

Elementarne čestice i postanak svemira

Današnji svemir

- Današnji svemir je hladan i prazan
- U njemu ima oko 10^{19} galaksija, a svaka od njih ima oko 10^9 zvijezda
- Početkom 20. st. nisu bile poznate druge galaksije osim Andromedine i naše



Hubble deep field

- 1929. Hubble je otkrio da se sve galaksije udaljavaju jedna od druge i da im je brzina veća što su dalje

Hubbleov zakon

- Udaljenost galaksije d se dala procijeniti iz njihovog sjaja, a brzina v se mjerila Dopplerovim efektom. Iz pomaka valne duljine u odnosu prema temeljnoj frekvenciji može se zaključiti o brzini emitera

$$z = \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda}$$

↑

← Valna duljina s udaljene galaksije

← Valna duljina u laboratoriju

Pomak prema crvenom

Nerelativistička Dopplerova formula:

$$z = \frac{v}{c}$$

1929: Hubble je otkrio empirijsku relaciju

$$z = \frac{H}{c} d$$

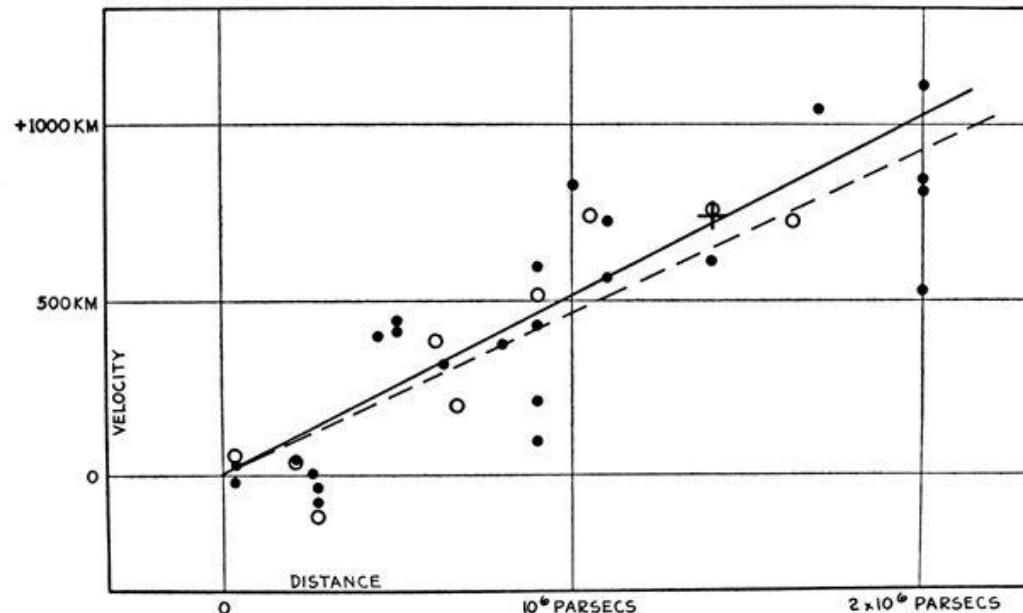
H - Hubbleova konstanta

Odnos brzine galaksije i njene udaljenosti

$$v = H d$$

Hubbleov zakon

Elementarne čestice i postanak svemira



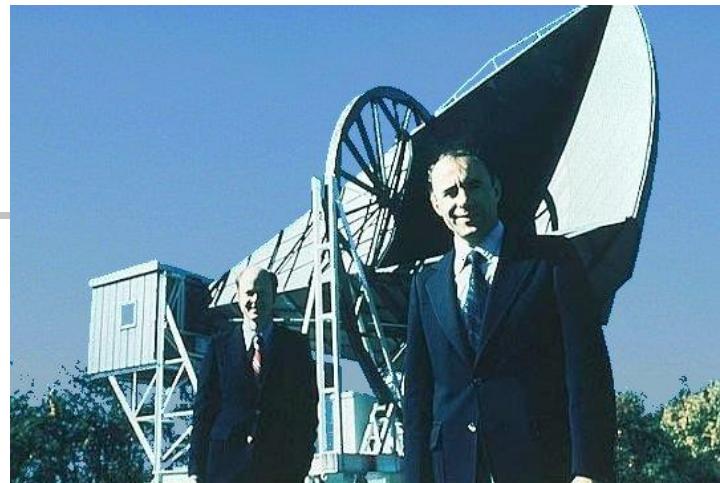
$$v = H d$$

Edwin Hubble,
PNAS, 168-173 (1929)

