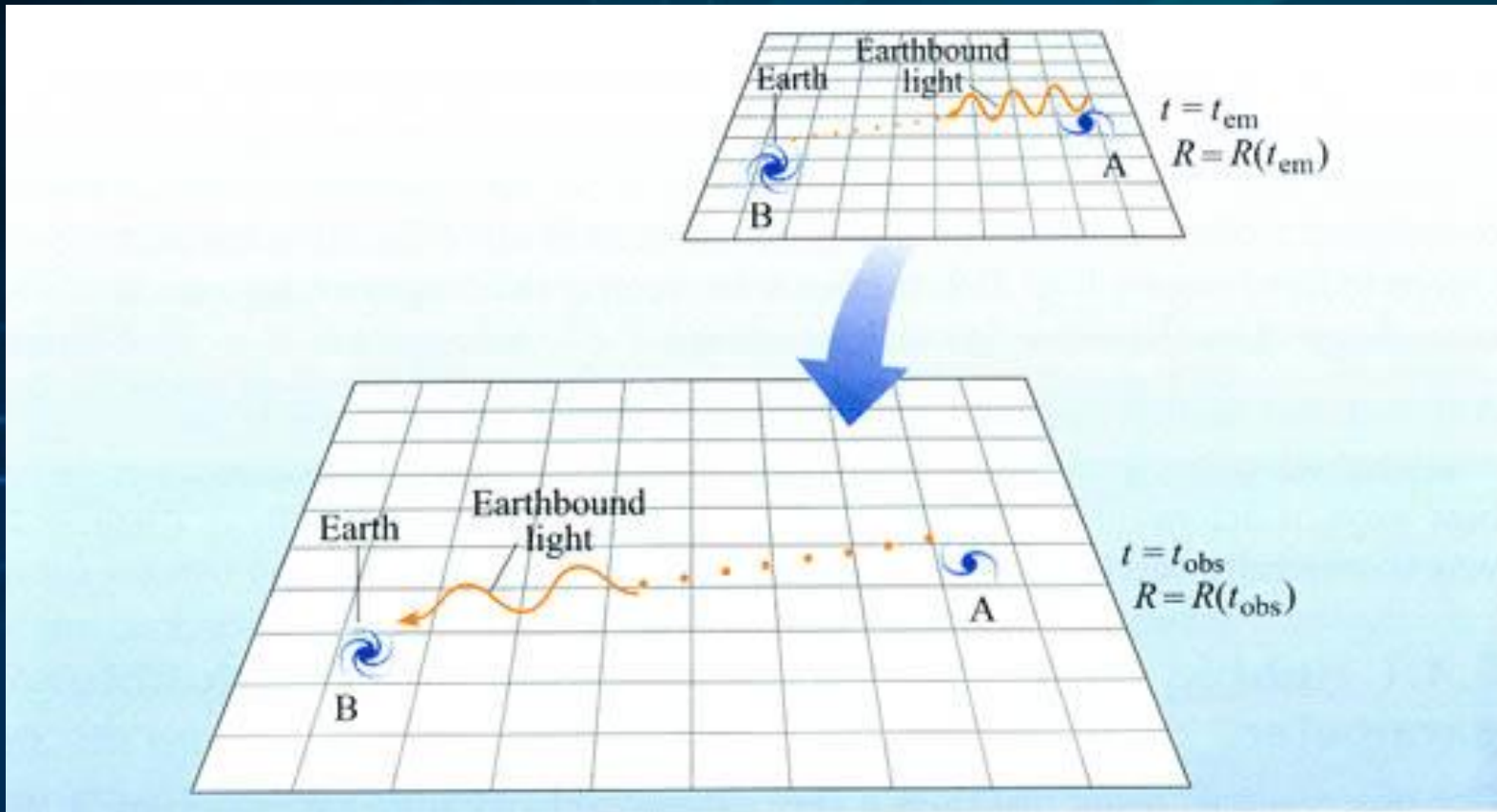
Svemir koji se širi

faktor skale

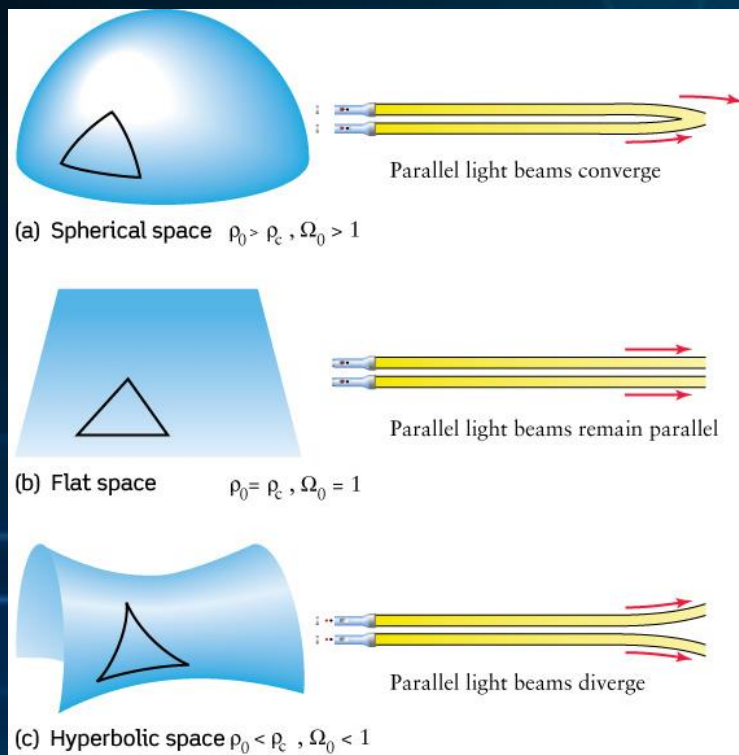
$$\vec{r} = a(t)\vec{x}$$

pravo rastojanje

rastojanje u „comoving“ sistemu

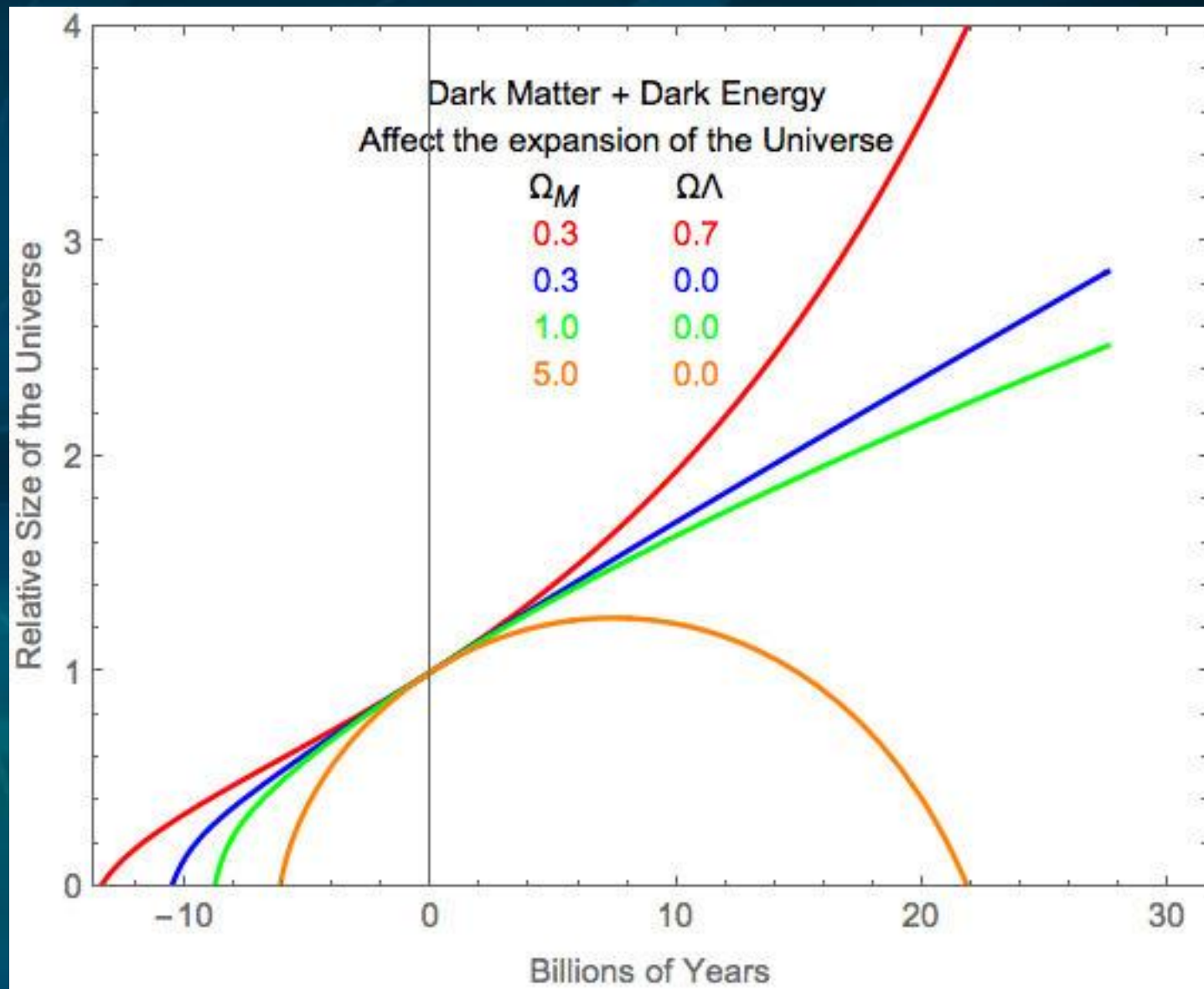


Fridmanovi modeli



$$\Omega_0 = \Omega_{rel} + \Omega_b + \Omega_d + \Omega_k + \Omega_\Lambda$$

$$\Omega_0 = \rho / \rho_c$$



Ajnštajnova najveća „greška“

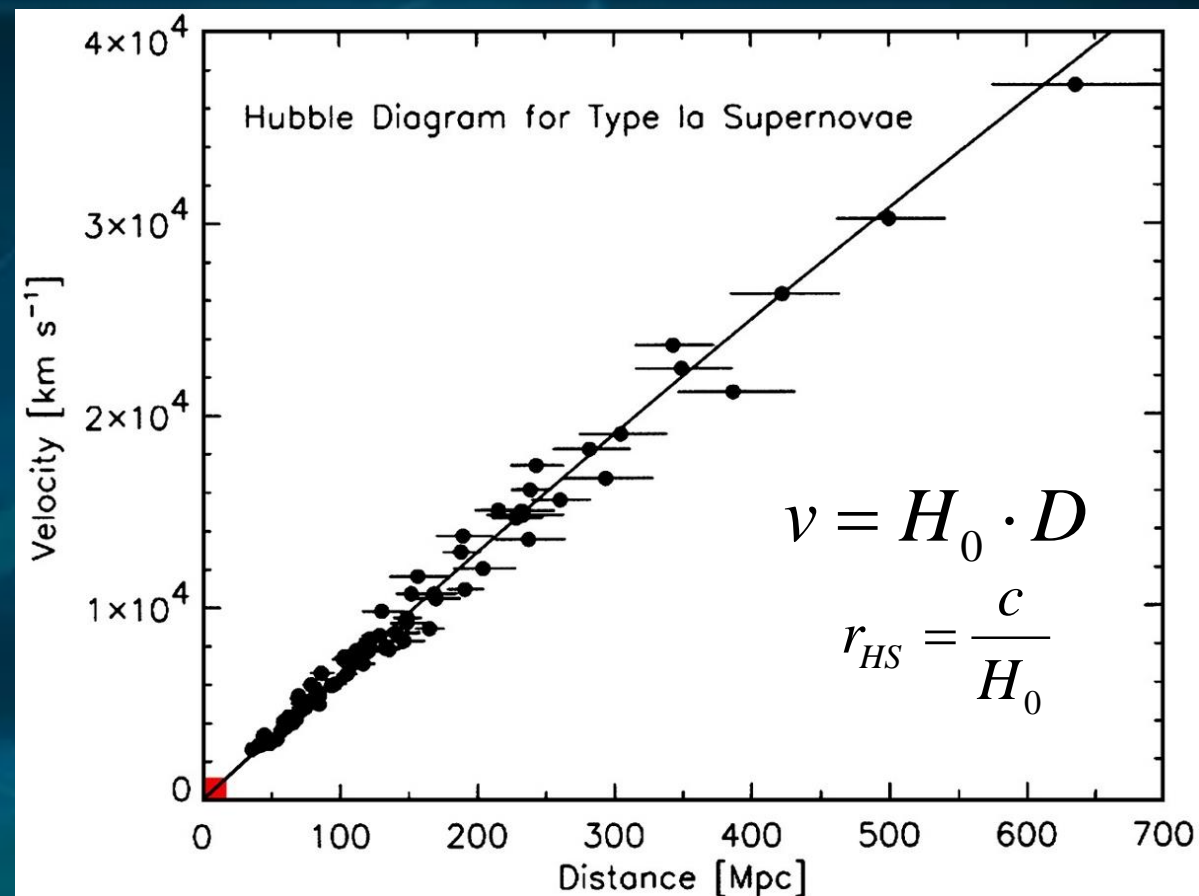
- Želeo je statičan svemir → dodao kosmološku konstantu

$$R_{\mu\nu} - \left(\frac{1}{2} R - \Lambda \right) g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}.$$

- Λ – kosmološka konstanta
 - Ajnštajnova ideja – da zaustavi sažimanje statičnog svemira
 - Danas – tamna energija
 - Λ CDM (Lambda Cold Dark Matter) model

Širenje svemira

- Edvin Habl (1889 – 1953)
- Jedan od najvažnijih opservacionih kosmologa XX veka
- Hablov zakon (1929)
 - Potvrda Lemetreove teorije (1927)
- Dobio vrednost $500 \frac{\text{km/s}}{\text{Mpc}}$, starost svemira 2 milijarde godina ☹
 - Bilo je poznato da je Zemlja starija
- Danas $H_0 = 67,31 \pm 0,96 \frac{\text{km/s}}{\text{Mpc}}$
 - $r_{HS} = 4,4 \text{ Gpc} \approx 1,5 \cdot 10^{10} \text{ ly}$

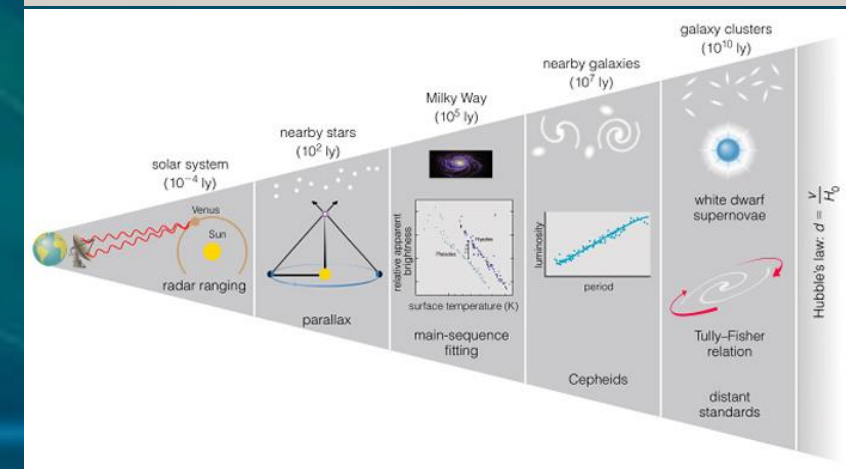
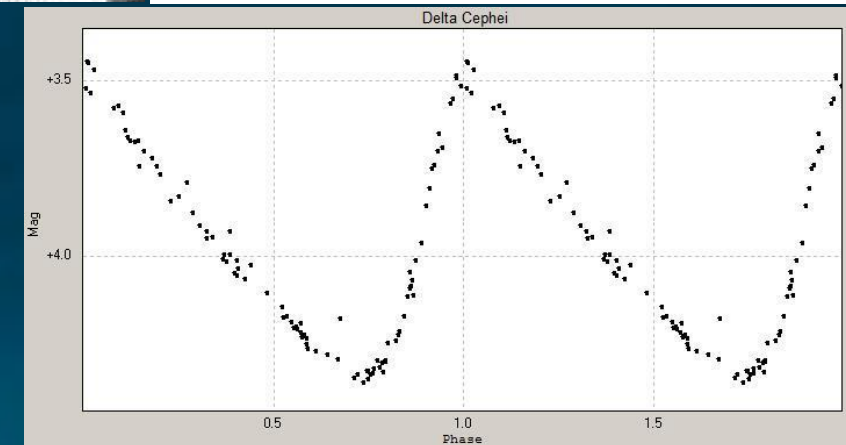
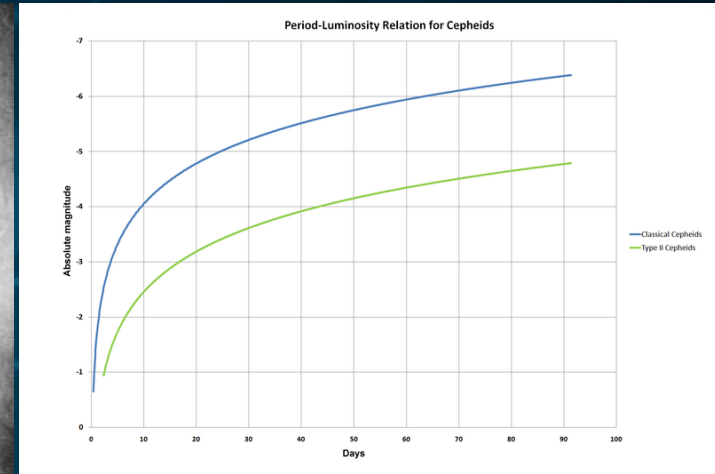


Standardne „sveće“

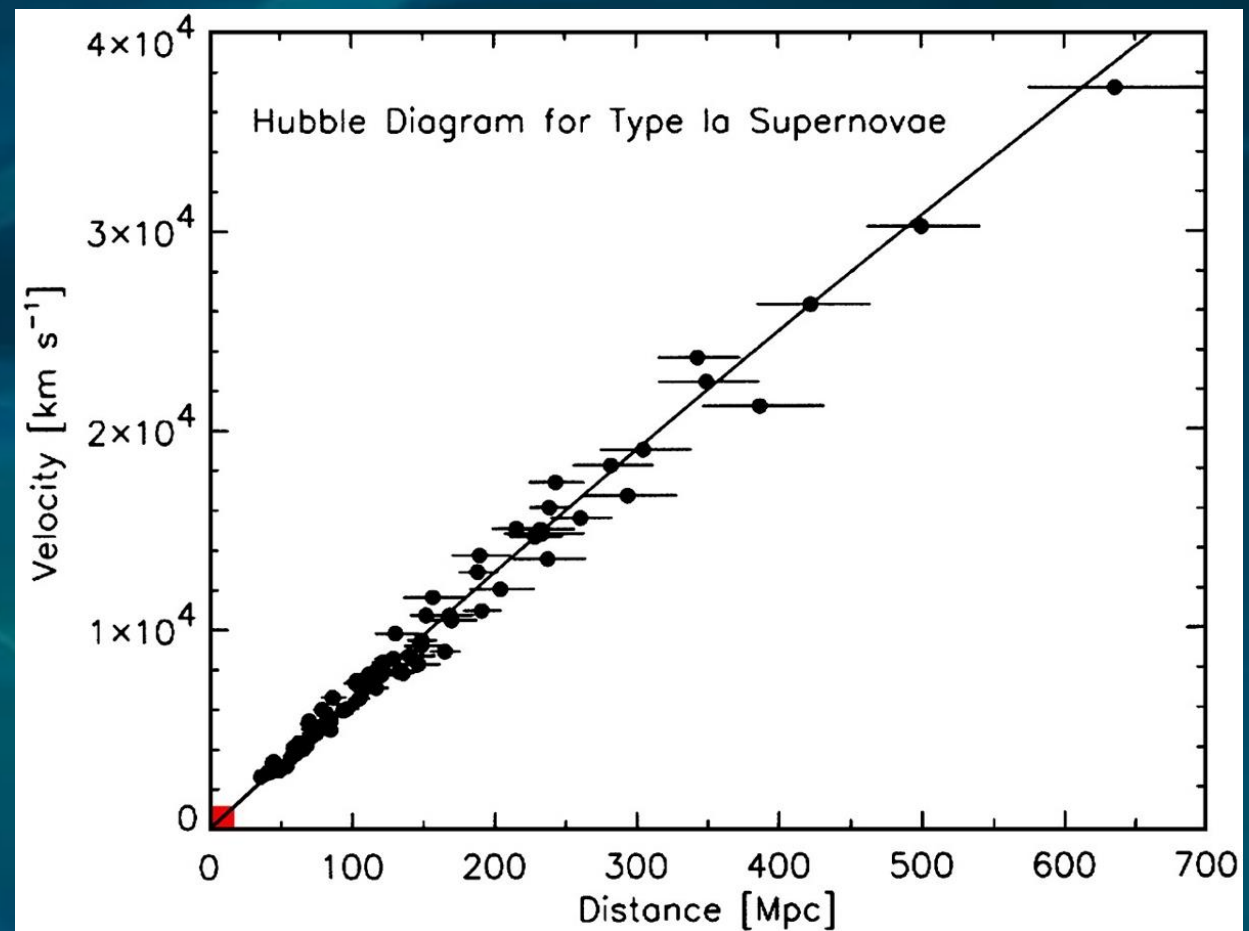
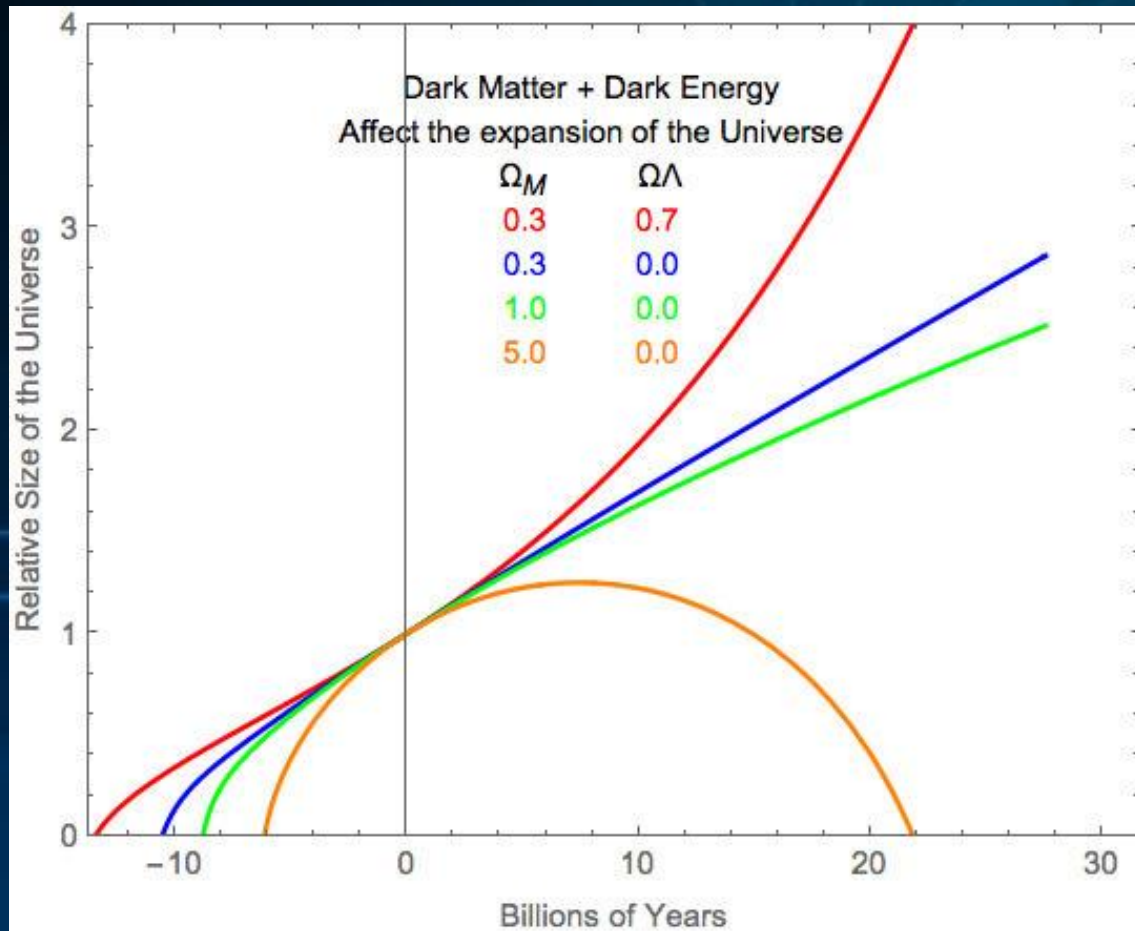
• Cefeide

- Henrietta Leavitt (1908)
 - 1777 promjenljivih zvezda u Magelanovom oblaku, otkrila pravilnost
 - Levitin zakon (klasične Cefeide, 5-10 solarnih masa)
 - Duži period \rightarrow veća luminoznost
 - Brzina zavisi od mase;
 - He^{2+} manje propušta zračenje od He^{1+}
 - Manje fotona napušta jezgro, više se zagreva
 - Ali – veći pritisak “gura” slojeve dalje od jezgra, hlade se
 - Veća temperatura \rightarrow veća jonizacija
 - Hlađenje – ponovo više He^{1+}
- Delta Cephei (J. Goodricke, 1784)

• Supernove tip 1a



Teorija i eksperiment





Caltech Archives



I told you
that
before!