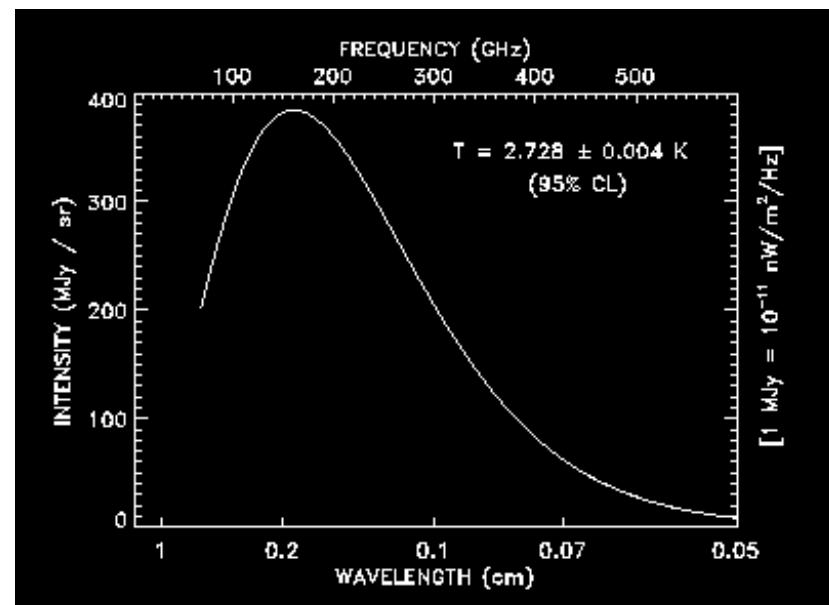
- Hubbleov zakon se očitovao u sistematskom pomaku svjetla udaljenih galaksija prema crvenom dijelu spektra u odnosu na svjetlost emitiranu s bližih galaksija. Nadalje, iznos pomaka bio je proporcionalan udaljenosti galaksije.
- $1/H=10^{10}$ god. određuje starost svemira u skladu sa slikom svemira koji je u prošlosti doživio veliki prasak
- Bio je to početak teorije velikog praska čiji je temelj međusobno, istovremeno udaljavanje svih galaksija
- Teoriju su postavili Alfer, Gamov i Herman 1948. godine

Pozadinsko zračenje

- 1964. godine otkrivaju Penzijas i Wilson tzv. pozadinsko zračenje koje je dolazilo istovremeno sa svih krajeva svemira što znači da nije imalo jedan određeni izvor
- To je bilo elektromagnetsko zračenje ekvivalentno onome koje bi emitiralo crno tijelo na temperaturi 2.7 K ($\lambda T = \text{konst.}$)
- Ovo je bila indikacija da je svemir postojao kao vrlo zbijena tvorevina, te da je eksplodirao. Zračenje je od pepela iz te eksplozije.
- To je bio direktni dokaz da je postojao veliki prasak
- Pitamo se
 - koliko je bila gusta tvar kod velikog praska
 - Je li se veliki prasak dogodio jednom ili se ponavlja