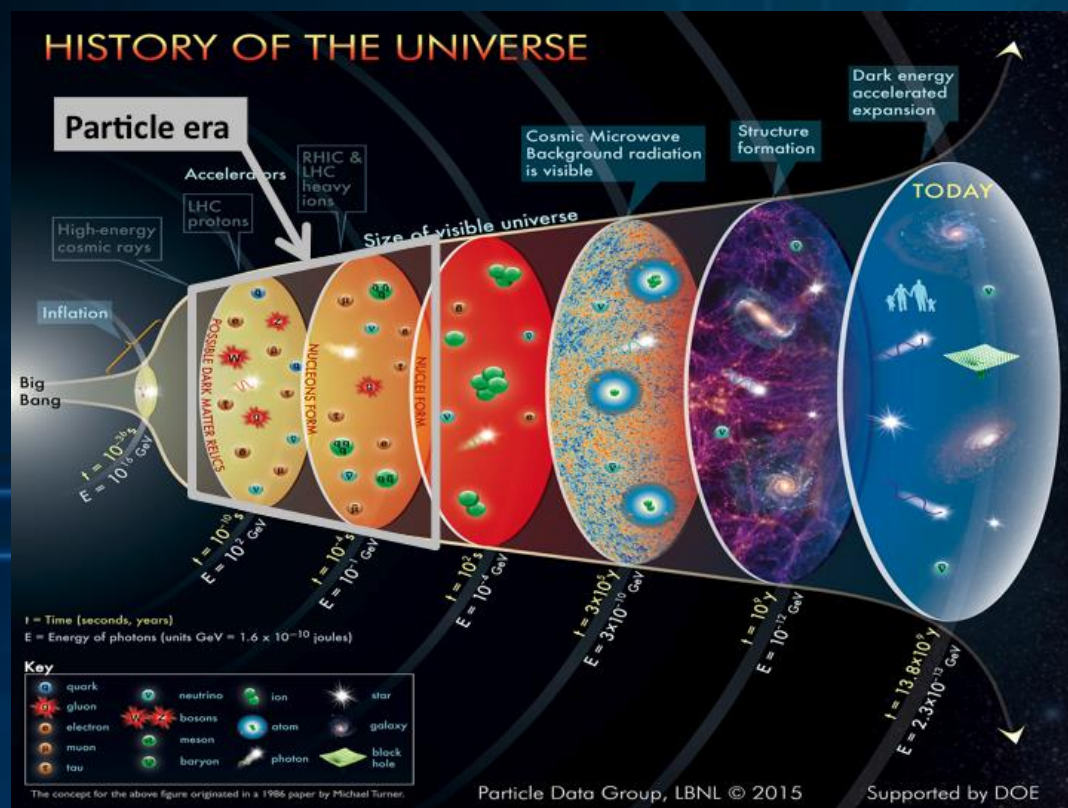
Oh my god!
The
universe is
expanding!

You can't
be right all
the time
man!

Vidljivi svemir

- Sferni region koji sadrži svu materiju koju je moguće posmatrati
- Više galaksija nego zrna peska na Zemlji
- Vidljivi svemir – 45,7 milijardi svetlosnih godina !
 - Zbog širenja svemira nije „samo“ 13,8 milijardi svetlosnih godina
 - Prvih 380.000 godina svemir nije bio transparentan, ispunjen plazmom
- Nekad razlika:
 - Vidljiv (*visible*) svemir – samo signali posle rekombinacije
 - Posmatrački (*observabile*) svemir – signali od početka širenja (od kraja inflacije)

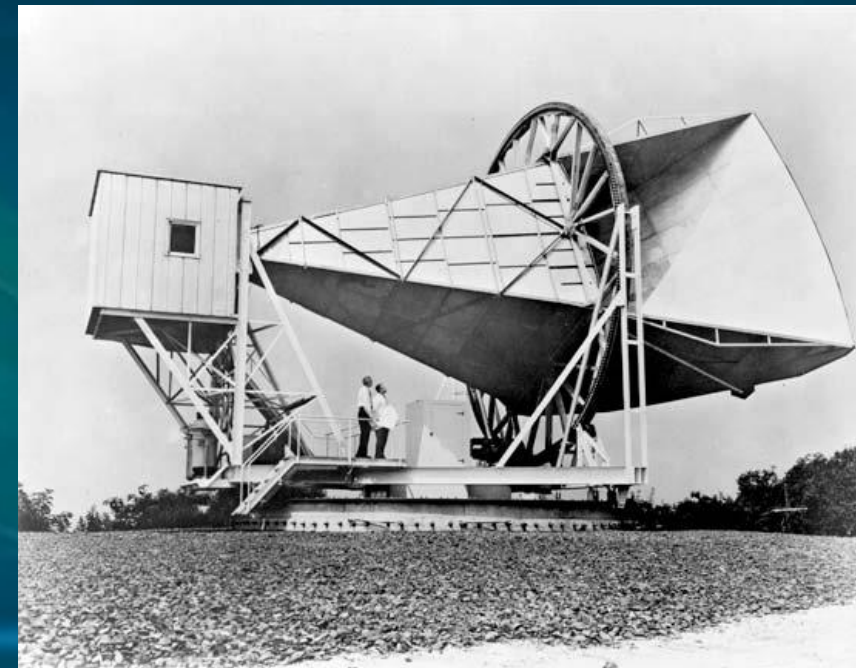
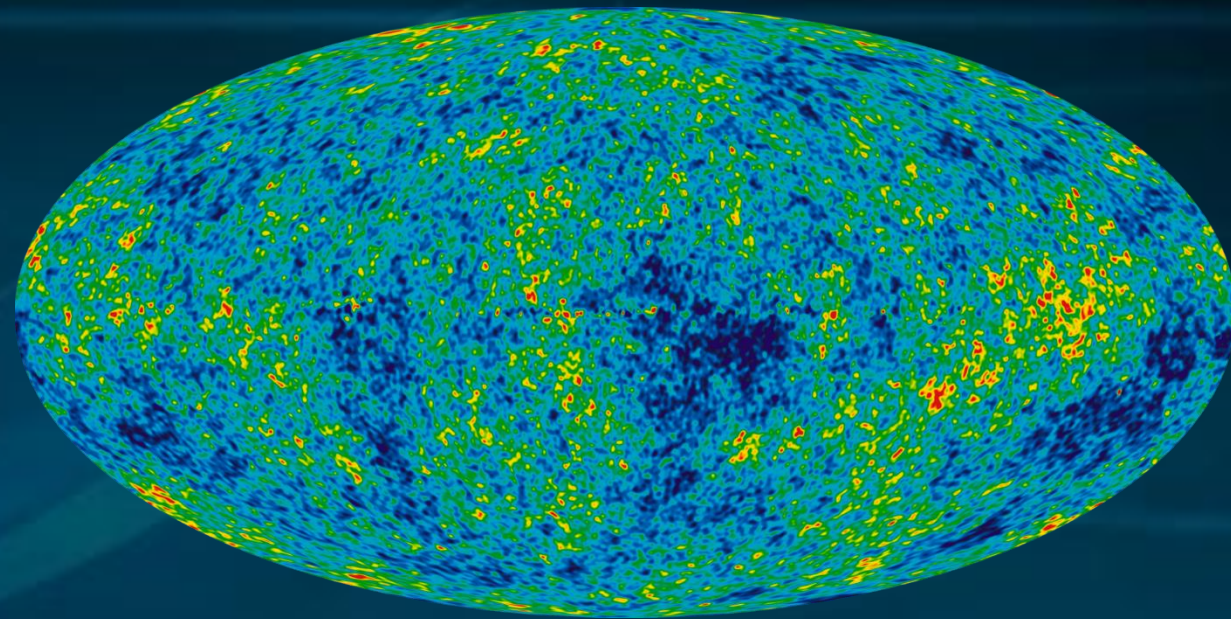
Kratka istorija svemira



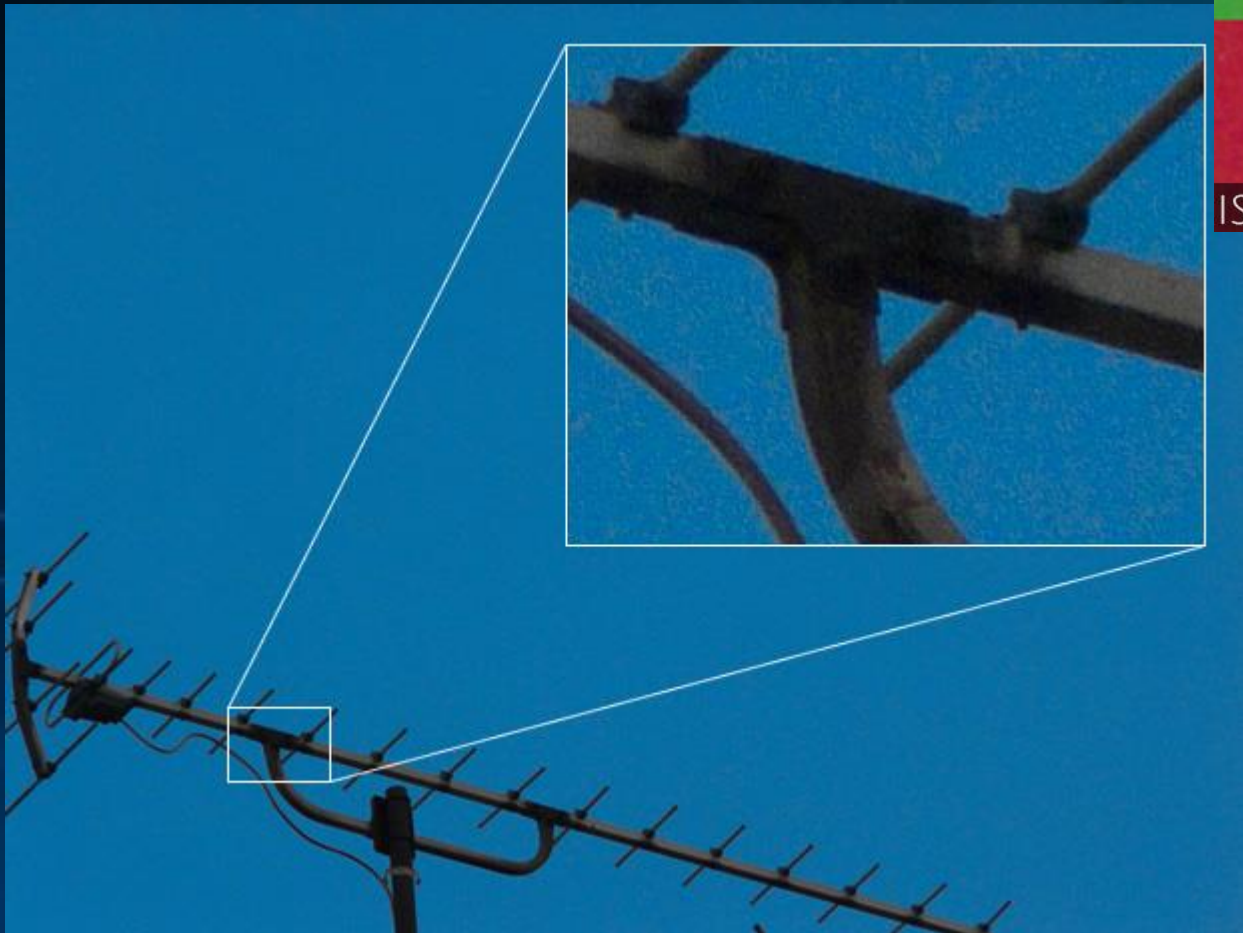
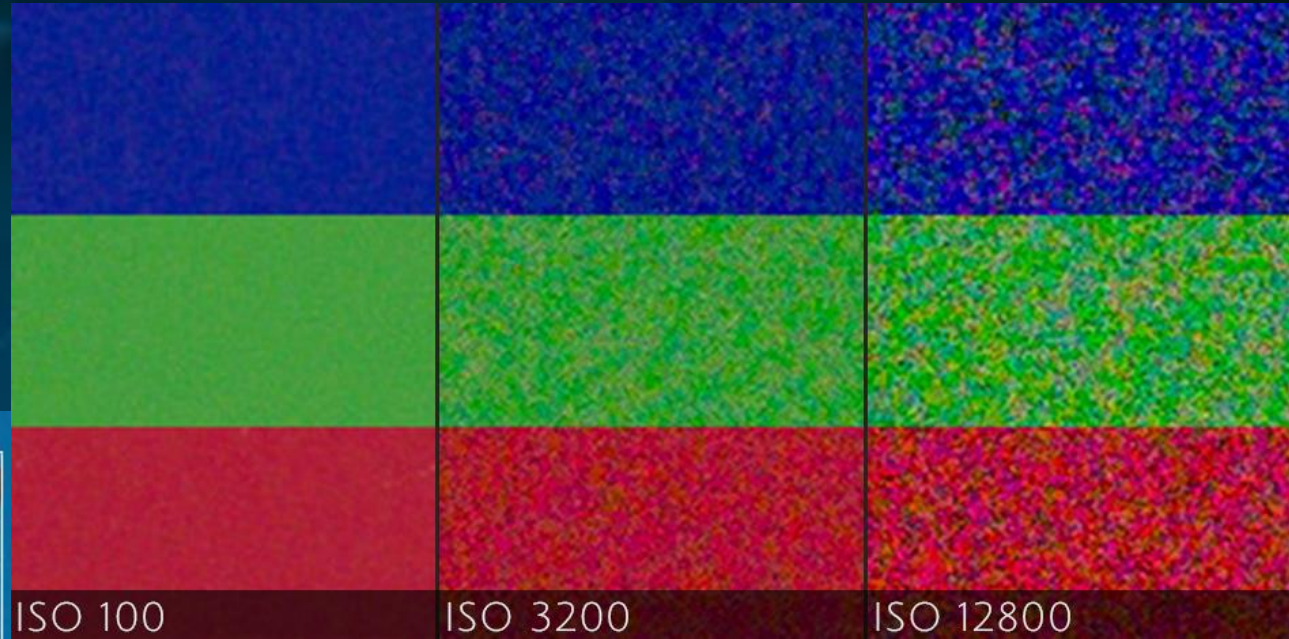
Period	Vreme	Energija	Crveni pomak
Plankova epoha	$< 10^{-43} s$	$10^{19} GeV$	
Skala strune	$\gtrsim 10^{-43} s$	$\lesssim 10^{18} GeV$	
Veliko ujedinjenje	$\sim 10^{-36} s$	$10^{15} GeV$	
Inflacija	$\gtrsim 10^{-34} s$	$\lesssim 10^{15} GeV$	
Narušavanje SUSY	$< 10^{-10} s$	$> 1TeV$	
Bariogeneza	$< 10^{-10} s$	$> 1TeV$	
Narušavanje elektro-slabе simetrije	$10^{-10} s$	$1TeV$	
Kvark-hadronski prelaz	$10^{-4} s$	$10^2 MeV$	
“Zamrzavanje“ nukleona	$0,01s$	$10MeV$	
Dekuplovanje neutrina	$1s$	$1MeV$	
Nukleosinteza	$3min$	$0,1MeV$	
Ravnoteža materije i zračenja	$10^4 god.$	$1eV$	10^4
Rekombinacija	$10^5 god.$	$0,1eV$	1100
Tamno doba	$10^5 - 10^8 god.$		> 25
Rejonizacija	$10^8 god.$		$25 - 6$
Formiranje galaksija	$\sim 6 \cdot 10^8 god.$		~ 10
Tamna energija dominira	$\geq 10^9 god.$		~ 2
Formiranje Sunčevog sistema	$8 \cdot 10^9 god.$		$0,5$
Škola astrobiologije	$14 \cdot 10^9 god.$	$0,1meV$	0

CMB zračenje

- Kosmičko mikrotalasno pozadinsko (CMB) zračenje
- Malo drugačiji (naučni) scenario: godina 1964, Belove laboratorije (Nju Džersi, SAD)
- Radio antena, radio astronomi
 - **A. Penzias i V. Vilson**
 - Merenje radio talasa iz Mlečnog puta
 - Teško merenje, mnogo šuma iz okoline, iz antene itd
 - „Mali“ izvor (zvezda) – problem rešava upoređivanjem sa „praznim“ prostorom pored
 - Neophodna identifikacija **svih** okolnih šumova
 - Test „**hladno opterećenje**“



Digitalni šum (*noise*)



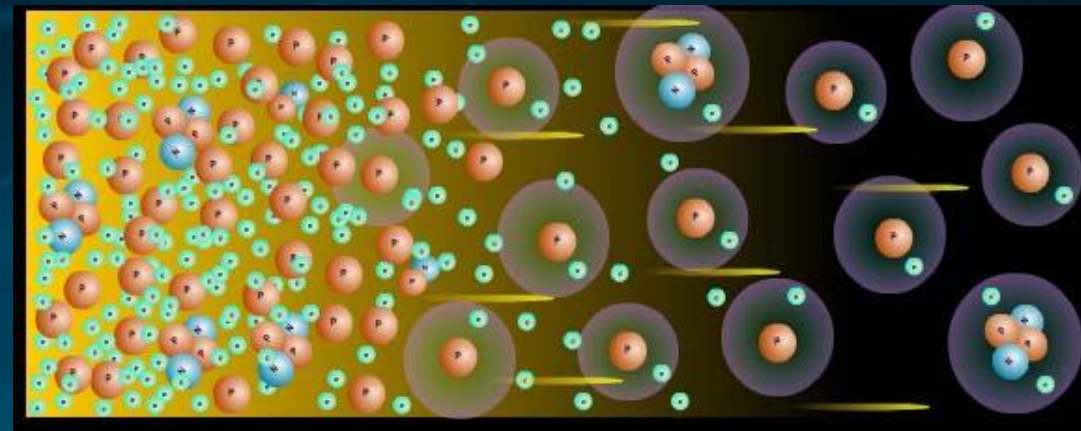
CMB zračenje

- Očekivanje: antena proizvodi neznatan šum
- Početak: talasna dužina 7,35 cm – šum galaksije zanemarljiv (očekivan signal iz atmosfere, nije izotropan)
- Rezultat – jak signal na ovoj talasnoj dužini! Izotropan! Ne zavisi od doba dana, godišnjeg doba...
 - Mala verovatnoća da dolazi iz naše galaksije (bio bi detektovan iz Andromede)
 - Intenzitet – odgovarao 3,5K (tj. 2,5 – 4,5K)
 - Veći intenzitet od očekivanog, ali vrlo mali