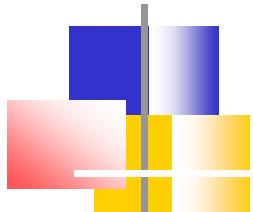


Fotografija: Bell Labs

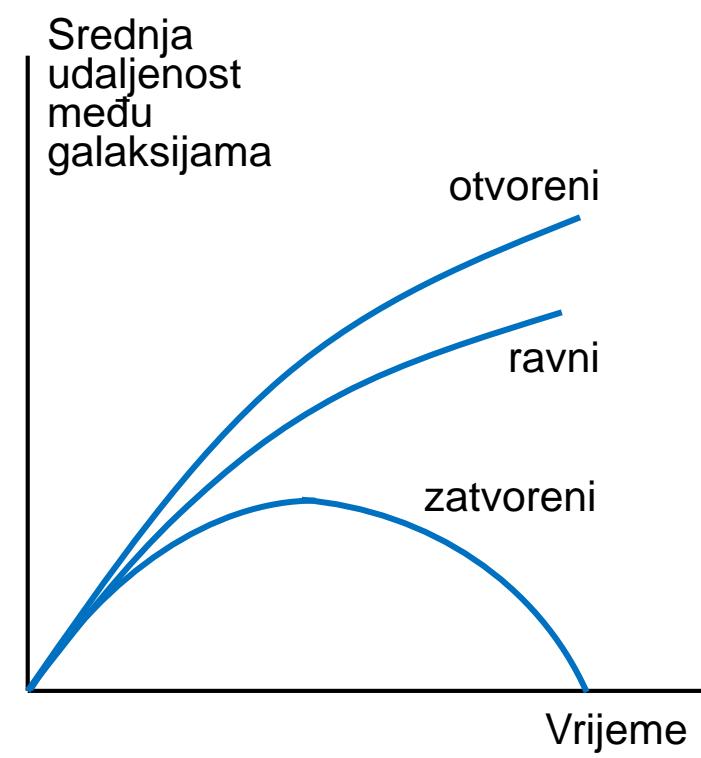


NASA COBE satelit

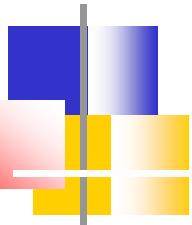
Elementarne čestice i postanak svemira



- Odgovor zavisi o ukupnoj gustoći tvari u svemiru
- Količina vidljive tvari je 10% od one potrebne da se povuče svemir natrag
- Međutim, postoji velika količina tvari koja nije vidljiva
- Svemir je pun neutrina
- Pitanje je
 - kolika je masa neutrina
 - postoje li teški neutrini
- Budućnost svemira je određena količinom tvari u njemu. Postoje tri moguća ishoda
 - ako je gustoća tvari veća od kritične, širenje će se zaustaviti i počet će skupljanje - **zatvoren svemir**
 - ako je gustoća manja od kritične, širenje će se nastaviti zauvijek brzinom koja se polako smanjuje prema nekoj fiksnoj vrijednosti - **otvoren svemir**