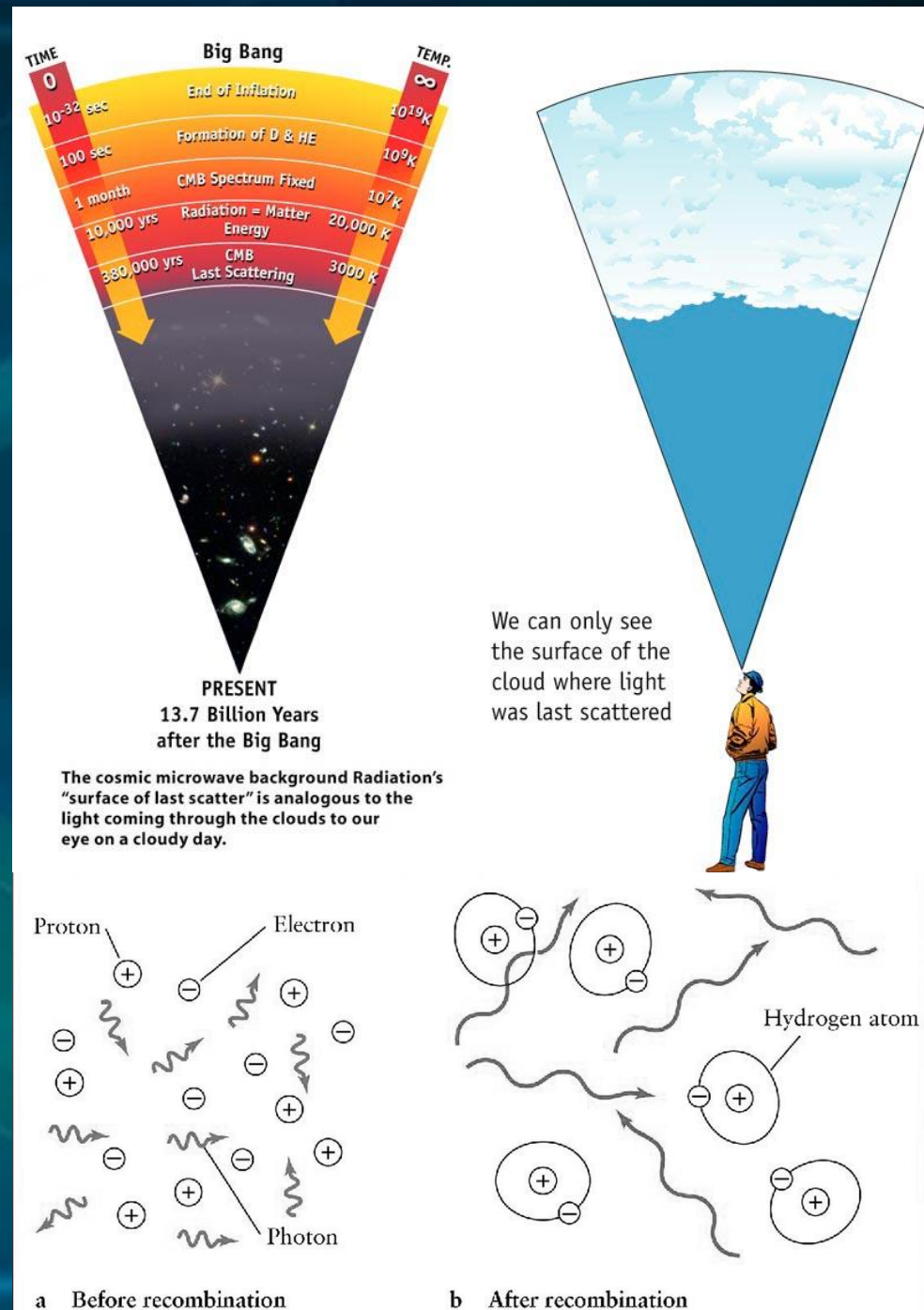
CMB zračenje

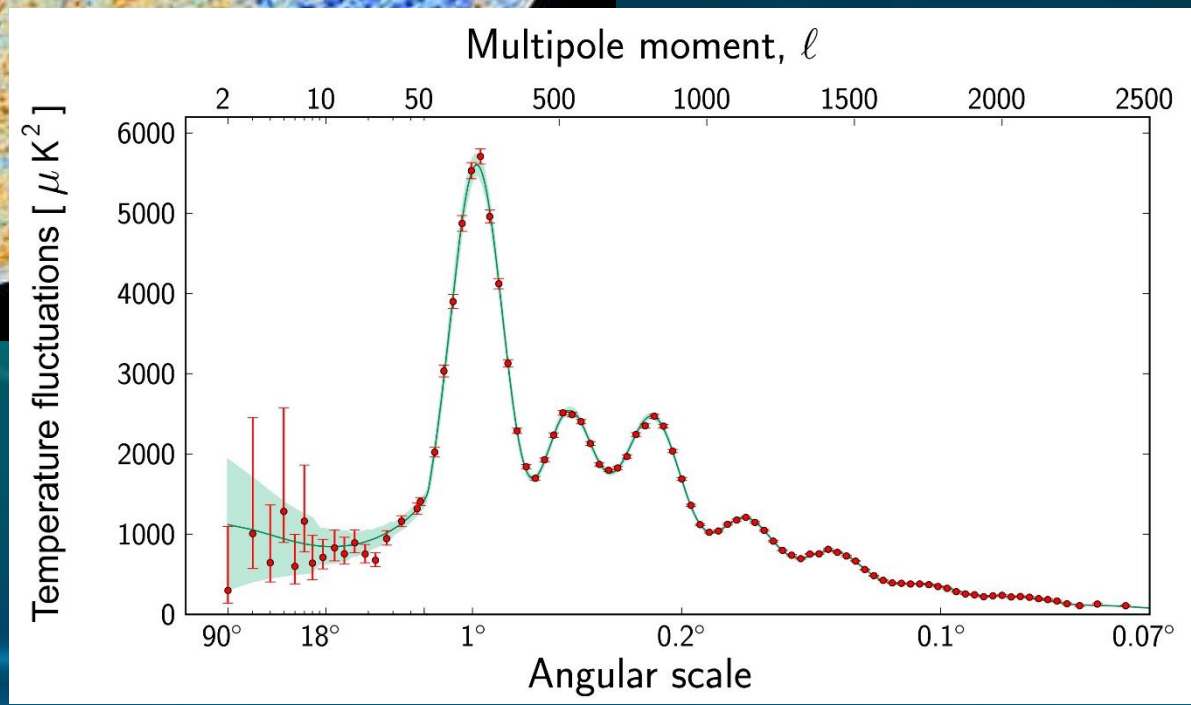
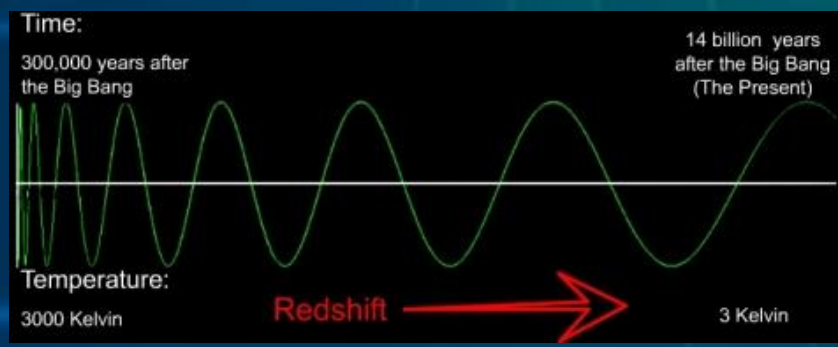
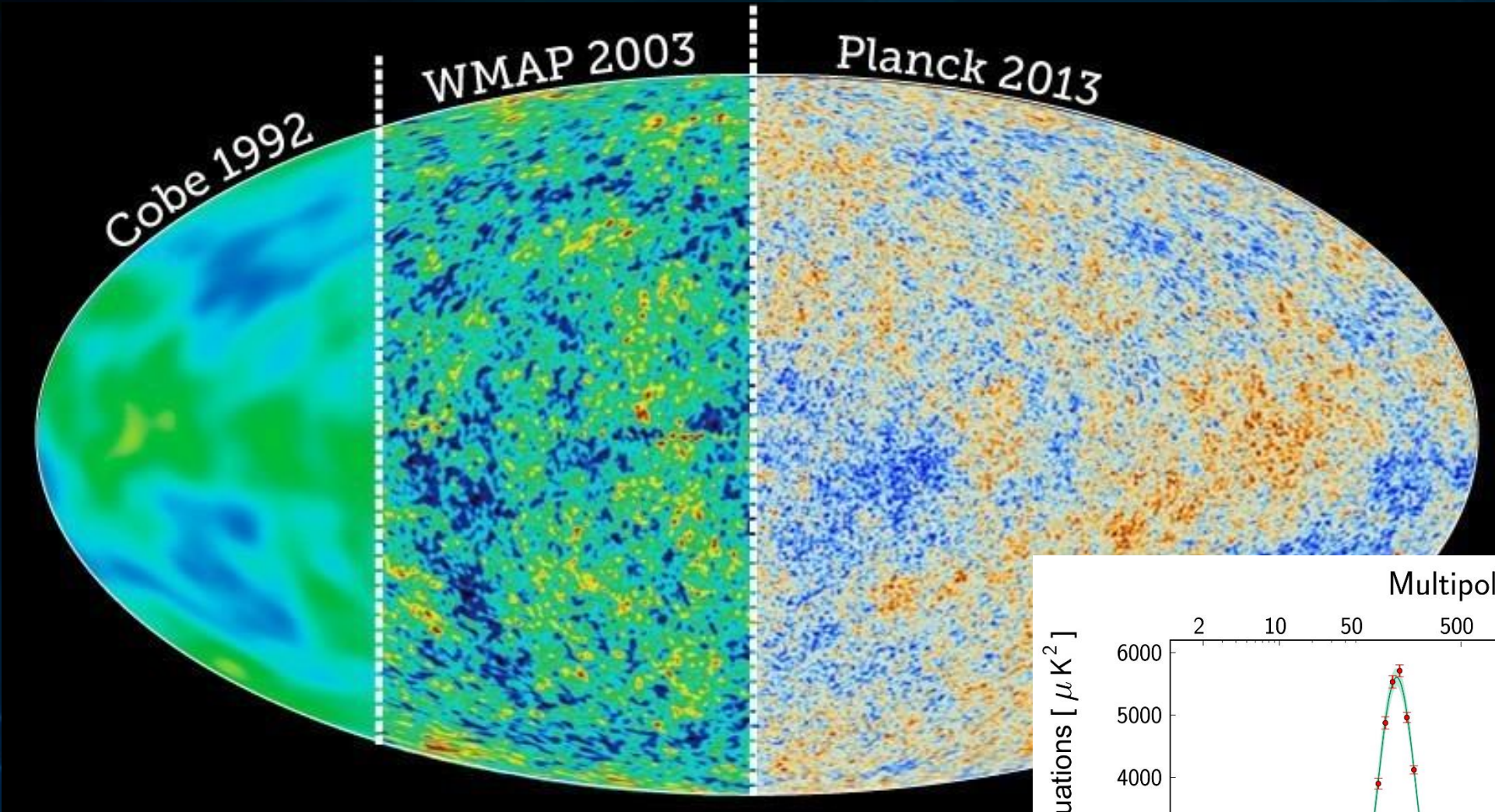
- G. Gamov (~1950) – prva ideja „teški elementi nastali u nuklearnim termoreakcijama u fazi ranog svemira“
- Teorijska grupa (Princeton)
 - R. H. Dicke, **P. J. E. Peebles**, P. G. Roll, D. T. Wilkinson
 - *Cosmic Black-Body Radiation*, *Astroph. J.*, vol. 142, (1965) p.414-419
 - U ranoj fazi – intenzivno zračenje. Da ga nema nuklearne reakcije bi se odvijale isuviše brzo pa bi se veliki deo vodonika, tako reći, odmah “skuvao” u teže elemente, što je suprotno činjenici da $\frac{3}{4}$ sadašnje vasionne čini upravo vodonik.
 - Zračenje – rastura nastala jezgra istom brzinom kojom se formiraju
 - Ovaj fon održavao proizvodnju helijuma, danas temperatura oko 10K



CMB - najstarije „svetlo“

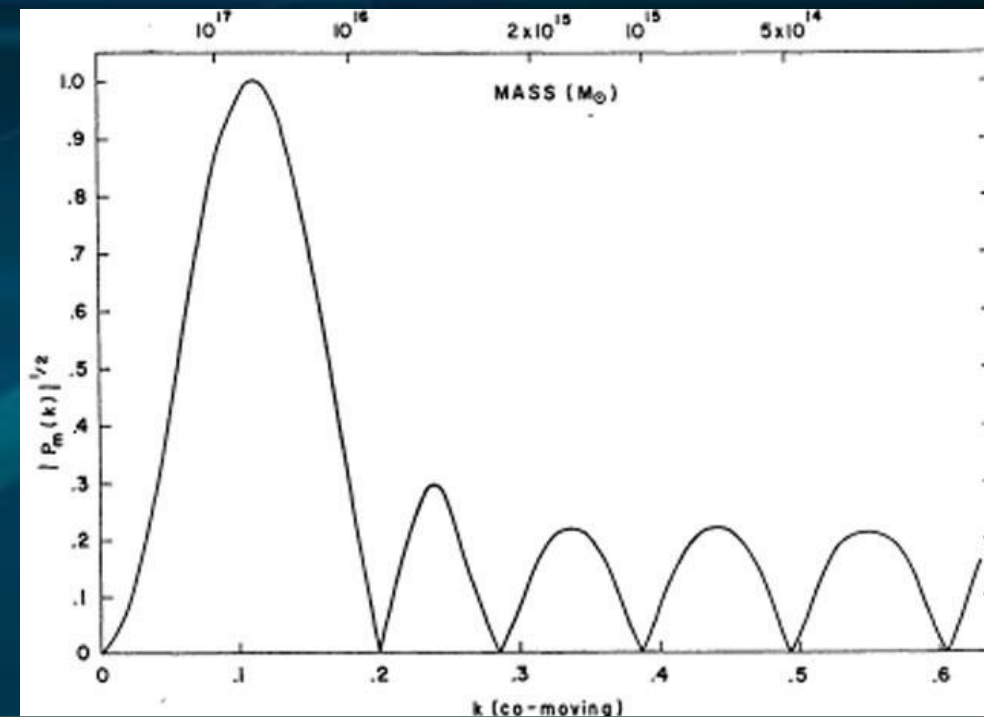
- „Površina poslednjeg rasejanja“
- Vodonik – energija jonizacije 13,6 eV
- Dok je svemir dovoljno „vreo“, e^- imaju dovoljno energije i vodonik održavaju potpuno jonizovanim
 - Nema atoma, svaki e^- koji se „veže“ dobija dovoljno energije od mnogobrojnih fotona → jonizacija
 - Slobodni elektroni – apsorbuju elektrone svih energija!
 - „more“ slobodnih elektrona i fotona, česte interakcije (Tomsonovo rasejanje) – kratak slobodni put
 - Vremenom svi elektroni prelaze u osnovna stanja
 - Univerzum postaje prozračan - **dekuplovanje!**
 - $T_{rec} \approx 3000K$





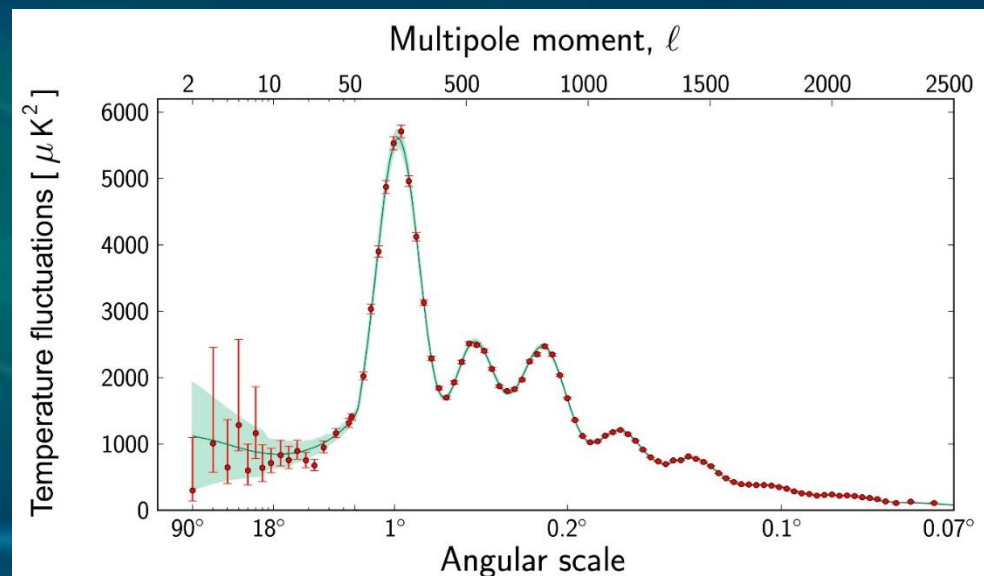
„Zrnasta“ struktura

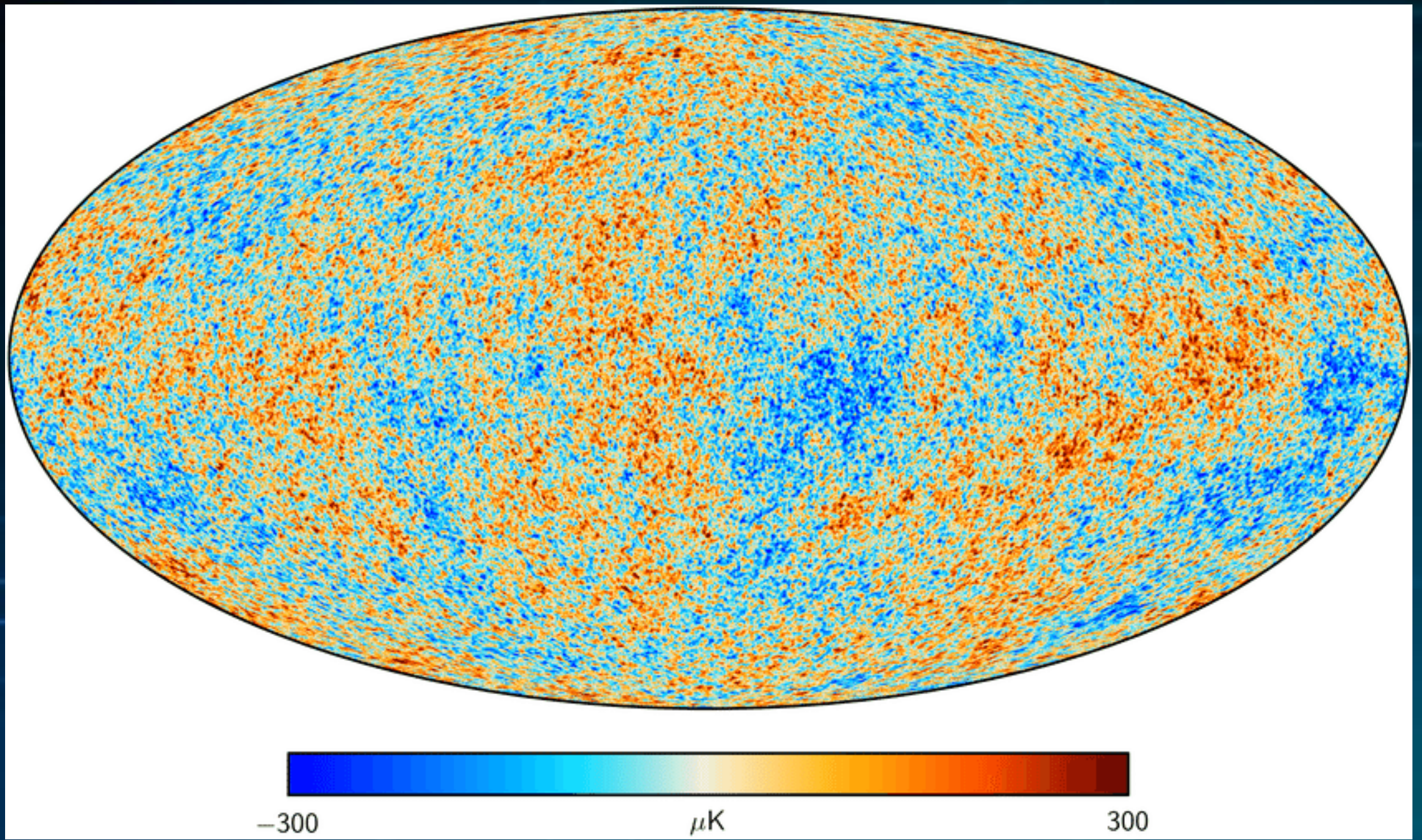
- Prva merenja – ista temperatura u svim pravcima
 - Razlog: ista gustina svemira
- Postoje mesta sa malo većom gustinom
 - galaksije i jata galaksija
 - Rasejanje svetlosti na tim mestima -> mala varijacija u temperaturi
- **Pibls** i Jer Tsang Yu
 - Izačunali da varijacije u temperaturi zavise od ugla
 - Potvrđeno 40 godina kasnije – Plank!

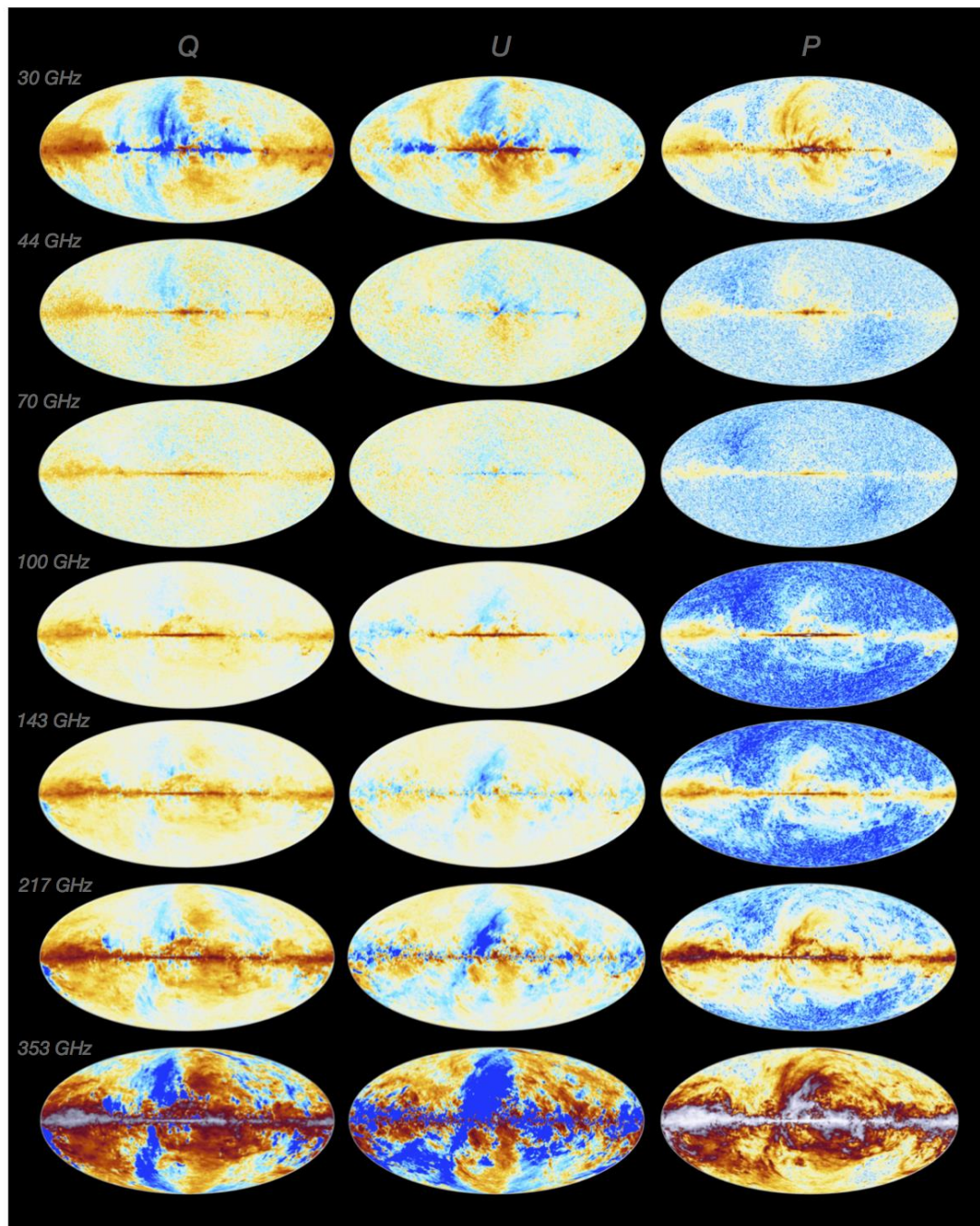


Predviđanje Piblsa i Ju-a (1970);

W.J. Borucki et al., Kepler planet-detection mission: Introduction and first results, Science 327, 977

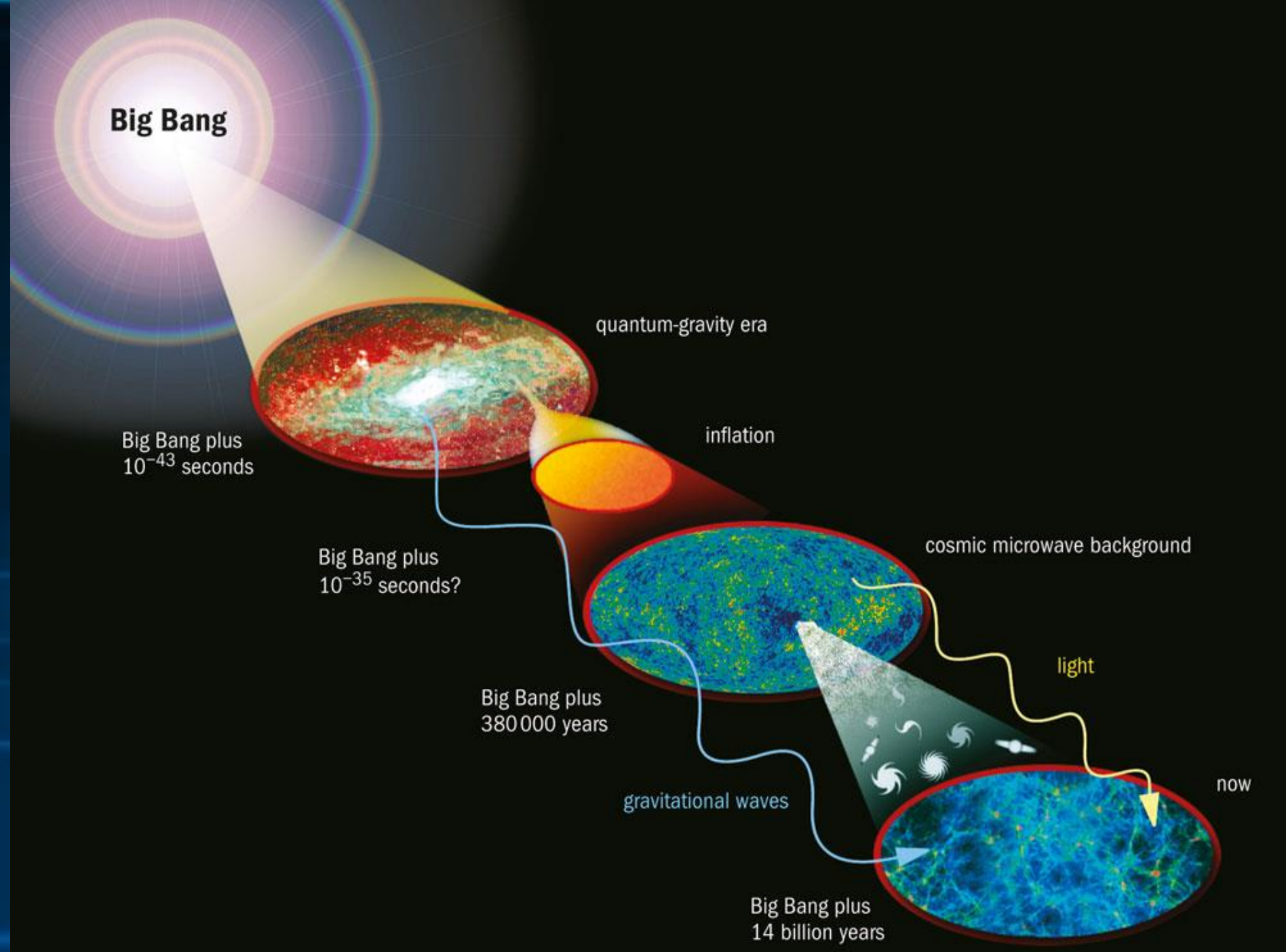


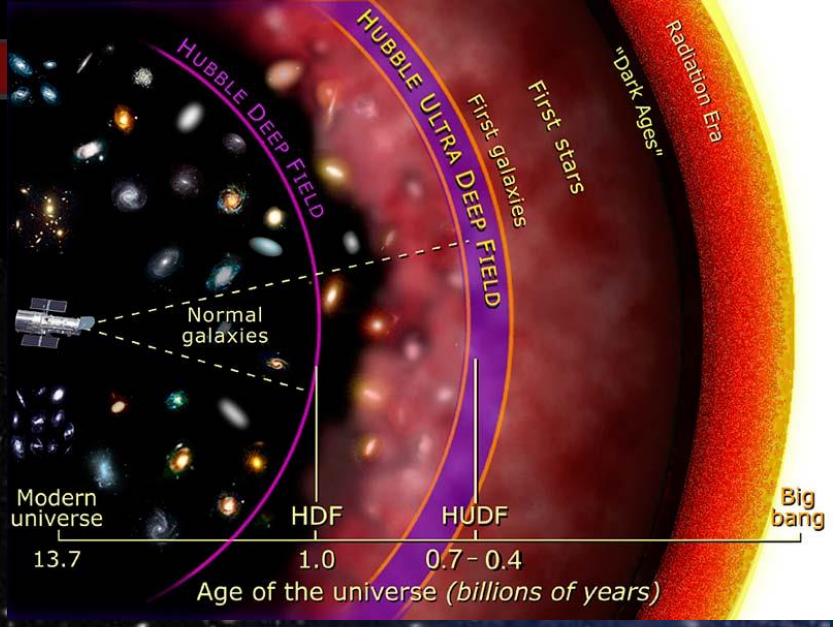
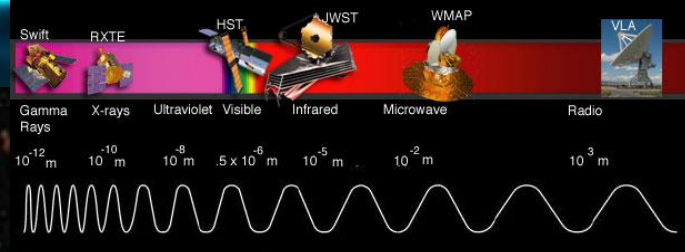




Planck Collaboration Cosmological parameters^[14]