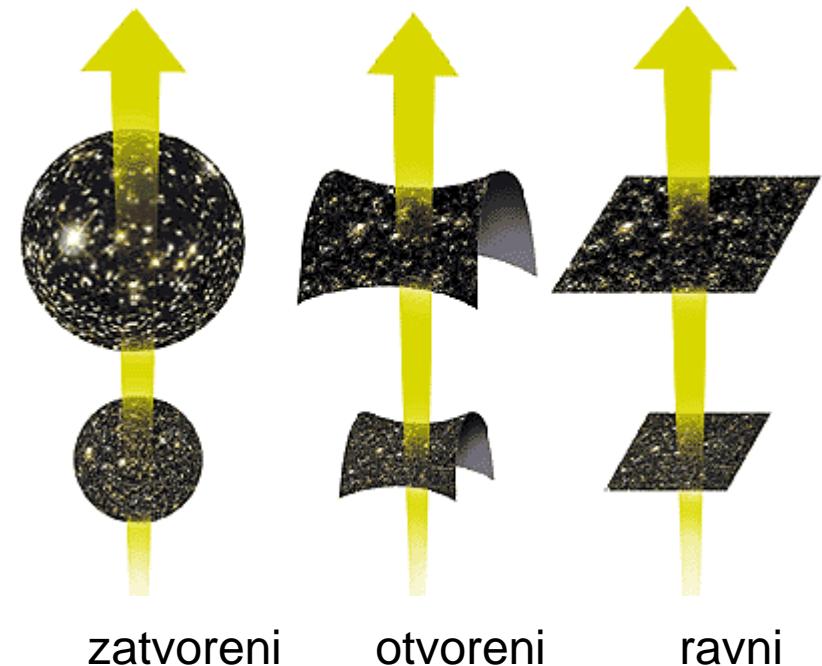


Elementarne čestice i postanak svemira



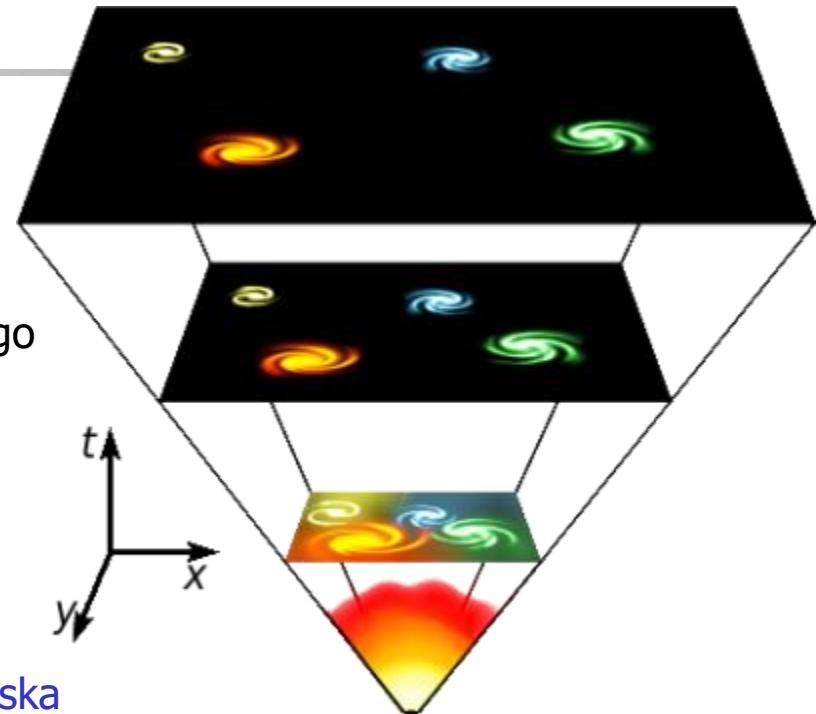
- ako je gustoća jednaka kritičnoj, svemir će se nastaviti širiti zauvijek, ali se brzina širenja neće moći razlikovati od nule - **ravni svemir**

- Svemir se sastoji od
 - obične materije 4% (vidljiva je)
 - tamna tvar 23 % (ne emitira i ne absorbira elektromagnetsko zračenje, vidljivi su samo njeni gravitacijski učinci)
 - tamna energija 73% (svojim djelovanjem koje se protivi gravitaciji tjeri svemir na ubrzano širenje)
- Otkrića 1998. godine su pokazala da se svemir širi ubrzano (S. Permutter, A. Ries, B. Schmidt)

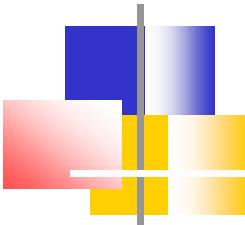


Veliki prasak i vremenski tijek

- Ako se svemir trenutno širi, tada je logično da je postojalo vrijeme kad su sve galaksije bile zajedno
- U nekoj točki vremena su i sve zvijezde bile zajedno.
- Idemo li dalje u vremenu, nisu postojale zvijezde nego vruća plazma vodika i helija
- Još dalje u vremenu svi atomi su bili zajedno
- Protoni i neutroni gube svoju individualnost i svemir postaje **more kvarkova, gluona i leptona**
- U principu gustoća svemira i dalje raste idemo li još dalje unazad u vremenu i ulazimo u doba **velikog praska**
- U ranoj fazi svemira **materija i zračenje** jednako su bili značajni. Sve su se čestice gibale velikim brzinama bliskim brzini svjetlosti. Stoga se materija ponašala slično zračenju
- Ova najranija faza naziva se **faza dominacije zračenja**
- Kako je svemir stario gustoća materije i zračenja su padale, da bi gustoća materije postala veća od gustoće zračenja, te je svemir sada u **fazi dominacije materije**



https://hr.wikipedia.org/wiki/Veliki_prasak



Kratka povijest vremena

- Planckova epoha ili epoha kvantne gravitacije $0 - 10^{-43}$ s

U nastojanju da razviju teoriju kvantne gravitacije znanstvenici su iskušavali mnoge teorije, a jedna od najpopularnijih u zadnjih dvadesetak godina je tzv. teorija struna (engl. string theory). Gravitacija se odvaja, a ostale tri sile ostaju ujedinjene.

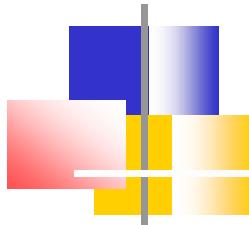
- Epoha velikog ujedinjenja (GUT) 10^{-43} s - 10^{-38} s

Jaka, slaba i elektromagnetska sila su ujedinjene. Čestice i antičestice se poništavaju i stalno stvaraju iz zračenja. Svemir se širi, hlađi i razrjeđuje.

- Epoha elektroslabe sile 10^{-35} s - 10^{-33} s. Jaka nuklearna sila se odvaja. Svemir naglo širi (inflacija- svemir je narastao od veličine protona -10^{-15} m do kugle čija je veličina deset milijuna promjera Sunčevog sustava).

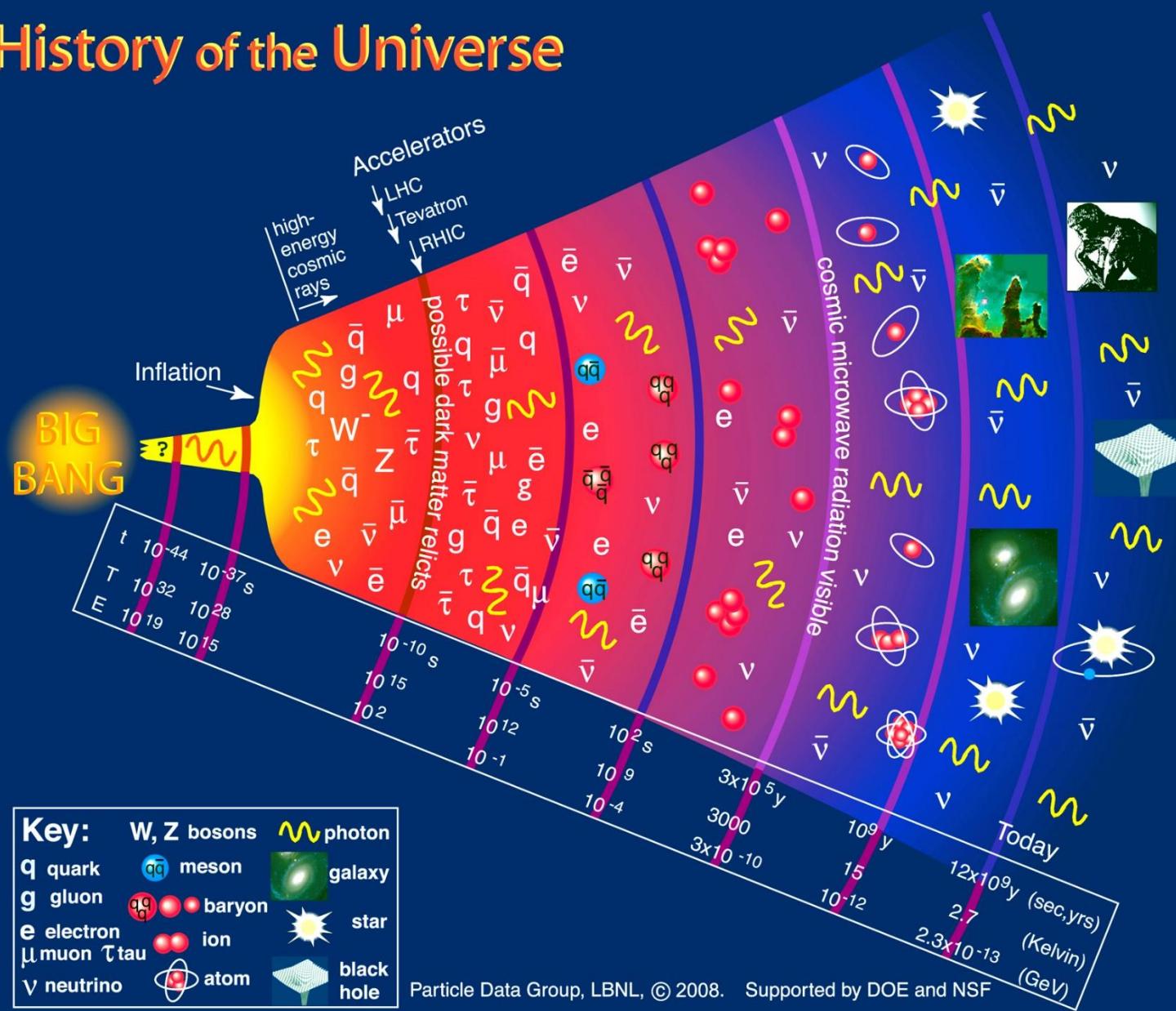
- Razdvajanje elektromagnetske i slabe sile 10^{-10} s.