	Description	Symbol	Value
Independent parameters	Physical baryon density parameter ^[a]	$\Omega_b h^2$	$0.022\,30 \pm 0.000\,14$
	Physical dark matter density parameter ^[a]	$\Omega_c h^2$	0.1188 ± 0.0010
	Age of the universe	t_0	$13.799 \pm 0.021 \times 10^9$ years
	Scalar spectral index	n_s	0.9667 ± 0.0040
	Curvature fluctuation amplitude, $k_0 = 0.002 \text{ Mpc}^{-1}$	Δ_R^2	$2.441^{+0.088}_{-0.092} \times 10^{-9}$ ^[17]
	Reionization optical depth	τ	0.066 ± 0.012
Fixed parameters	Total density parameter ^[b]	Ω_{tot}	1
	Equation of state of dark energy	w	-1
	Sum of three neutrino masses	Σm_ν	$0.06 \text{ eV}/c^2$ ^{[c][13]:40}
	Effective number of relativistic degrees of freedom	N_{eff}	3.046 ^{[d][13]:47}
	Tensor/scalar ratio	r	0
	Running of spectral index	$d n_s / d \ln k$	0
Calculated values	Hubble constant	H_0	$67.74 \pm 0.46 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$
	Baryon density parameter ^[b]	Ω_b	0.0486 ± 0.0010 ^[e]
	Dark matter density parameter ^[b]	Ω_c	0.2589 ± 0.0057 ^[f]
	Matter density parameter ^[b]	Ω_m	0.3089 ± 0.0062
	Dark energy density parameter ^[b]	Ω_Λ	0.6911 ± 0.0062
	Critical density	ρ_{crit}	$(8.62 \pm 0.12) \times 10^{-27} \text{ kg/m}^3$ ^[g]
	Fluctuation amplitude at $8h^{-1} \text{ Mpc}$	σ_8	0.8159 ± 0.0086
	Redshift at decoupling	z_*	$1\,089.90 \pm 0.23$
	Age at decoupling	t_*	$377\,700 \pm 3200$ years ^[17]
	Redshift of reionization (with uniform prior)	z_{re}	$8.5^{+1.0}_{-1.1}$ ^[18]





1990
Ground-based observatories



1995
Hubble Deep Field



2004
Hubble Ultra Deep Field



2010
Hubble Ultra Deep Field-IR



FUTURE
James Webb Space Telescope

Redshift (z):

Time after the Big Bang

Present

1
6 billion years

4
1.5 billion years

5

6

7
800 million years

8

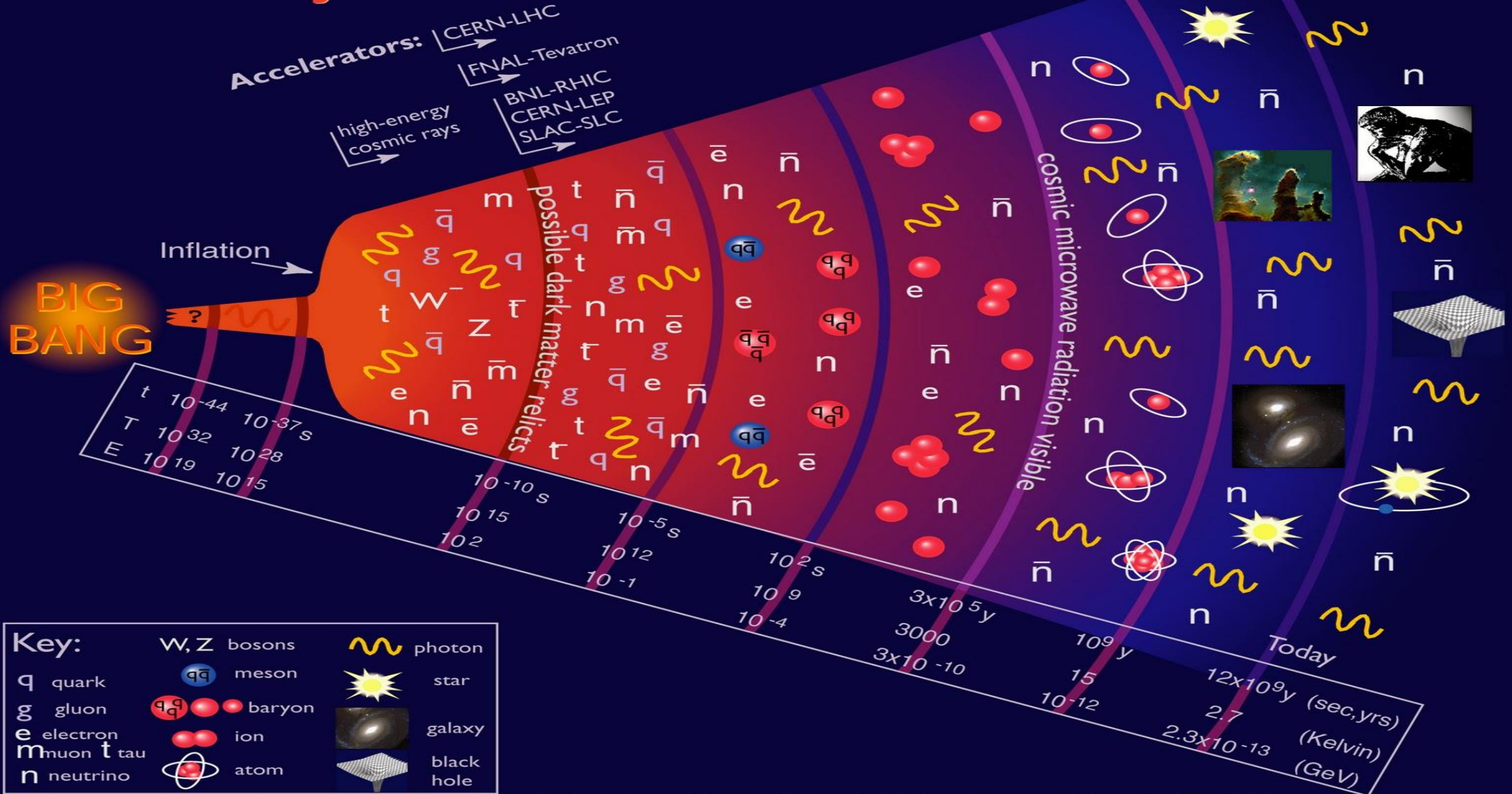
10
480 million years

>20
200 million years



Rani svemir

History of the Universe



Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The Standard Model summarizes the current knowledge in Particle Physics. It is the quantum theory that includes the theory of strong interactions (quantum chromodynamics or QCD) and the unified theory of weak and electromagnetic interactions (electroweak). Gravity is included on this chart because it is one of the fundamental interactions even though not part of the "Standard Model."

FERMIONS

matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0
e electron	0.000511	-1
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0
μ muon	0.106	-1
ν_τ tau neutrino	<0.02	0
τ tau	1.7771	-1

Quarks spin = 1/2		
Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
u up	0.003	2/3
d down	0.006	-1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	-1/3
t top	175	2/3
b bottom	4.3	-1/3

Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of \hbar , which is the quantum unit of angular momentum, where $\hbar = h/2\pi = 6.58 \times 10^{-25}$ GeV s = 1.05×10^{-34} J s.

Electric charges are given in units of the proton's charge. In SI units the electric charge of the proton is 1.60×10^{-19} coulombs.

The **energy** unit of particle physics is the electronvolt (eV), the energy gained by one electron in crossing a potential difference of one volt. **Masses** are given in GeV/c² (remember $E = mc^2$), where 1 GeV = 10^9 eV = 1.60×10^{-10} joule. The mass of the proton is 0.938 GeV/c² = 1.67×10^{-27} kg.

BOSONS

force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.4	-1
W^+	80.4	+1
Z^0	91.187	0

Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
g gluon	0	0

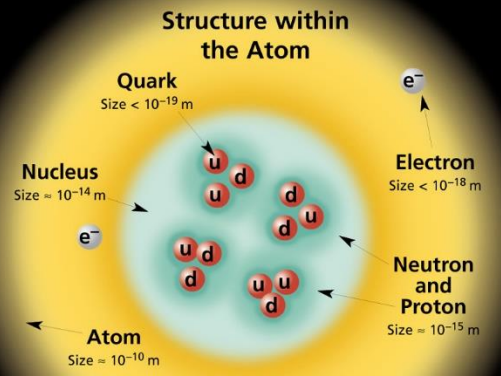
Color Charge
Each quark carries one of three types of "strong charge," also called "color charge." These charges have nothing to do with the colors of visible light. There are eight possible types of color charge for gluons. Just as electrically-charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions color-charged particles interact by exchanging gluons. Leptons, photons, and W and Z bosons have no strong interactions and hence no color charge.

Quarks Confined in Mesons and Baryons

One cannot isolate quarks and gluons; they are confined in color-neutral particles called **hadrons**. This confinement (binding) results from multiple exchanges of gluons among the color-charged constituents. As color-charged particles (quarks and gluons) move apart, the energy in the color-force field between them increases. This energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs (see figure below). The quarks and antiquarks then combine into hadrons; these are the particles seen to emerge. Two types of hadrons have been observed in nature: **mesons** $q\bar{q}$ and **baryons** qqq .

Residual Strong Interaction

The strong binding of color-neutral protons and neutrons to form nuclei is due to residual strong interactions between their color-charged constituents. It is similar to the residual electrical interaction that binds electrically neutral atoms to form molecules. It can also be viewed as the exchange of mesons between the hadrons.



If the protons and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 0.1 mm in size and the entire atom would be about 10 km across.

PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$					
Baryons are fermionic hadrons. There are about 120 types of baryons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
\bar{p}	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

Interaction Property	Gravitational	Weak (Electroweak)	Electromagnetic	Strong	
	Mass - Energy	Flavor	Electric Charge	Fundamental	Residual
Acts on:	All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Color Charge	See Residual Strong Interaction Note
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	γ	Gluons	Mesons
Strength relative to electromag for two u quarks at:	10^{-41}	0.8	1	25	Not applicable to quarks
for two protons in nucleus	10^{-41}	10^{-4}	1	60	Not applicable to hadrons
	10^{-36}	10^{-7}	1	20	

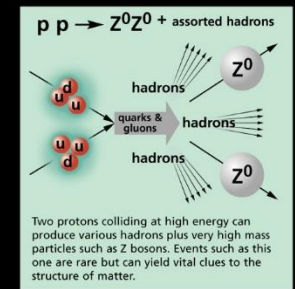
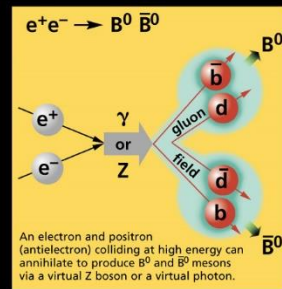
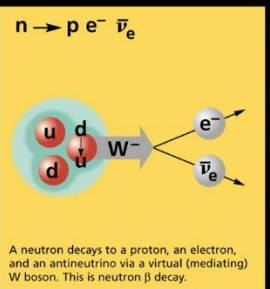
Mesons $q\bar{q}$					
Mesons are bosonic hadrons. There are about 140 types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
π^+	pion	u\bar{d}	+1	0.140	0
K^-	kaon	s\bar{u}	-1	0.494	0
ρ^+	rho	u\bar{d}	+1	0.770	1
B^0	B-zero	d\bar{b}	0	5.279	0
η_c	eta-c	c\bar{c}	0	2.980	0

Matter and Antimatter

For every particle type there is a corresponding antiparticle type, denoted by a bar over the particle symbol (unless + or - charge is shown). Particle and antiparticle have identical mass and spin but opposite charges. Some electrically neutral bosons (e.g., Z^0 , γ , and $\eta_c = c\bar{c}$, but not $K^0 = d\bar{s}$) are their own antiparticles.

Figures

These diagrams are an artist's conception of physical processes. They are not exact and have no meaningful scale. Green shaded areas represent the cloud of gluons or the gluon field, and red lines the quark paths.



The Particle Adventure

Visit the award-winning web feature *The Particle Adventure* at <http://ParticleAdventure.org>

This chart has been made possible by the generous support of:

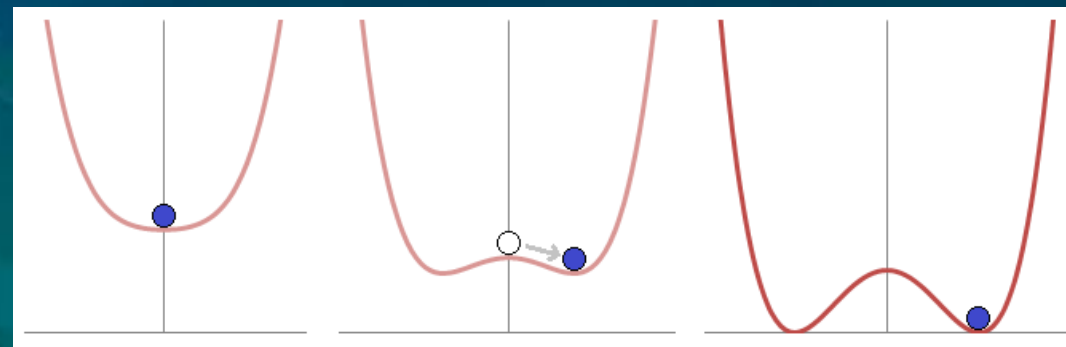
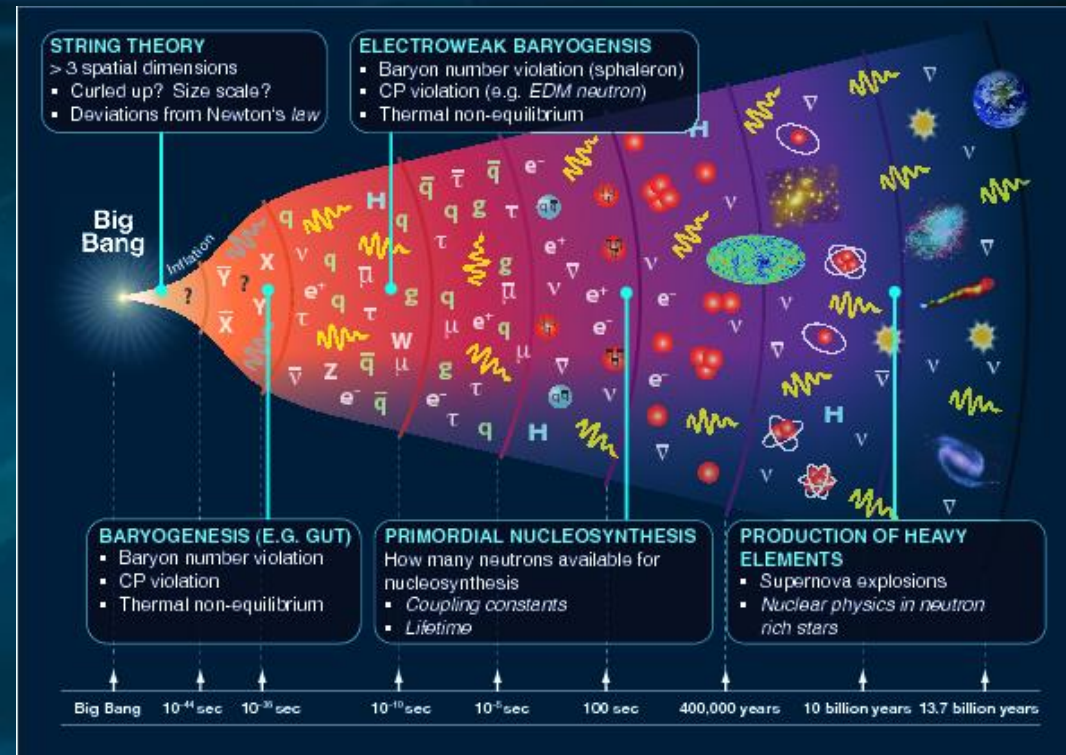
- U.S. Department of Energy
- U.S. National Science Foundation
- Lawrence Berkeley National Laboratory
- Stanford Linear Accelerator Center
- American Physical Society, Division of Particles and Fields
- BURLE INDUSTRIES, INC.**

©2000 Contemporary Physics Education Project. CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. Send mail to: CPEP, MS 50-308, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 94720. For information on charts, text materials, hands-on classroom activities, and workshops, see:

<http://CPEPweb.org>

Rani svemir

- Narušavanje supersimetrije (?)
 - Mase čestica i „superpartnera“ nisu više iste
- Narušavanje elektroslabe interakcije, era kvarkova
 - Vreme 10^{-12} - 10^{-6} sekunde; energija $1 TeV$
 - Temperatura opada → Higsovo polje (Nobelova nagrada, 2013) narušava elektroslabu simetriju
 - Razdvaja slabu i elektromagnetnu silu (W, Z bozone i foton)
 - Higsov mehanizam → sve elementarne čestice interaguju sa poljem i dobijaju masu (bezmasene na višim energetske nivoima)
 - Na kraju epohe – fundamentalne interakcije u sadašnjem „obliku“, čestice dobile masu
 - Energija suviše visoka da bi se kvarkovi vezali
- Univerzum ispunjen kvark-gluon plazmom
 - Termodinamička ravnoteža; Hadroni „rastavljeni“ → kvarkovi (fermion) i gluoni (bozon)
 - Proizvodnja: $2 \cdot 10^{12} K$, energija $175 MeV$ po čestici
 - Sudar dva snopa teških jezgara (npr. zlato i olovo) – CERN SMS, ALICE



Rani svemir

- Hadronska epoha

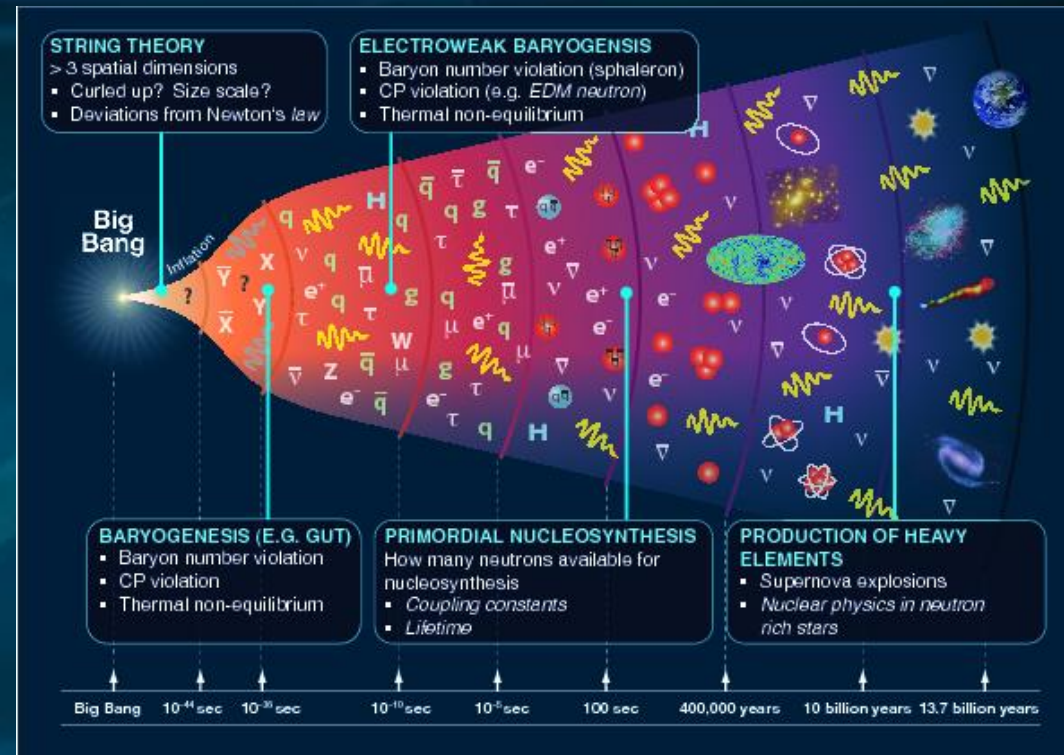
- Vreme 10^{-6} - 1 sekunda; energija 100 – 1 MeV
- Hlađenje kvark-gluon plazme, nastaju barioni (protoni, neutroni)
- Oko 1 sekunde – dekoplovanje neutrina
 - Neutrini prestaju da interaguju sa barionskom materijom
 - Ranije – bili u termalnoj ravnoteži sa protonima, neutronima, elektronima
 - Pozadinsko zračenje neutrina – kao CMB, mala verovatnoća da će biti detektovano; posredi dokazi (nukleosinteza – rasprostranjenost helijuma)

- Leptonska epoha

- Vreme 1 – 10 sekundi;
- Anihilacija većina parova hadrona – antihadrona; dominiraju parovi lepton – antilepton
- Na kraju – temperatura opala, ne mogu da nastaju novi parovi lepton-antilepton; anihilacija

- Fotonska era

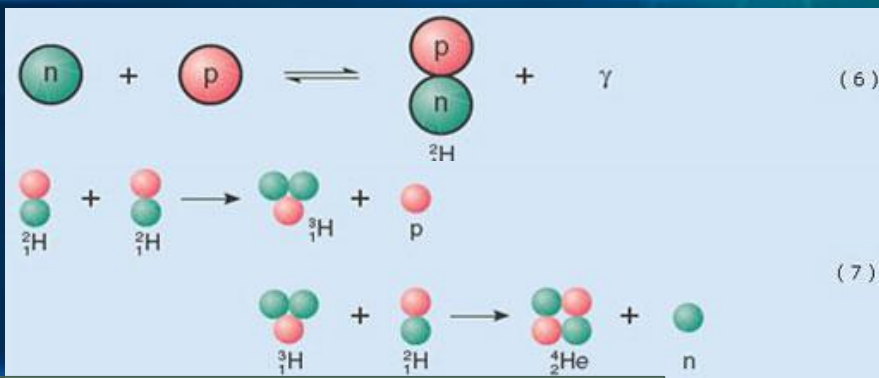
- Vreme 10 sekundi – 380.000 godina; dominiraju fotoni – interaguju sa protonima, elektronima, jezgrima



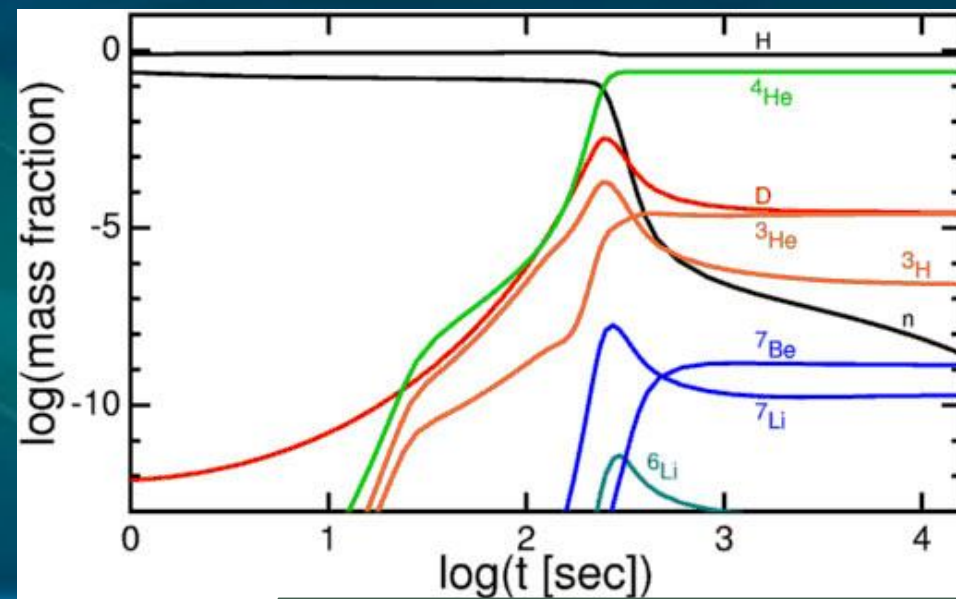
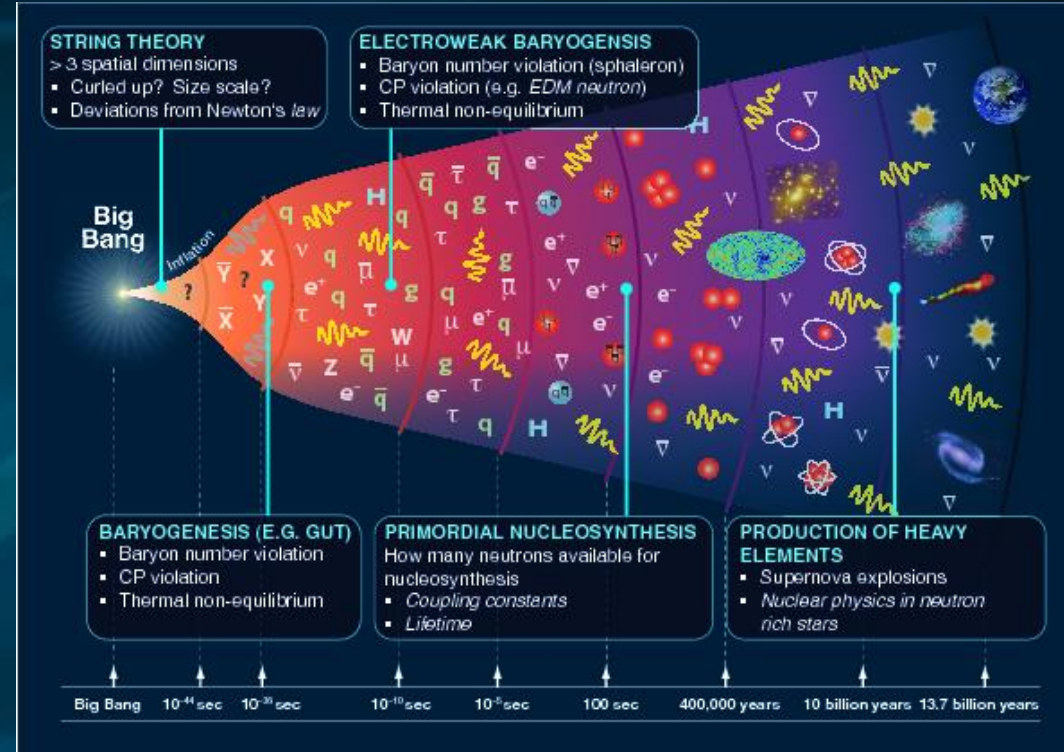
Rani svemir