Elementarne čestice i postanak svemira

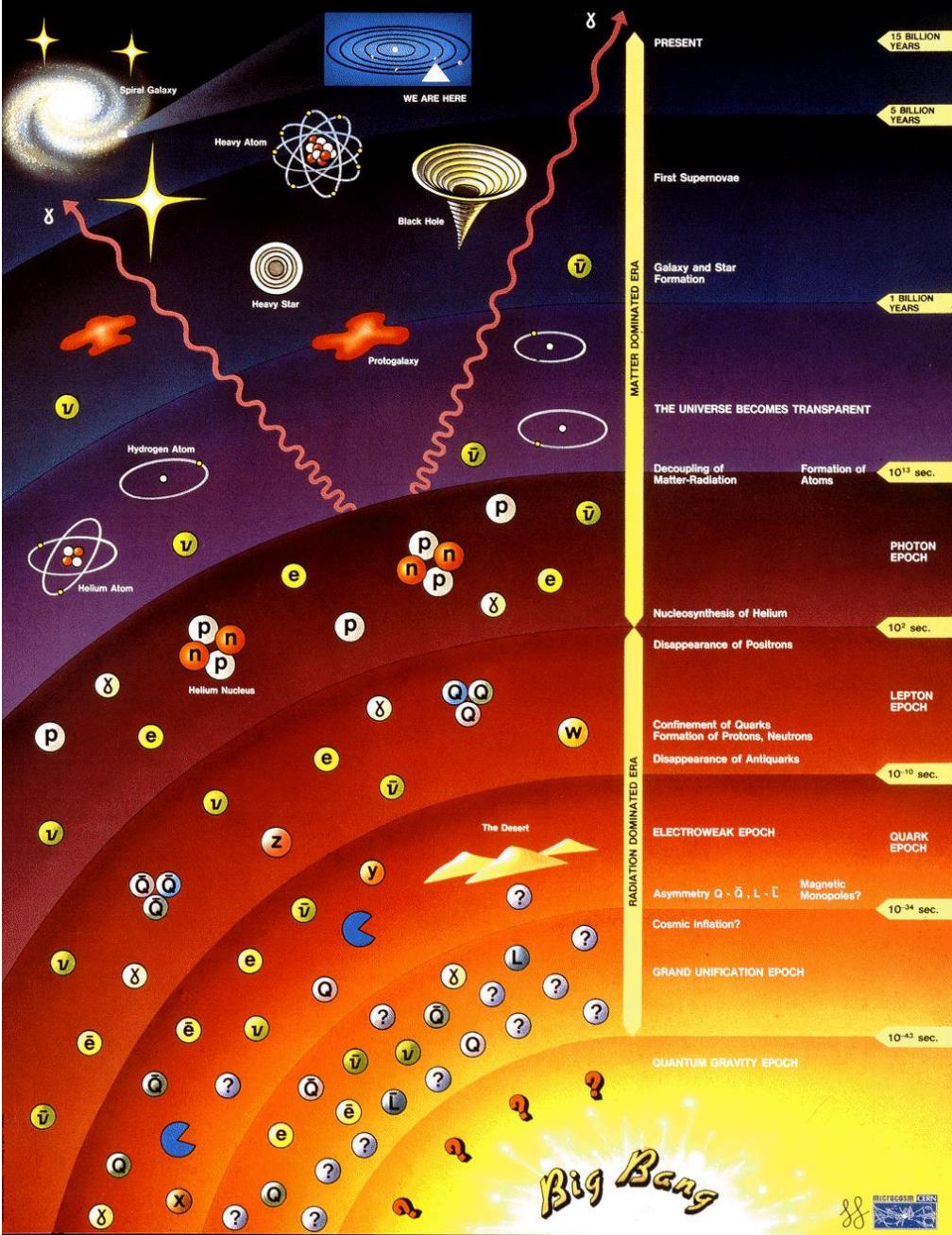


- Plazma kvarkova gluona i leptona 10^{-10} s- 10^{-5} s.
- Kvarkovi su se povezali u trojke i nastali su hadroni: protoni i neutroni 10^{-5} s
- Protoni i neutroni formiraju jezgre helija 3min. Nukleosinteza i prve jezgre helij, deuterij i litij.
- 3 min i 46 s nakon početka vremena prestalo dalje stvaranje elemenata.
- Elektroni se povezuju s jezgrama vodika i helija i prave atome -**380 000 godina**. Na kraju tog razdoblja, oko 23 posto tih atoma bili su atomi helija, a od 77 posto napravljen je vodik, drugi kemijski elementi nastat će mnogo kasnije u zvijezdama.
- Zračenje nema više dovoljnu energiju da ionizira i nesmetano se širi – **pozadinsko zračenje**.
- 200 miliona godina – **prve zvijezde**
- U jezgrama prvih zvijezda, koje su se u potpunosti sastojale od vodika i helija, nukleosintezom stvaraju se teže atomske jezgre poput ugljika i kisika.
- 9 milijardi godina Sunce i Zemlja
- 13.7 milijardi godina – današnji svemir