- Nukleosinteza
 - Vreme 3 – 20 minuta
 - Proton (jezgro vodonika) i neutron – nuklearna fuzija
 - Deuteron; fuzija u helijum-4
 - Za kratko vreme (17 min) opala temperatura, svi neutroni u He
 - 3 puta više vodonika od helijuma-4 (masa); tragovi ostalih elemenata

- **Pibls** – izračunao ove procese (1960)
 - Procenio koncentraciju helijuma i gustinu svemira
 - Zaključak: materija najviše u formi vodonika, 3:1 odnos za helijum



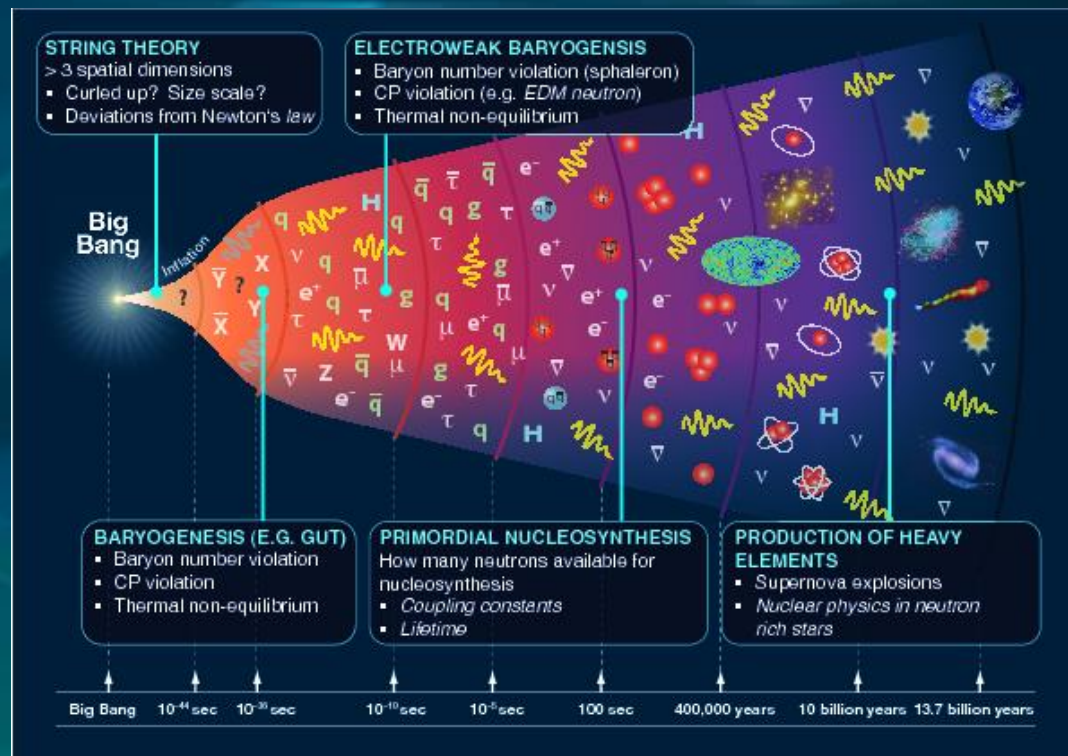
Izvor: OpenLearn, Primordial nucleosynthesis



<http://www.astro.ucla.edu/~wright/BBNS.html>

Rani svemir

- Dominacija materije
 - Vreme 70.000+
 - Gustina nerelativističke materije (jezgra) jednaka relativističkoj (fotoni)
 - Džinsova dužina (radijus minimalne strukture) opada; perturbacije koje nastaju više ne bivaju „izbrisane“ zračenjem, mogu da rastu
- Prema ΔCDM modelu – dominira tamna materija, višestruko uveća nehomogenosti nastale tokom inflacije (gušći regioni – još gušći, ređi – još ređi)



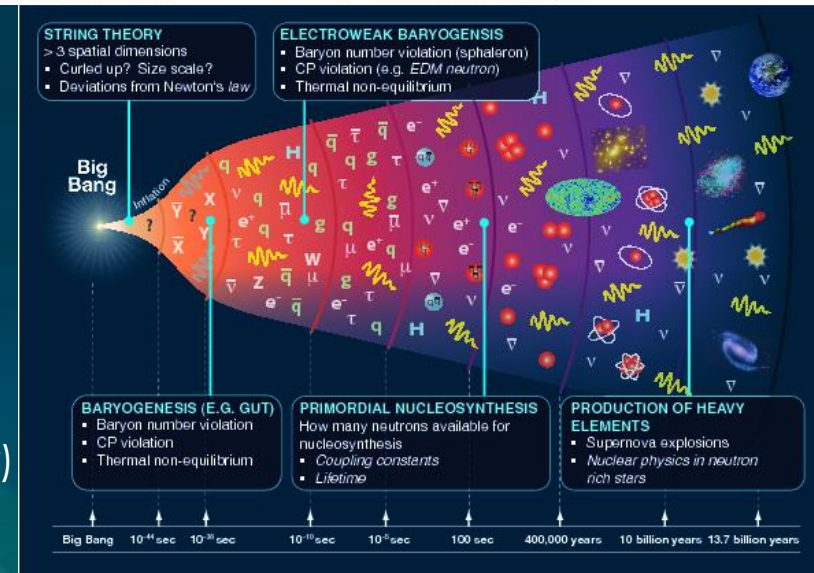
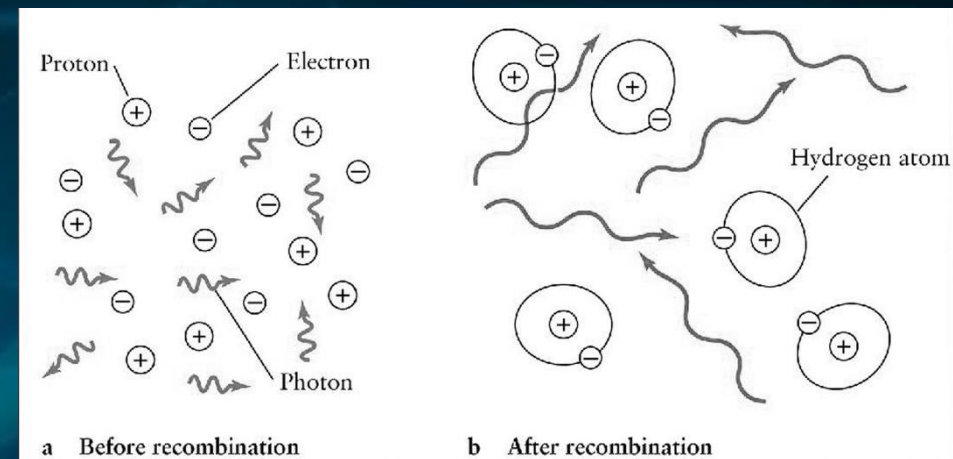
$$a(t) \propto t^{1/2}$$

$$a(t) \propto t^{2/3}$$

$$a(t) \propto e^{Ht}$$

Rani svemir

- Rekombinacija
 - Vreme 377.000 godina
 - Brzina nastanka vodonika i helijuma opada
 - Na početku jonizovani: hlađenje – neutralni atomi
 - (pomenuto) CMB – slika svemira na kraju ove ere
- Mračno doba
 - Vreme 380.000 do 150 miliona godina; svemir **transparentan**
 - Bilo je svetlosti ali nije dostupna posmatranju (crveni pomak u radio spektr)
 - Jedino zračenje – 21 cm linija vodonika; trenutno pokušaj detekcije
 - Oktobar 2010 – snimljena galaksija UDFy-38135539 iz ovog perioda
 - Hlađenje sa 4000 K na 60 K
- Nastanjivo doba
 - Vreme 10-17 miliona godina; temperatura 373-273K → tečna voda (u periodu od 6 miliona godina)
 - Leb (2014) – možda je postojao primitivan oblik života (?)

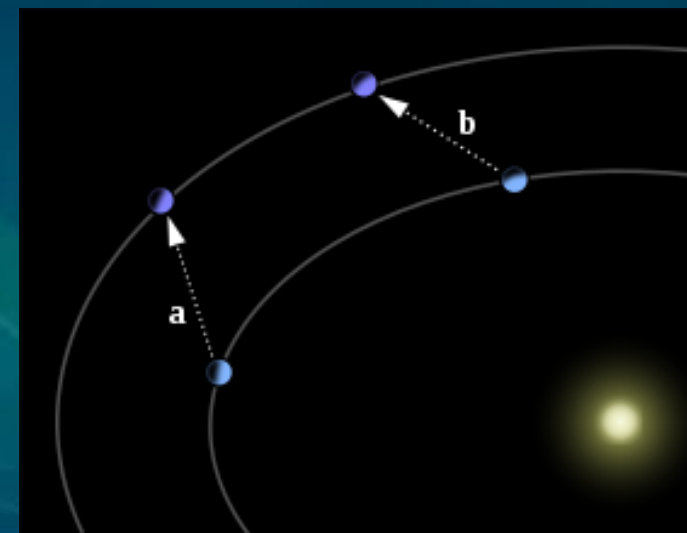
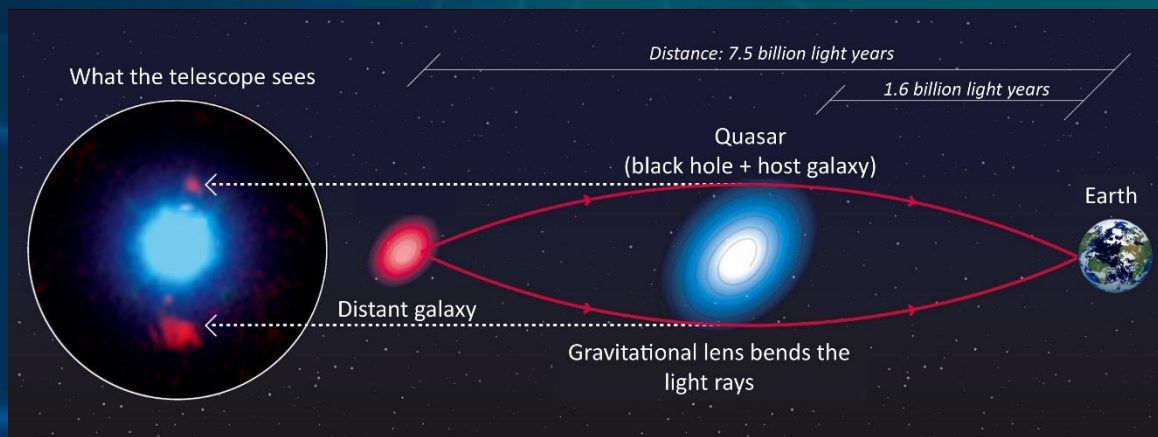


Tamna strana svemira – I deo

TAMNA MATERIJA

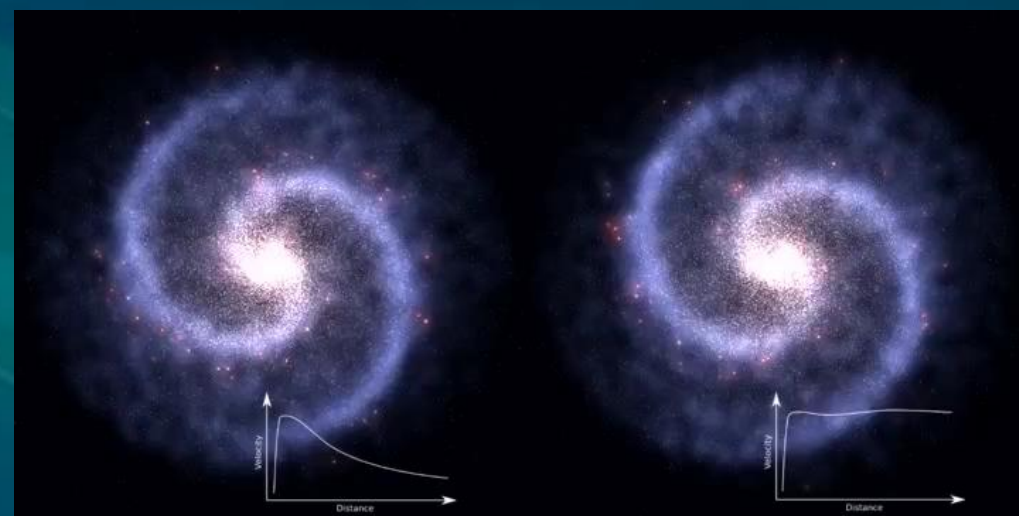
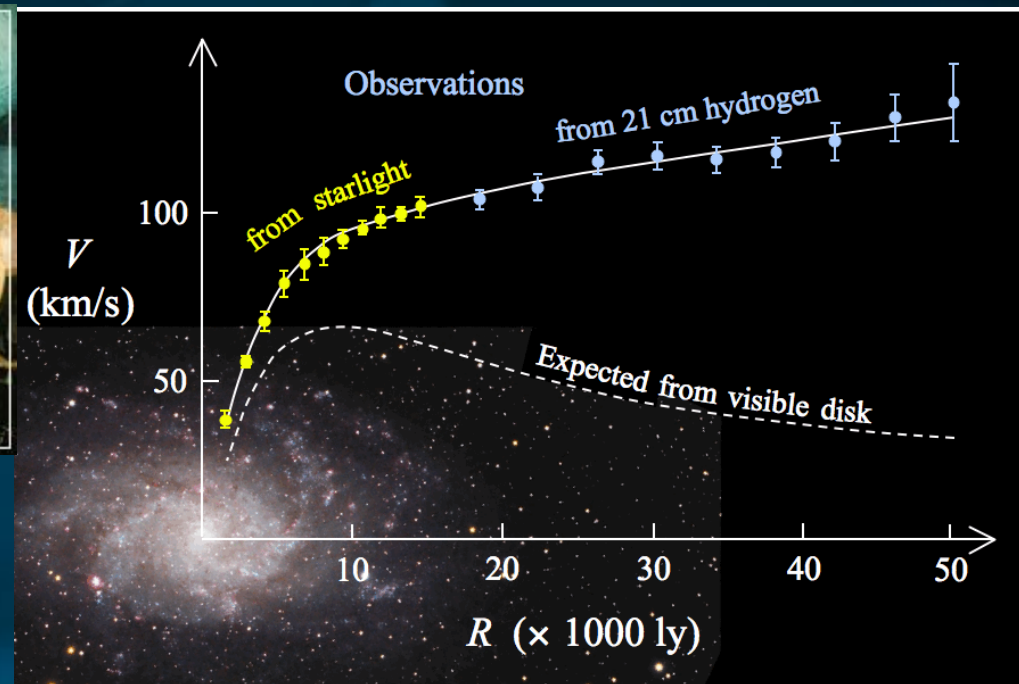
Tamna materija

- Sve što ima masu ima i gravitaciju!
- Gravitaciju ne vidimo ali znamo da postoji
 - Drži nas na Zemlji, razbija stvari u kući, drži Zemlju oko Sunca...
- Videti nevidljivo
 - Gravitacioni efekti → otkriće planete Neptun (1846); Uran se nije kretao kako treba prema Njutnovom zakonu



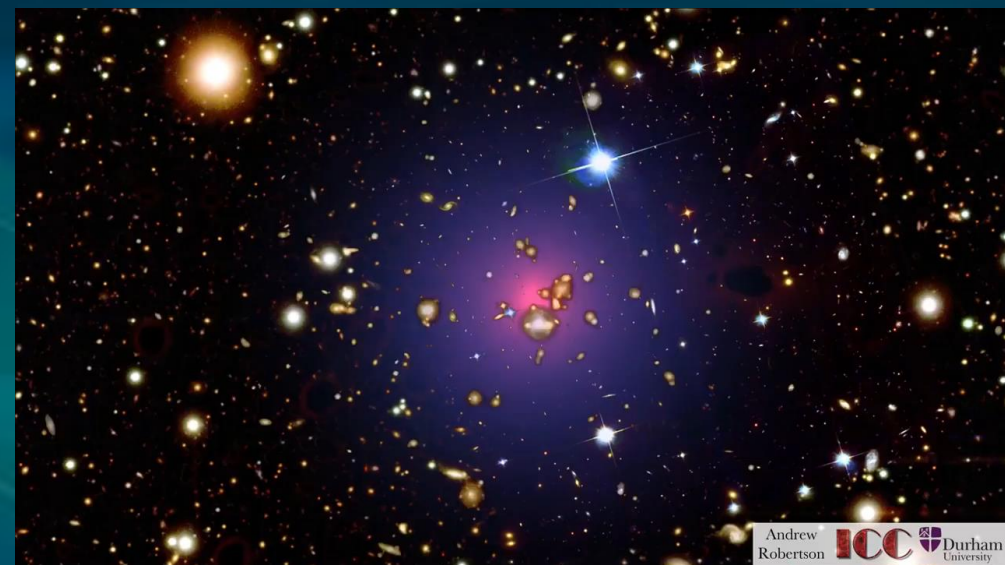
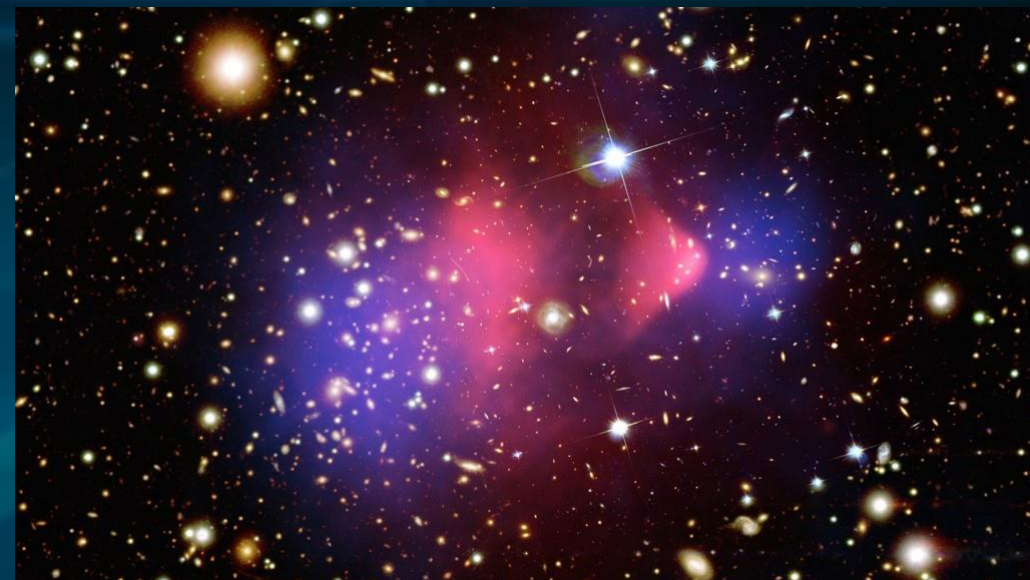
Tamna materija

- Interaguje samo gravitaciono
- Vera Rubin (1928-2016)
- Rotacija galaksija ???
 - Centar galaksije - gust
 - Orbitalna brzina vidljivih zvezda i gasa
- Raspodela brzina nije kao u planetarnom sistemu
- Galaksije – ista ili veća brzina!
 - Veća masa od vidljive
- Uronjene u „halo“ tamne materije
 - V. Rubin: 5 – 10 puta više tamne materije
 - 95% galaksije – halo (tamna materija)



Galaktička jata

- Prva ideja o tamnoj materiji
 - Fritz Zwicky (1930)
 - Galaksije u jatima kreću suviše brzo – jata bi se raspala
 - Tamna materija ih drži na okupu
- Bullet Cluster (1E 0657-558)
 - Sudar dva galaktička jata; gravitaciono sočivo
 - Najbolji dokaz postojanja tamne materije (slično MACS J0025.4-1222)
 - Rastojanje 3,7 milijardi ly;
 - Statistički značaj rezultata 8σ (nikako ne ide u prolog MOND)



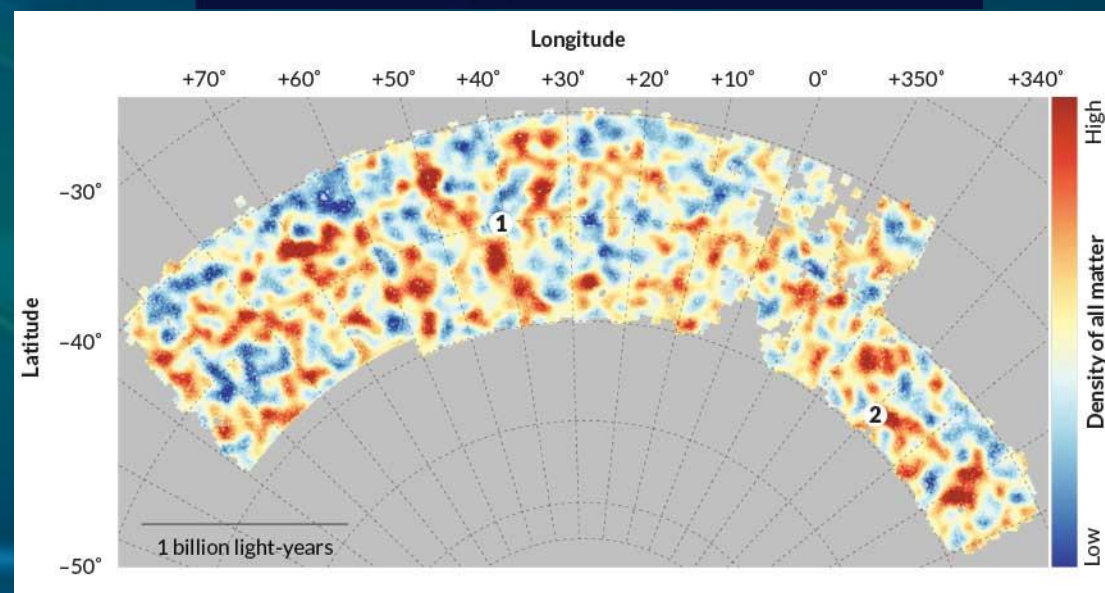
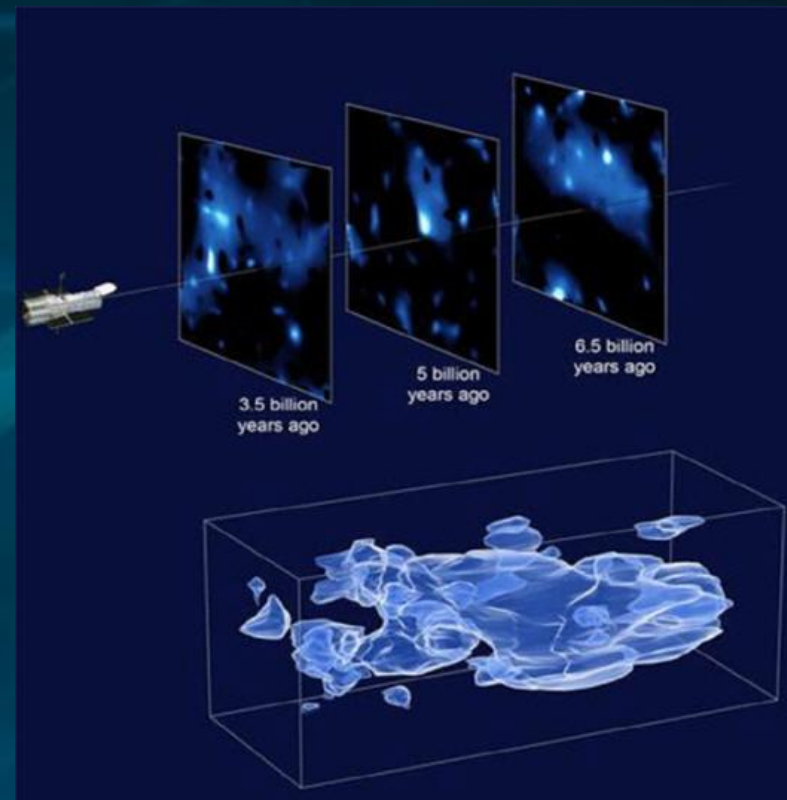
Kandidati za tamnu materiju

- Tamna nebeska tela (MACHO)
 - Massive compact halo object
- Čestice
 - Vrela (brza) tamna materija (neutrini?)
 - Hladna (spora) tamna materija (LSP, WINP)
- Možda (malo verovatno) – ne razumemo gravitaciju?



Tamna materija

- Znamo:
 1. Vidimo efekte
 2. Ima je puno (76% mase, 21% mase+energije)
 3. Više znamo šta nije
- Ne znamo
 - Jedna ili više čestica
 - Da li postoje „tamne sile“?
 - Da li postoji tamna antimaterija?

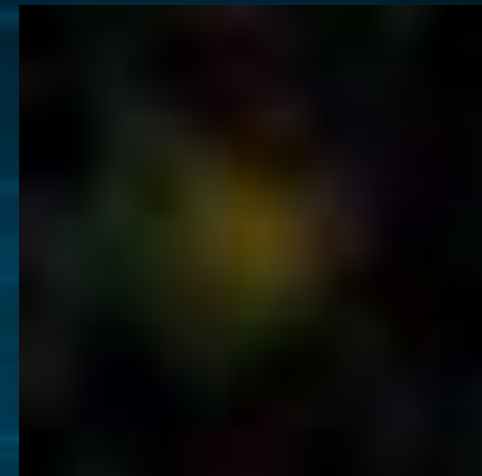




Nastanak velikih struktura

Nastanak velikih struktura

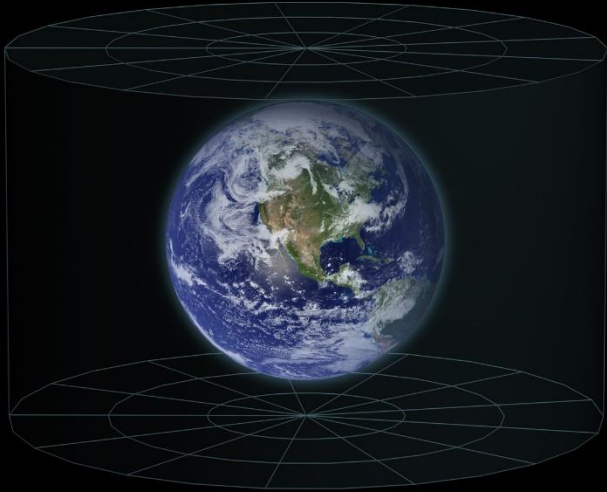
- Prvo nastaju male strukture, od njih veće
- Prvo – kvazari (AGN) i zvezde III populacije (ekstremno masivne zvezde, bez metala – nisu posmatrane, „nastaju“ u kosmološkim modelima)
 - Teški elementi u spektrima kvazara verovatno potiču iz ovih zvezda
 - Galaksija UDFy-38135539 – zvezde III igrale ulogu u rejonizaciji
 - Intenzivno zračenje ponovo jonizuje svemir; o tad i u buduće svemir se sastoji od plazme
- Prve zvezde
 - 700 miliona godina, samo populacija III
 - Laki elementi vodonik, helijum, litijum



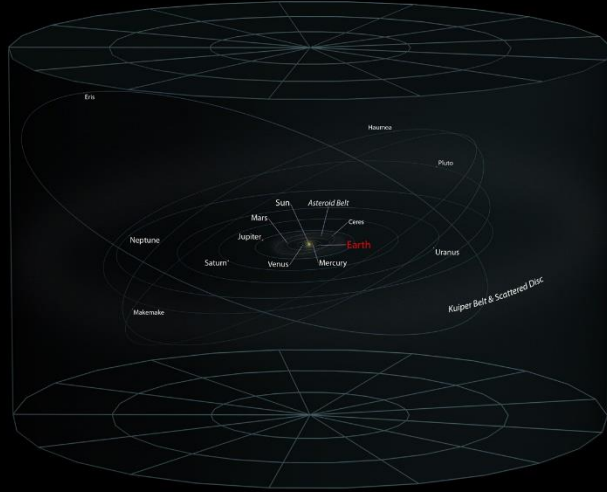
Nastanak velikih struktura

- Gravitacioni kolaps velikih zapremina materije – nastaju galaksije
- Zvezde II populacije – malo metalnih elemenata tek kasnije zvezde I populacije (bogate metalima)
- Nastanak galaksija
 - Manje galaksije u sudarima stvaraju veće
 - Međusobno se privlače, formiraju grupe, klastere i superklastere

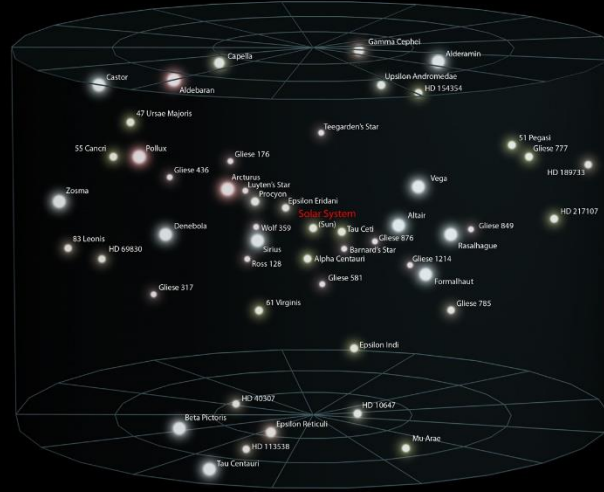
EARTH



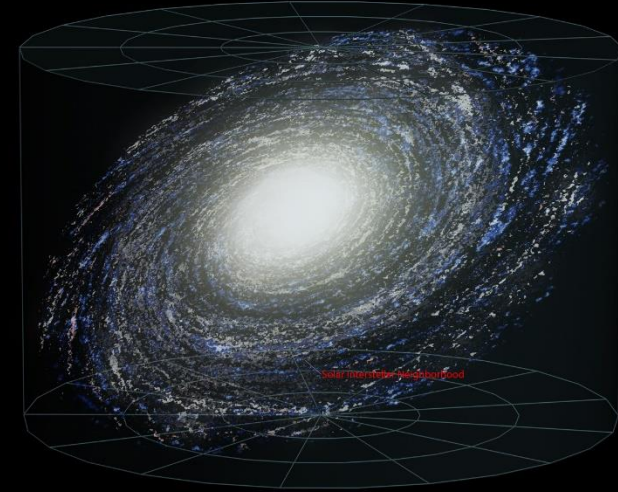
SOLAR SYSTEM



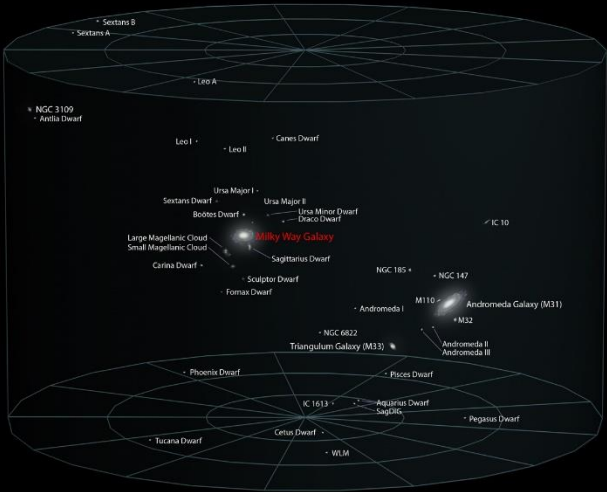
INTERSTELLAR NEIGHBORHOOD



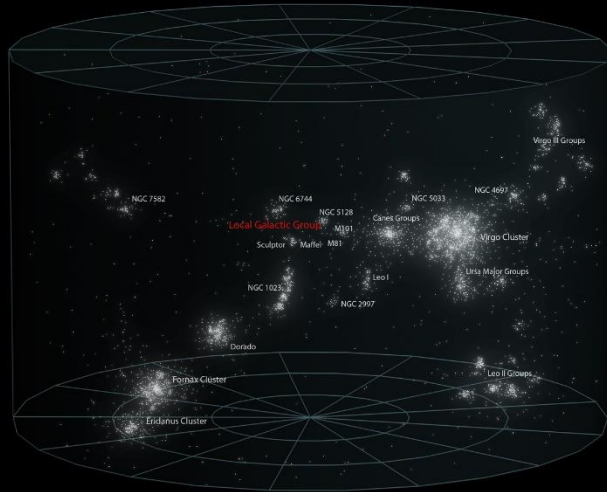
MILKY WAY GALAXY



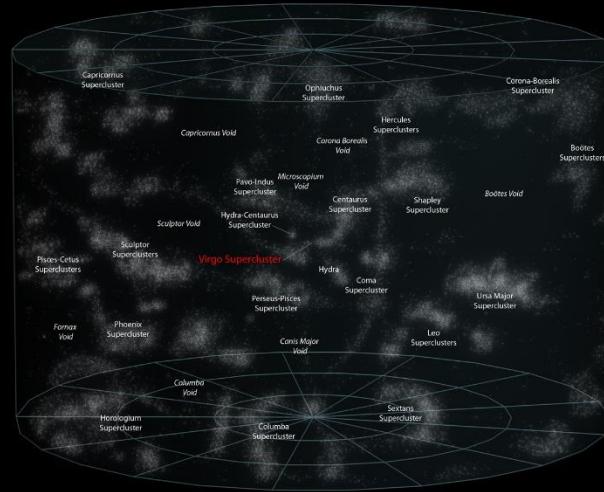
LOCAL GALACTIC GROUP



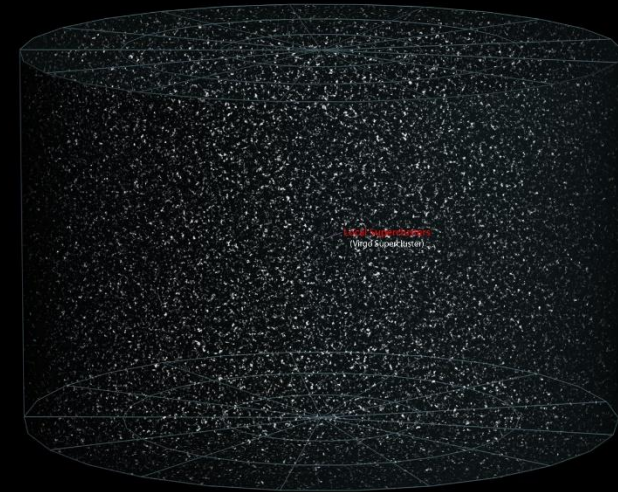
VIRGO SUPERCLUSTER



LOCAL SUPERCLUSTERS

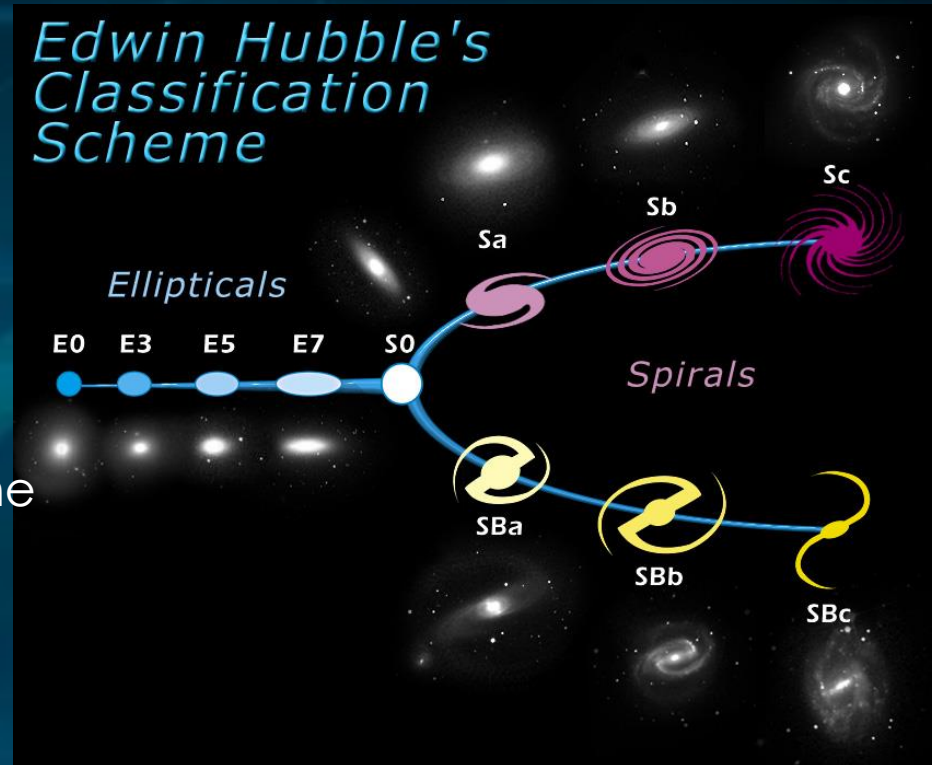


OBSERVABLE UNIVERSE



Formiranje galaksija

- E. Hابل – prva klasifikacija galaksija
 - Eliptične, obične spirale, spiralne sa prečagom, nepravilne
- Osobine:
 - Boja → dve grupe: plave – nastaju zvezde (spiralne), i ond egde ne nastaju zvezde (eliptične)
 - Spiralne – tanke, guste, brzo rotiraju; eliptične – nepravilno kretanje zvezda
 - Najveći deo mase – tamna materija (reaguje samo gravitaciono)
 - Najveći deo velikih galaksija – supermasivna crna rupa
 - Metaličnost u pozitivnoj korelaciji sa apsolutnim sjajem

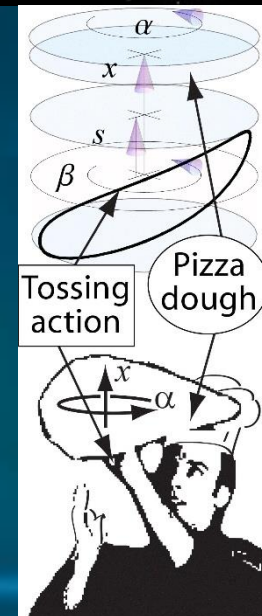
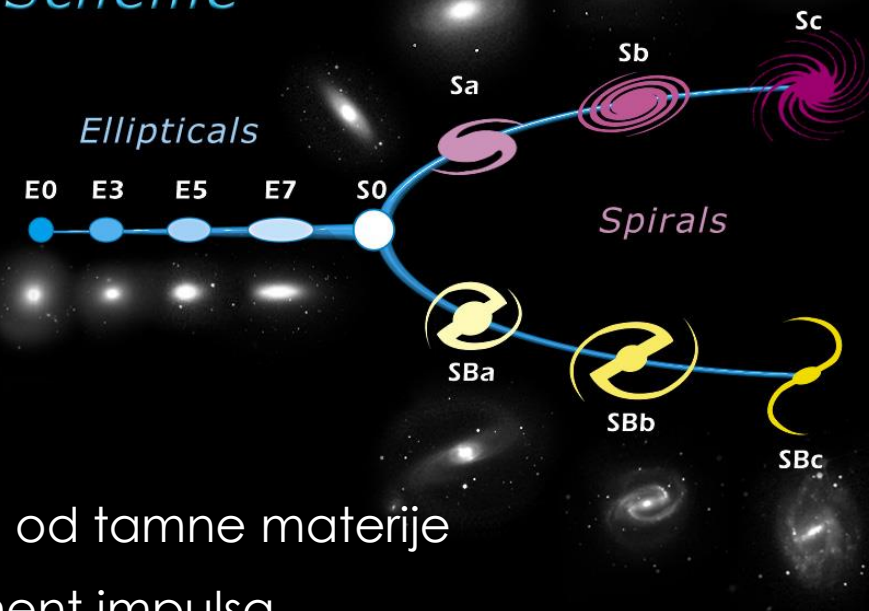


Formiranje galaksija

- „Top-down“ teorija

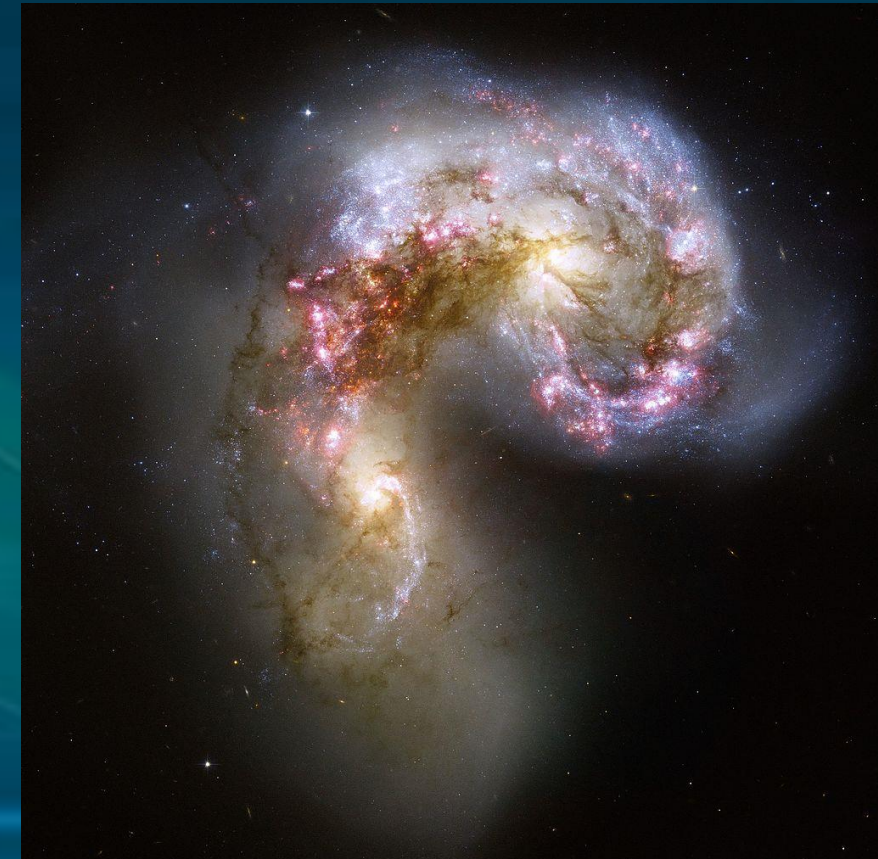
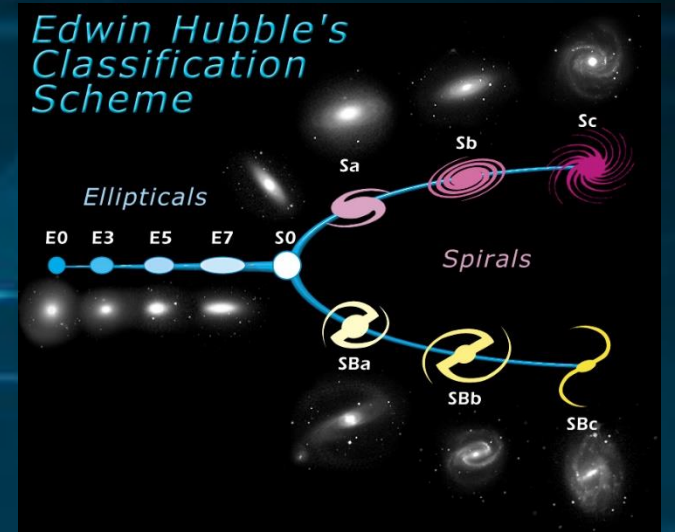
- Olin Eggen, Donald Lynden-Bell, Allan Sandage (1962)
- Disk nastaje tokom kolapsa velikog oblaka gasa
- Raspodela materije u ranom svemiru – „grudve“, pretežno od tamne materije
- „Grudve“ interaguju gravitaciono; plimske sile – dale moment impulsa
- Barionska materija – hladi, skuplja ka centru; održanje momenta – veća brzina rotacije
 - Kao rotacija pizze, disk sve tanji i tanji
 - Gas sve hladniji – raspada se na manje delove od kojih nastaju zvezde
 - Tamna materija ostaje izvan diska – kao halo
- Jednostavna teorija, ali danas je slabo prihvaćena

Edwin Hubble's Classification Scheme



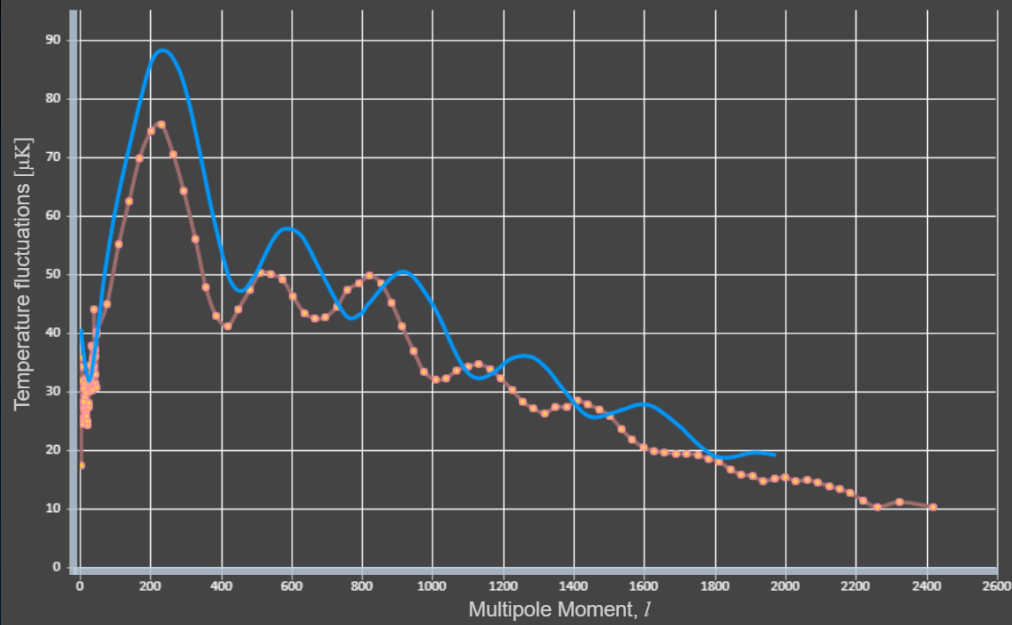
Formiranje galaksija

- „Bottom-up“ teorija
 - Novija teorija
 - „grudve“ materije veličine zvezdanih jata spajanjem formiraju galaksije
 - Privlačenje nastalih galaksija – formiranje jata
 - Nastanak diska i haloa tamne materije na sličan način kao i u prethodnim modelima
- Nepoznato šta zaustavlja mehanizam formiranja diska
 - Zračenje sjajnih mladih zvezda, zračenje iz aktivnog jezgra...?
- Sudar dve galaksije (jedna bar 15% mase druge)
 - Uništava disk, nastaju eliptične galaksije

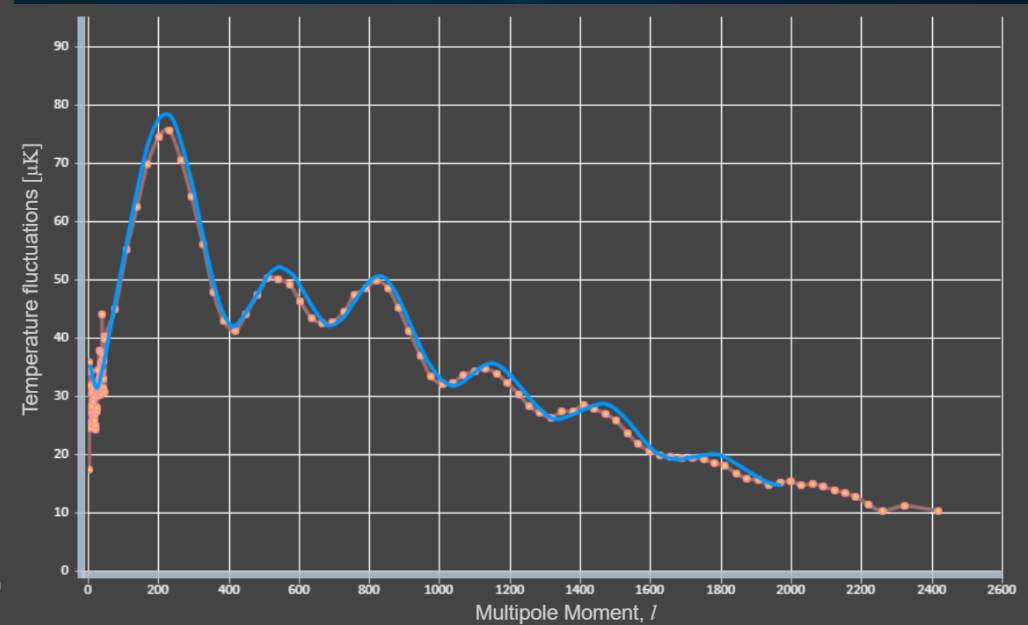


Problem...

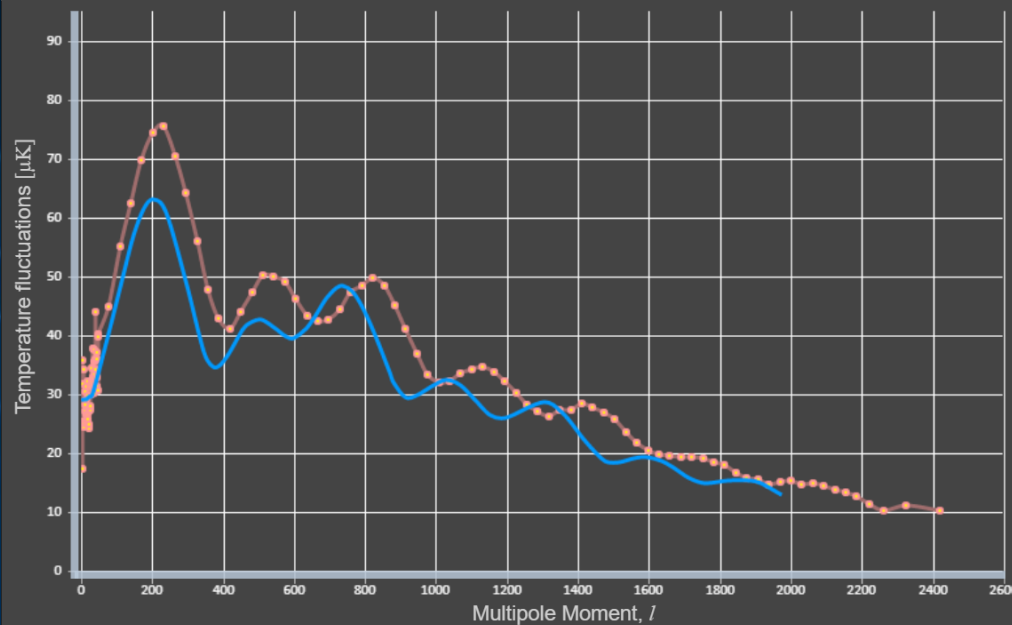
- Vidljiva „zrnasta“ struktura nedovoljna!
- Razlika u gustini mala, zgušnjavanje bi bilo nedovoljno za nastanak galaksija koje znamo (vidimo), tj. ne bi trebalo da su već formirane
- Rešenje – **Pibls** (1982)!
 - Tamnu materiju ne vidimo, ne apsorbuje/emituje svetlost
 - U ranom svemiru – zgušnjenja tamne materije
 - Pomogla (ubrzala) formiranje galaksija, ali se ne vide u CMB
 - Pibls teorijski pokazao da zgušnjenja tamne materije mogu da dovedu do formiranja galaksija a da je doprinos varijaciji temperature CMB oko 100 puta manji od očekivanog



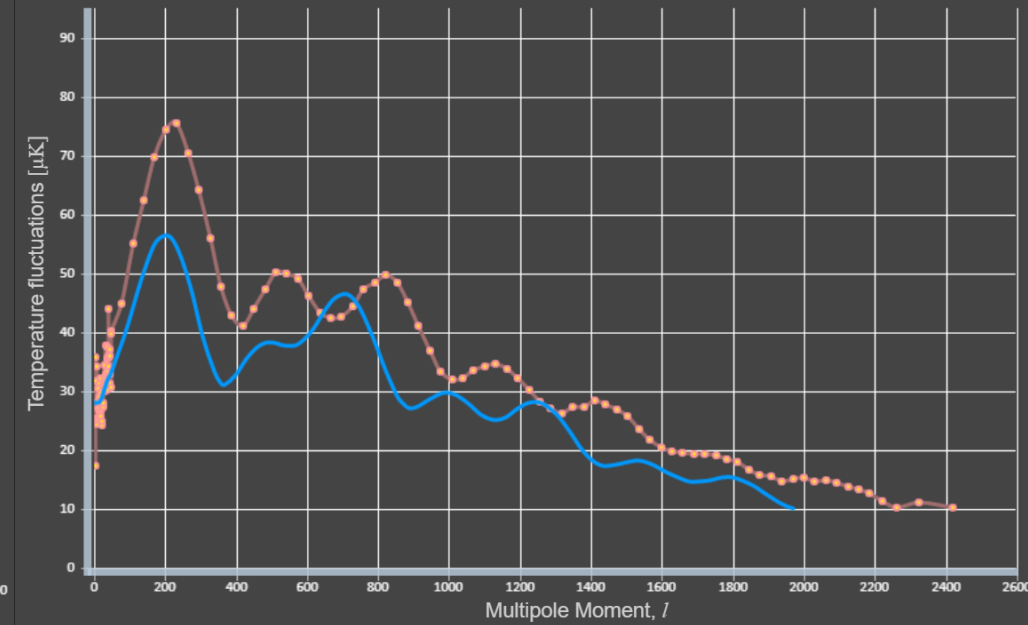
Dark Matter Fraction = 0.10



Dark Matter Fraction = 0.20



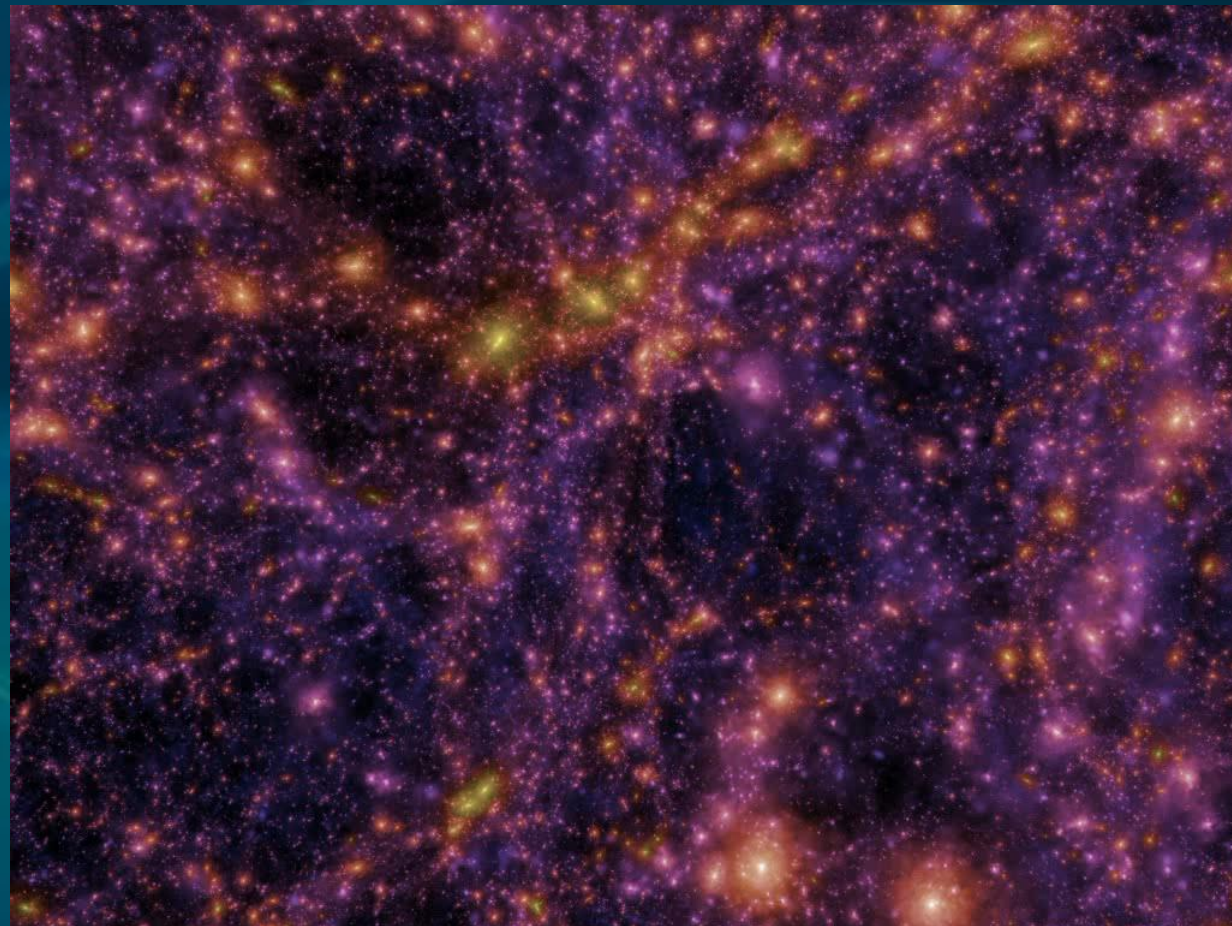
Dark Matter Fraction = 0.50



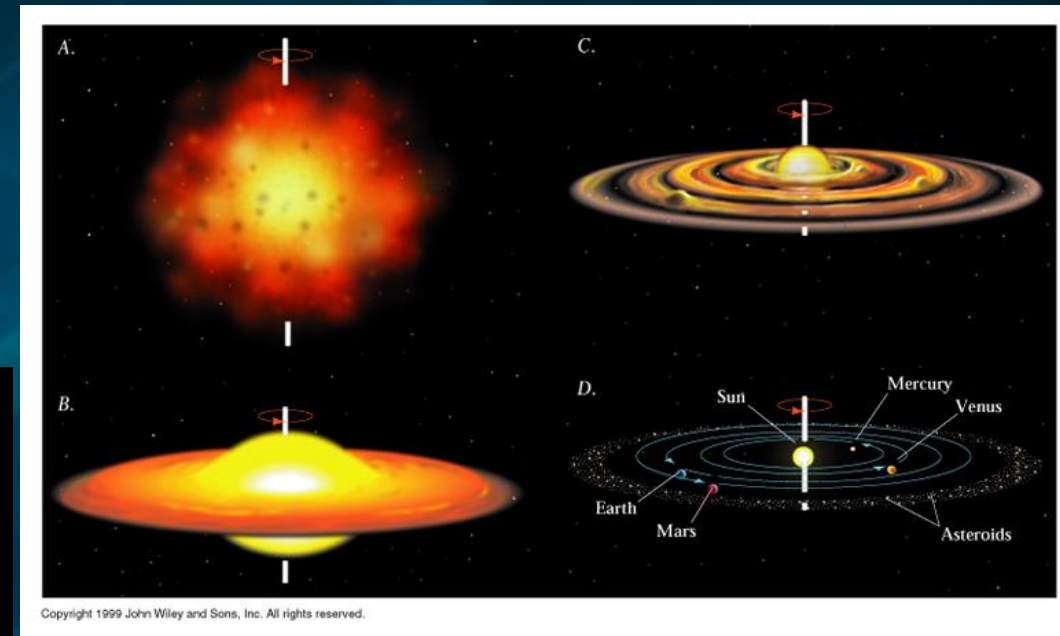
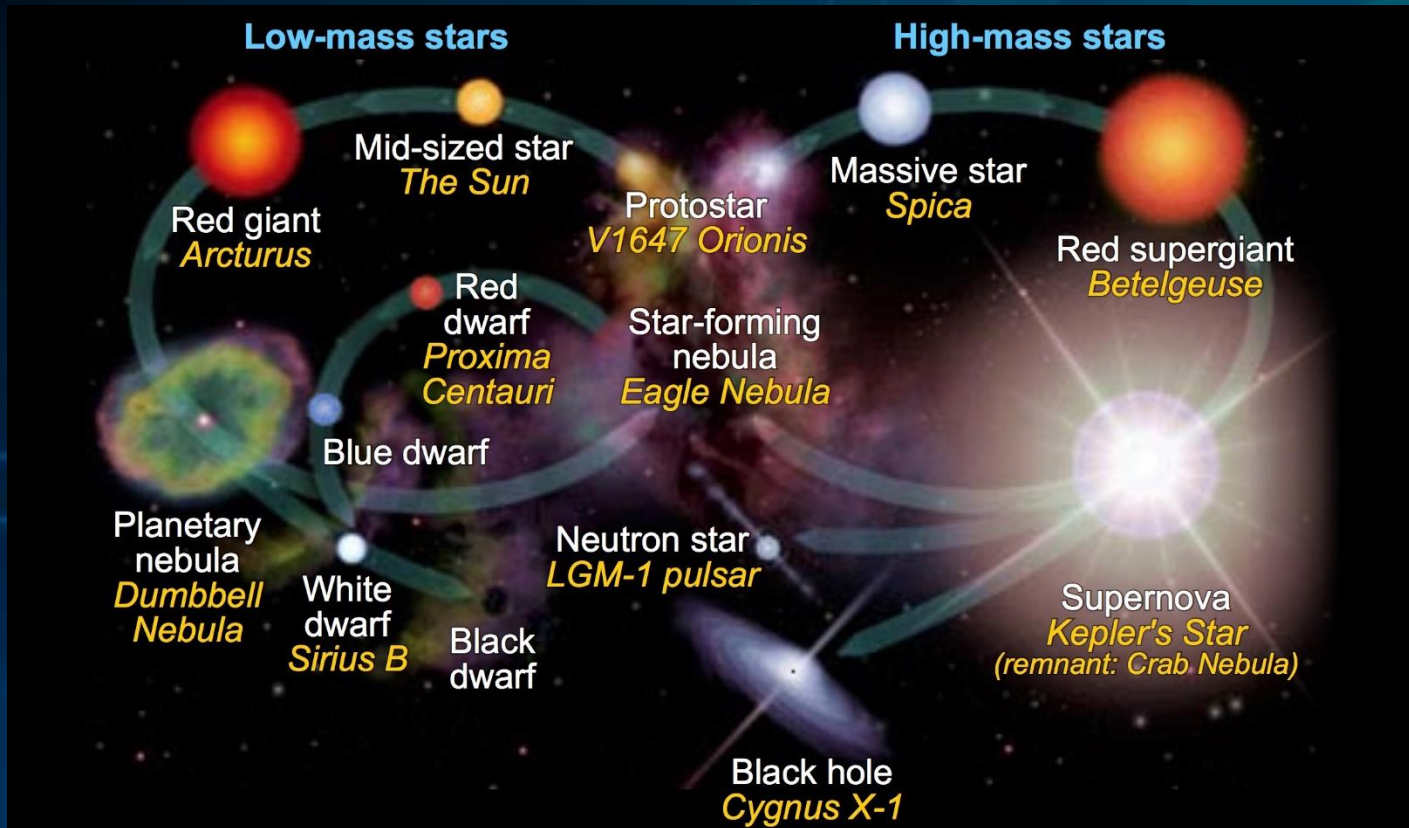
Dark Matter Fraction = 0.80

The Millennium Simulation Project

- Simulacija – teorijski „alat“, za izračunavanja u nelinearnom režimu;
- Povezuju (jednostavne) kosmološke početne uslove sa današnjim (kompleksnim) svemirom
- Garhing, Nemačka (prvi: 2005)
 - 10 milijardi (2160^3) čestica (svaka milijardu solanih masa tamne materije)
 - Prostor – stranica kocke 2 milijarde svetlosnih godina; rezultat 20 miliona „galaksija“
- Millenium XXL (2010) - 6720^3 čestica; kocka 13 milijardi svetlosnih godina
 - 15 superkompjuteru, 12000 jezgara, 300 CPU godina
30 TB RAM, 100 TB podataka



U galaksiji



Povratak na početak

PUT U NEPOZNATO. INFLACIJA.

Standardni kosmološki model

- SKM: oko 15 problema, najvažniji
 - Ravna geometrija svemira
 - Problem horizonta
- Rešenje – inflacija?! (A. Gut, K. Sato, 1981)
 - Inflacija - faza eksponencijalnog širenja (uveća 10^{26} puta)
 - Uspešno radi, proces – nepoznat (pre svega početak)
 - Teorijski – opisano klasičnom fizikom (jednim ili više skalarnih polja)
 - Početak – kvantni efekti → kvantna kosmologija
 - Procesi koji traju $10^{-35} - 10^{-43}$ s i na rastojanjima $10^{-35}m$
 - mogućnost p-adične i adelične inflacije, tj. procesa na nearhimedovim prostorima

Inflacija

- Godišnja inflacija u Srbiji 9%
 - *Ekonomski institut (EI) iz Beograda ocenio je da će inflacija u Srbiji u ovoj godinu biti devet odsto.*
- NBS: Februarska inflacija iznad gornje granice
 - *Inflacija u Srbiji u februaru bila je 12,6 odsto u odnosu na isti mesec prošle godine, što je iznad gornje granice cilja Narodne banke Srbije, koji za februar iznosi 5,8 plus minus 1,9 odsto, objavila je danas centralna banka.*

Šta je to inflacija?

- Reč iz latinskog jezika, i u bukvalnom prevodu znači *naduvati se, nateći*.
- Hiperinflacija:
 - *Nemačka, 1923*: 3,25 miliona % mesečno (cene duplirale na dva dana)
 - Novembar 1923: 1.000.000.000.000 starih za jednu novu marku
 - *Mađarska, 1946*: $1,16 \times 10^{16}$ % mesečno (cene duplirale na 15h)
 - Avgust 1946: 4×10^{29} starih za jednu novu forintu
 - *Srbija, 1993*: 5×10^{15} % od oktobra do januara (cene duplirale na 16h)
 - Januar 1994: jedan novi dinar = 1×10^{27} starih

Bilo je to ovako...

Извештај са девизног тржишта ^[1]				
Курсеви се примењују од 30.12.1993. године				
Земља	Важи за	Курс у динарима		
		Продајни за девизе	Куповни за девизе	Куповни за ефективну
Аустралија	1 долар	1201323984754	1194137600000	1140401408000
Аустроија	1 шилинг	146792141291	145914022799	142266172229
Белгија	1 франак	49660513927	49363442059	48005947403
Канада	1 долар	1333624791922	1325646976617	1265992862669
Данска	1 круна	264471692041	262889608140	255660143916
Финска	1 марка	309703676230	307851012165	299385109330
Француска	1 франак	303694933862	301878214418	293576563521
Немачка СР	1 марка	1031813388885	1025641025641	1000000000000
Грчка	1 драхма	7193775279	—	6828958350
Ирска	1 фунта	2519680866600	—	2391900640000
Италија	100 лира	104247118336	103623506462	101032918800
Јапан	1 јен	15928844090	15833556887	15121046827
Кувајт	1 динар	5952623674421	5917014759120	5650749094960
Холандија	1 гулден	922152836657	916636468741	891428965850
Норвешка	1 круна	238001554489	236577816376	230071926426
Португал	1 ескудос	10138432752	10077784102	9624283817
Шведска	1 круна	214147608205	212866565683	207012735127
Швајцарска	1 франак	1214262191255	1206998409452	1176823449216
В. Британија	1 фунта	2635823102374	2620055466667	2548003941333
САД	1 долар	1781326642555	1770670650676	1721977207782
Евр. обр. јед.	1 ЕКУ	1997218937880	1985271466667	—
Шпанија	1 пезета	12522478978	12447568834	11887428237

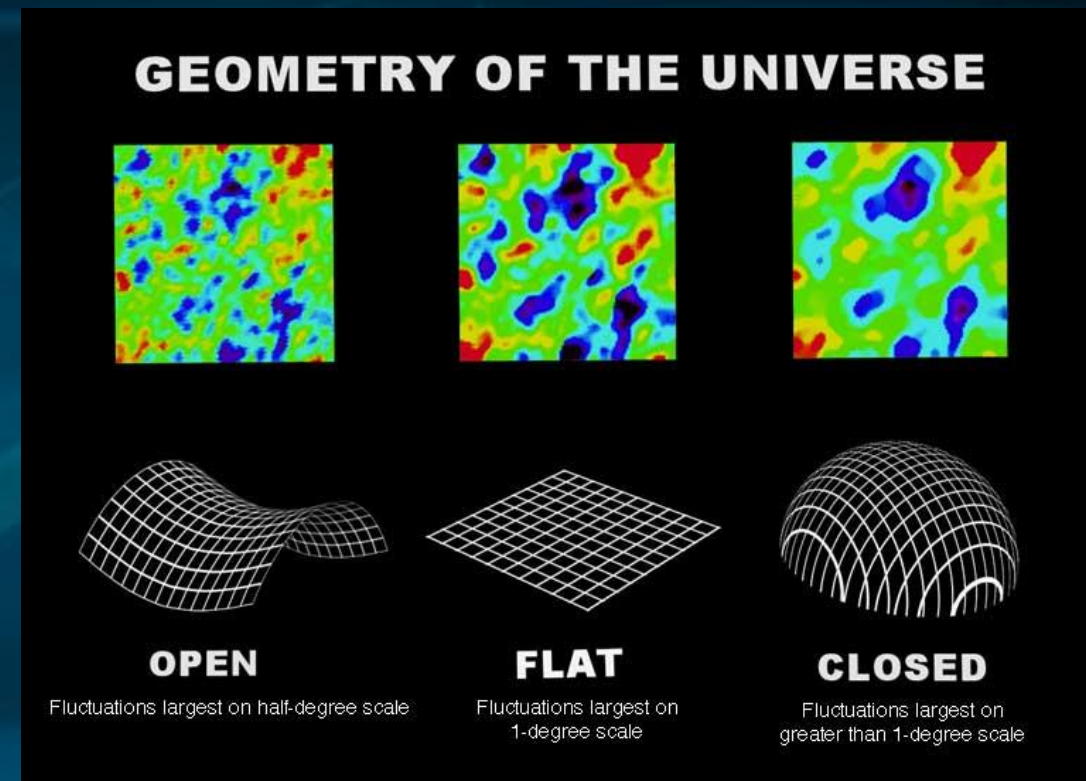
Обрачунаски долар износи 1775998646615 динара.



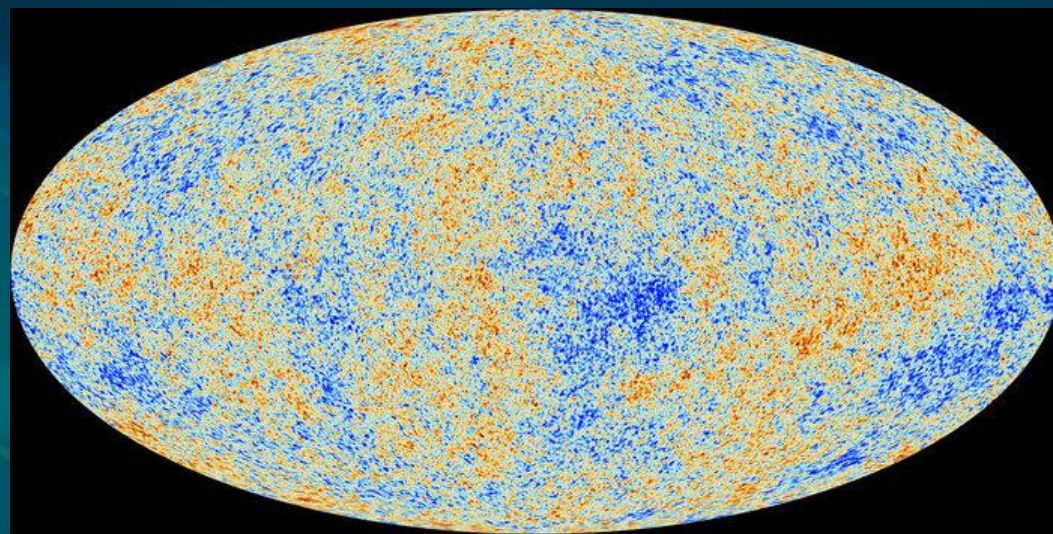
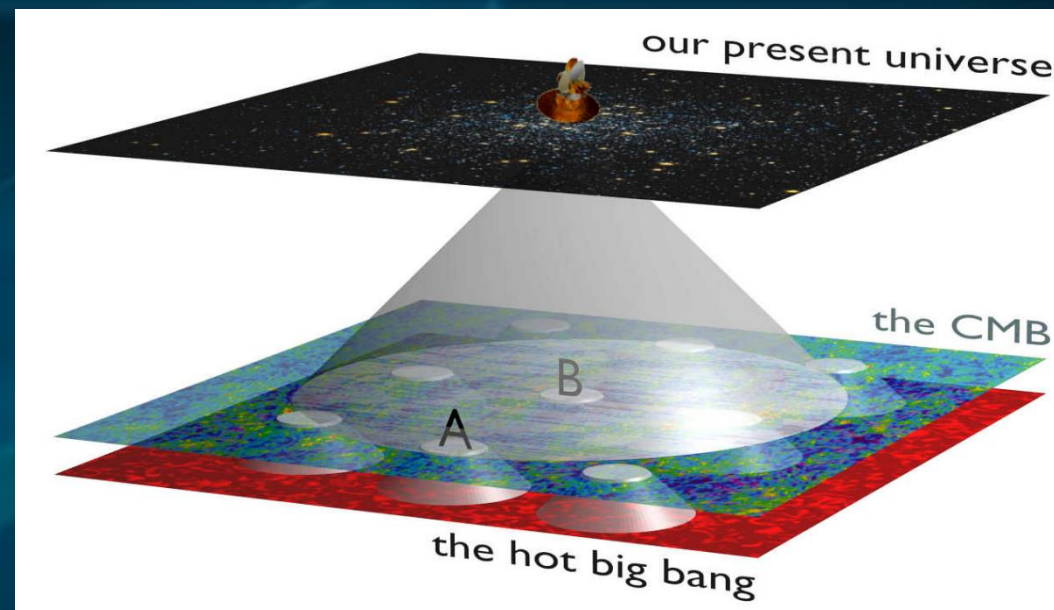
Званична курсна листа за југословенски динар,
објављена у *Политици* 30. децембра 1993.

Problemi

- Ravna geometrija
 - Najnoviji podaci pokazuju da je vrednost ukupne gustine približna kritičnoj, tj. svemir je skoro ravan
 - Model – ako postoji mala zakrivljenost prostora ona tokom vremena **raste!**
 - Neophodno “fino” podešavanje
- Problem horizonta
 - Jedan od najvažnijih nedostataka
 - (ne)mogućnost komunikacije između udaljenih delova svemira
 - Svetlost prelazi **konačno** rastojanje => vidljiv svemir

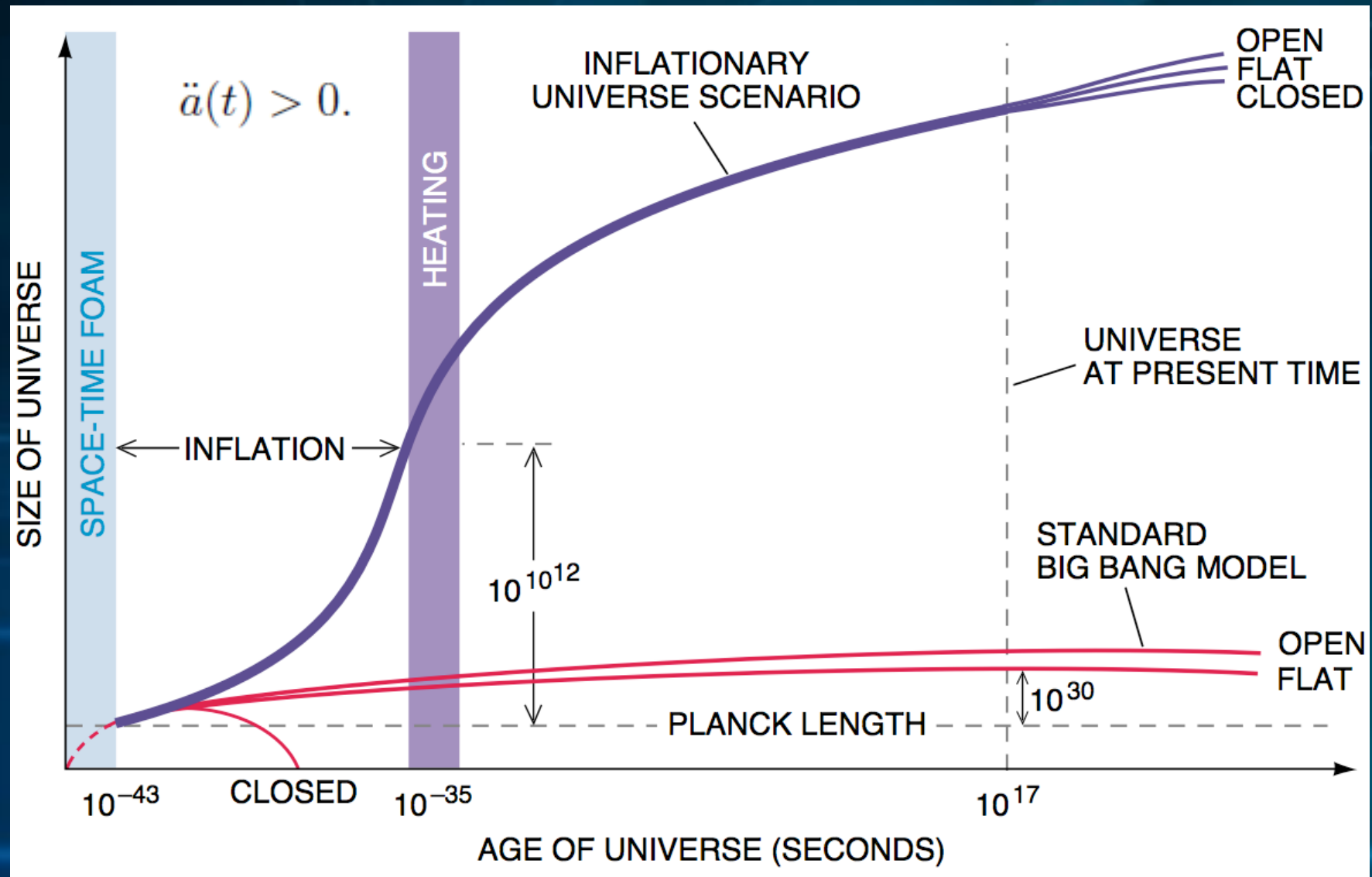


- Kako je nastala termodinamička ravnoteža?
- “Signal” stiže iz suprotnih pravaca, koji nisu mogli da komuniciraju
- CMB zračenje nastalo u vreme kad je svetlost mogla da prelazi još kraća rastojanja
- Delovi koji su na rastojanju većem od 1-2 lučnog stepena ne mogu da komuniciraju!
- **Problem velikih struktura:** Kako su nastale galaksije ako je svemir homogen?

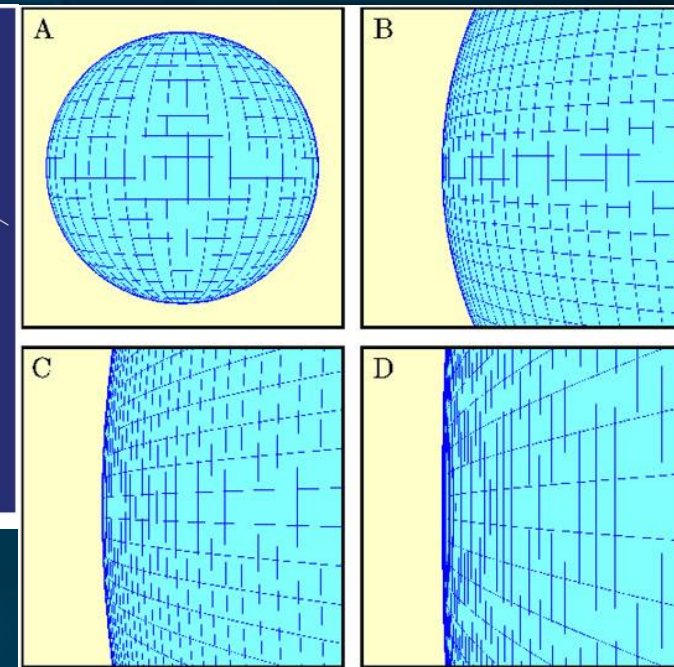
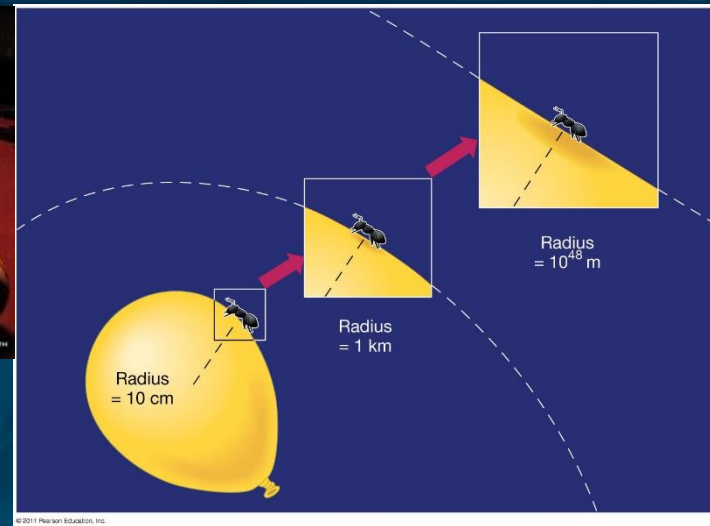


$$T = 2,7 \pm 10^{-5} K$$

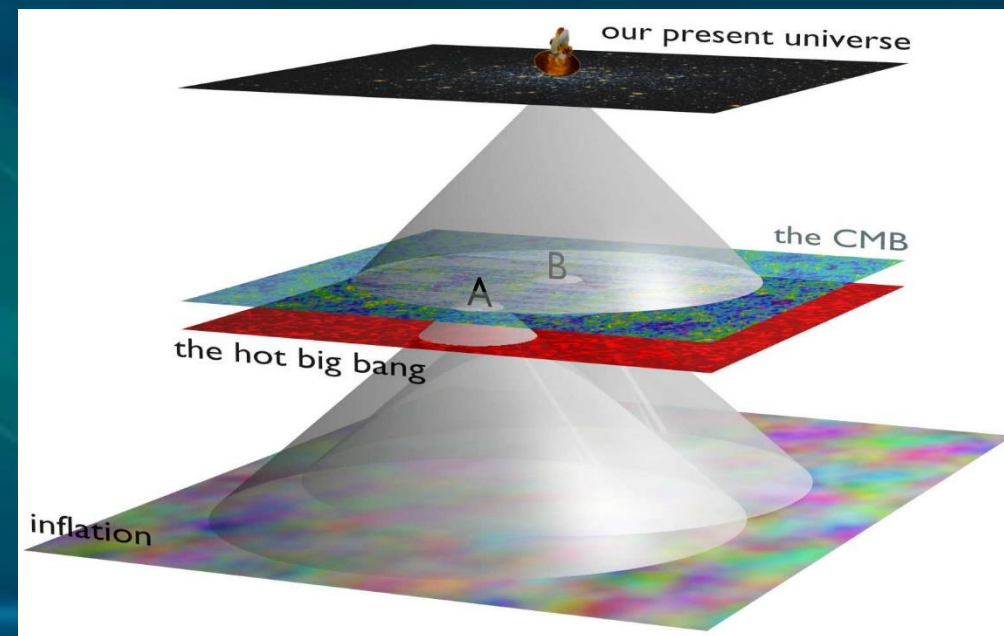
Rešenje problema - inflacija



Inflacija



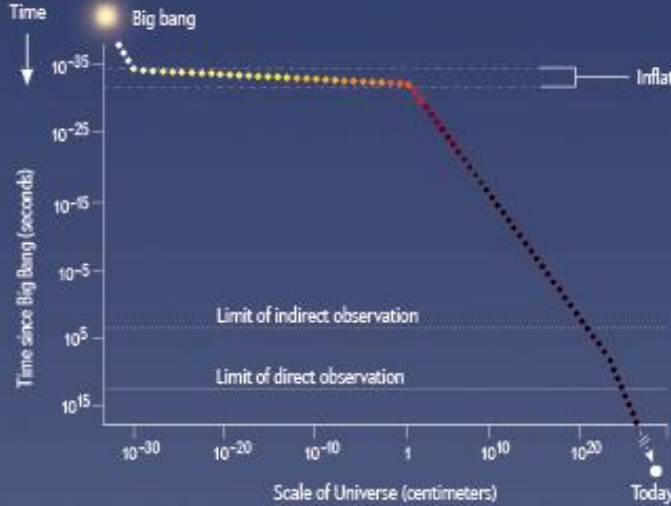
- Ravna geometrija
 - Uslov inflacije primorava ukupnu gustinu da se približi jedinici
- Horizont
 - Svemir se širi ali ne menjaju se karakteristične dimenzije, mali deo svemira poraste do višestruko većih dimenzija od vidljivog svemira



The Ultimate Growth Spurt

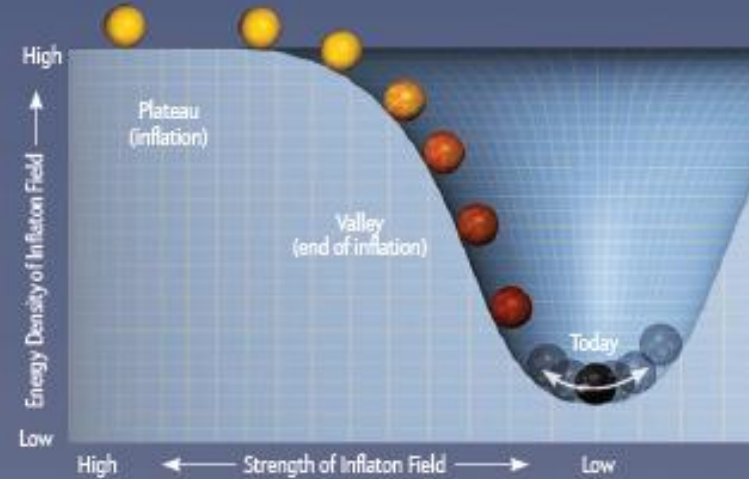
Astronomers observe that the universe is expanding and has been doing so for 13.7 billion years. But what happened at the very earliest times, too early to see directly? The leading idea is known as cosmic inflation. It supposes that the embryonic universe abruptly ballooned in size. Such a growth spurt would have ironed out any curves and warps in space, thus explaining the geometry of the universe today, and left behind slight nonuniformities that seeded galaxies.

WHAT INFLATION DID



The amount of growth was impressive even by astronomers' standards. Within 10^{-30} second, the universe enlarged by a factor of at least 10^{20} in every direction. It expanded at an accelerated rate, pulling regions of space apart faster than the speed of light.

WHAT CAUSED INFLATION



A relative of the magnetic field, the "inflaton" generated a repulsive gravitational force that drove space to swell rapidly momentarily. For that to occur, the field's energy density had to vary with strength such that it had a high-energy plateau and a low-energy valley. The field evolved like a ball rolling downhill. On the plateau, it exerted the repulsive force. When it hit the valley, inflation ended.



The volume of space we observe today was a quadrillionth the size of an atom when inflation began. During inflation it grew to the size of a dime. In the billions of years since then, space has continued to expand but at a mellow pace, allowing structures such as galaxies to form. (This figure is conceptual and not to scale.)

Modeli

- Prvi modeli pre 30 godina
- Proces nije potpuno objašnjen
- Energija – daleko od današnjih akceleratora
- Teorijski model nastaje postuliranjem, rezultati upoređuju sa posmatranjima
- Problem – puno (previše!?!) modela koji odgovaraju posmatranjima 😞
 - Većina bazirana na standardnoj (klasičnoj) fizici

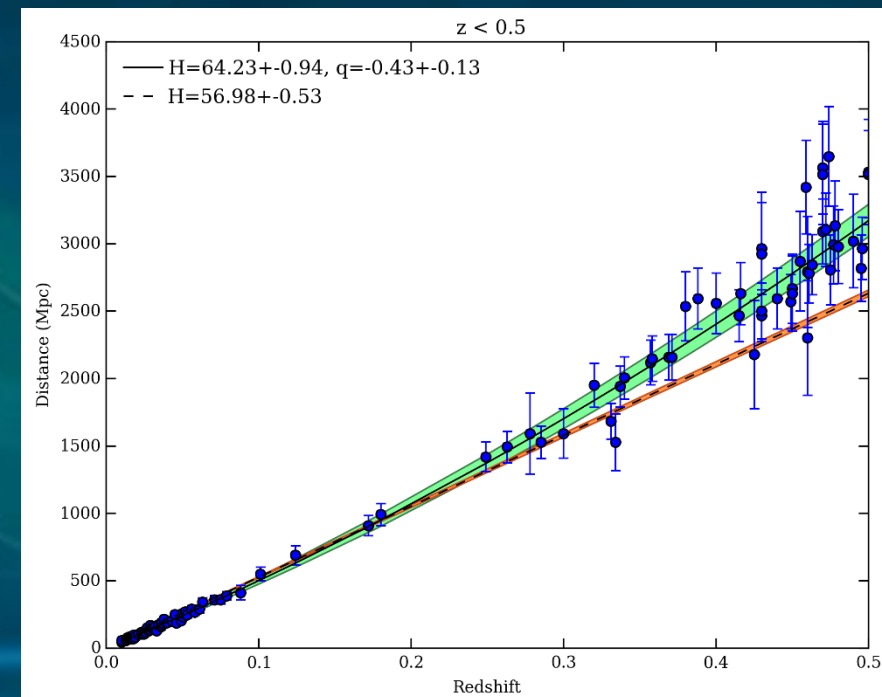
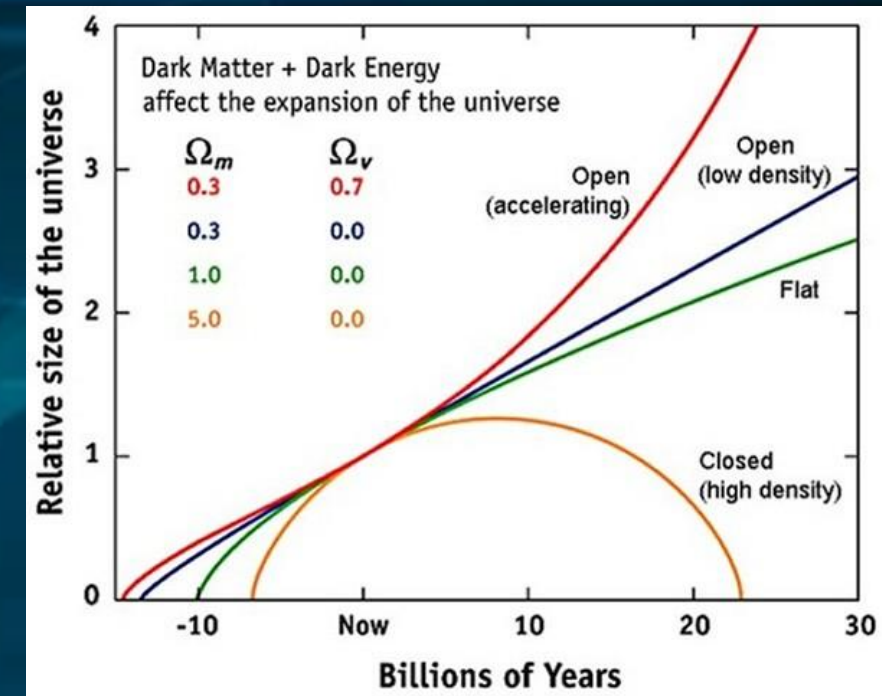


Povratak u sadašnjost

GODINA 1998

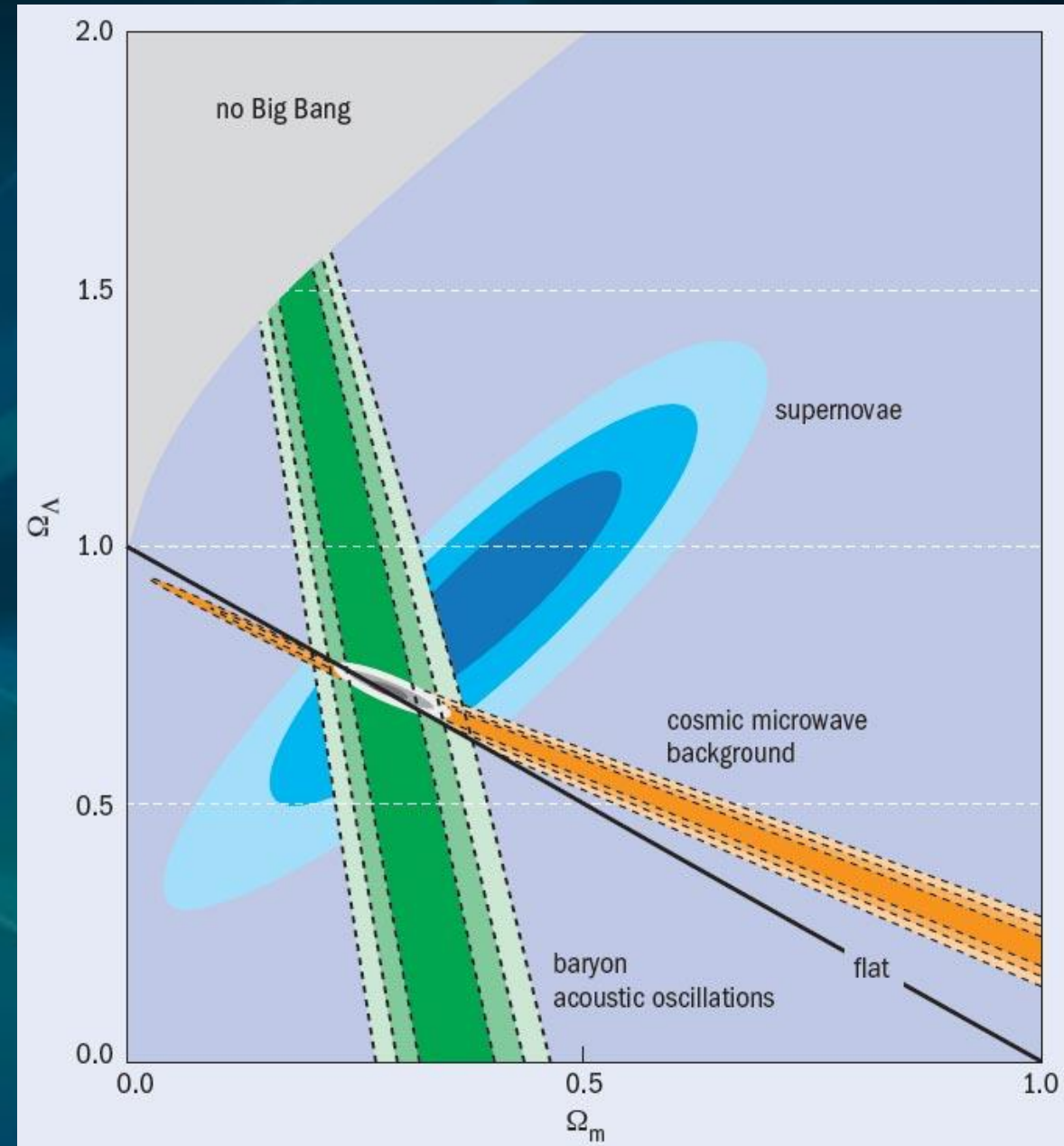
Tamna strana svemira – II deo

- Supernova Cosmology Project i High-Z Supernova Search Team (1998)
 - Analizirali brzinu udaljenih SN 1a (standardne sveće)
 - svemir se širi ubrzano
- Još jedan problem – svemir je ravan!
 - materija + tamna materija nisu dovoljne
- **Pibls** – predložio „novu“ energiju
 - Tzv. energiju osnovnog stanja (vakuma)
 - Homogeno raspoređena, bez strukture i zgušnjavanja
- Era dominacije tamne energije
 - Pre oko 5 milijardi godina
- Ajnštajnova kosmološka konstanta
 - Ponovo „u modi“

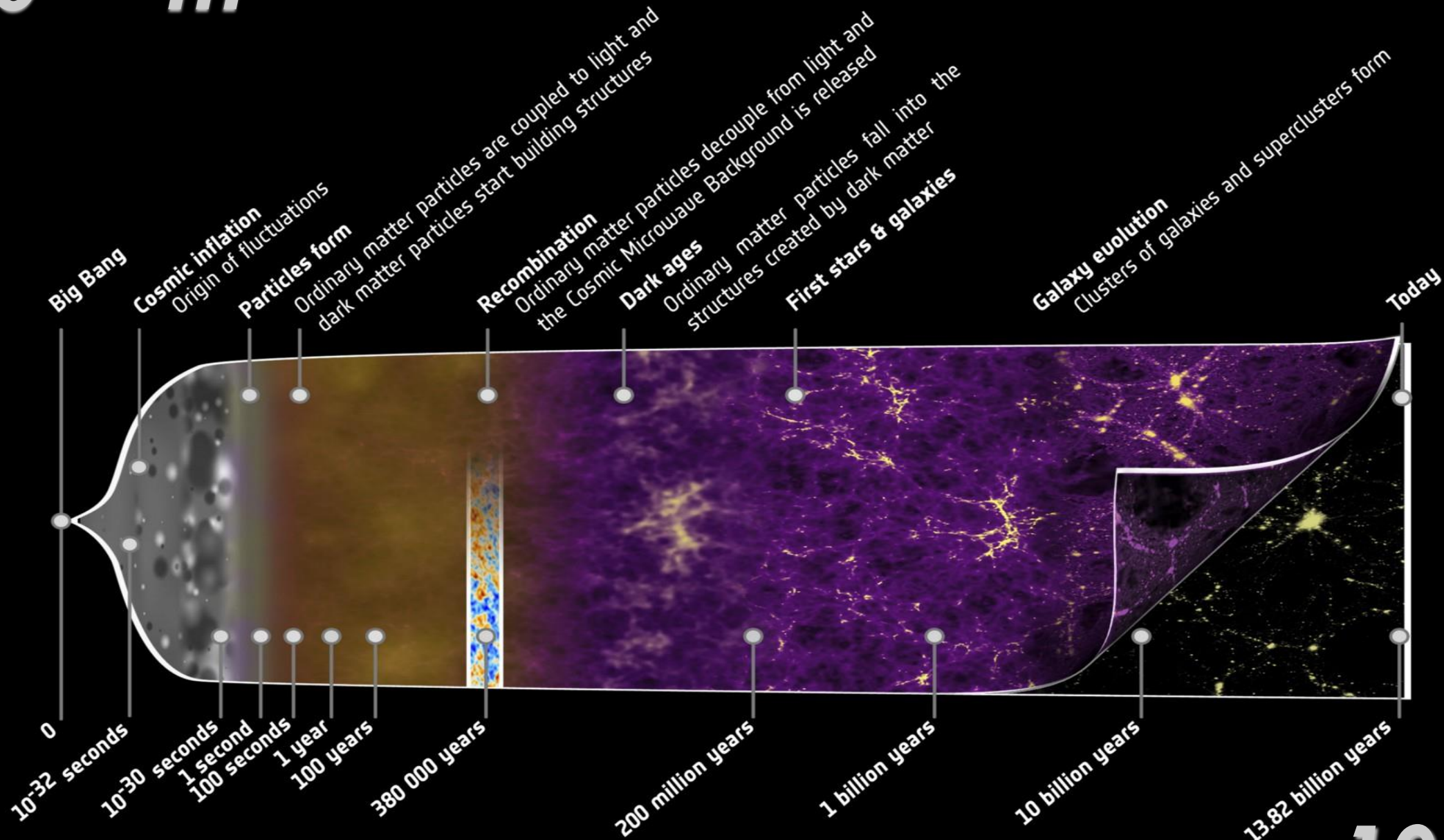


Ubrzano širenje svemira

- Supernove Tip 1a
- Barionske akustične oscilacije
 - Periodične fluktuacije u gustini barionske materije; standardna „sveća“ – 490 miliona svetlosnih godina danas
 - Vide u velikim strukturama
- CMB
- Presek - samo mali region
 - $\Omega_m \approx 0.25$, $\Omega_\Lambda \approx 0.75$



$10^{-35} m$



$10^{26} m$