History of the Universe



History of the Universe

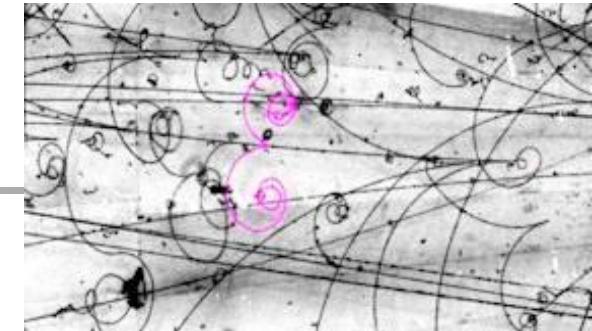


Zašto u svemiru tvar preteže nad antitvari

- Nema pravog odgovora
- U prirodi za svaku česticu postoji i antičestica
- Činjenica je da su naša neposredna okolica, planet Zemlja, Sunčev sustav i vidljivi svemir sastavljeni od materije
- U svemiru teški elementi dolaze od lakih, laki elementi se dobiju iz fuzije protona i neutrona, bezbojni protoni se dobivaju grupiranjem obojenih kvarkova. Jednako se stvori kvarkova i antikvarkova
- Zatečeno stanje svemira sugerira da mora postojati proces koji [daje prednost stvaranju kvark-lepton para](#) u odnosu na antikvark-antilepton para
- Teorija elementarnih čestica sugerira postojanje X i \bar{X} bozona koji su se stvorili u prvoj fazi stvaranja svemira. Bozon X bi se trebao raspadati na sljedeće načine

$$X \rightarrow q + q \text{ ili } X \rightarrow \bar{q} + \bar{l}$$

- Opaža se da se mnogo manje \bar{X} raspada na antikvarkove nego X na kvarkove. Ma koliko jednih i drugih bilo na početku, kad se spoje jedni i drugi ostat će samo kvarkovi. Zato bi moglo biti više tvari nego antitvari.



Elementarne čestice i postanak svemira

Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The Standard Model is a quantum theory that summarizes our current knowledge of the physics of fundamental particles and fundamental interactions (interactions are manifested by forces and by decay rates of unstable particles).

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

Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_L lightest neutrino*	(0–0.13)×10 ⁻⁹	0	u up	0.002	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.005	-1/3
ν_M middle neutrino*	(0.009–0.13)×10 ⁻⁹	0	c charm	1.3	2/3
μ muon	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3
ν_H heaviest neutrino*	(0.04–0.14)×10 ⁻⁹	0	t top	173	2/3
τ tau	1.777	-1	b bottom	4.2	-1/3

*See the neutrino paragraph below.

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 $0.938 \text{ GeV}/c^2 = 1.67 \times 10^{-27}$ kg.

Neutrinos

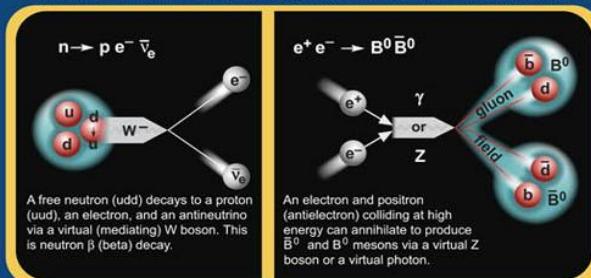
Neutrinos are produced in the sun, supernovae, reactors, accelerators, collisions, and many other processes. Any produced neutrino can be described as one of three neutrino flavor states ν_E , ν_L , or ν_T , labelled by the type of charged lepton associated with its production. Each is a defined quantum mixture of the three definite mass neutrinos ν_L , ν_M , and ν_H for which currently allowed mass ranges are shown in the table. Further exploration of the properties of neutrinos may yield powerful clues to puzzles about matter and antimatter and the evolution of stars and galaxy structures.

Matter and Antimatter

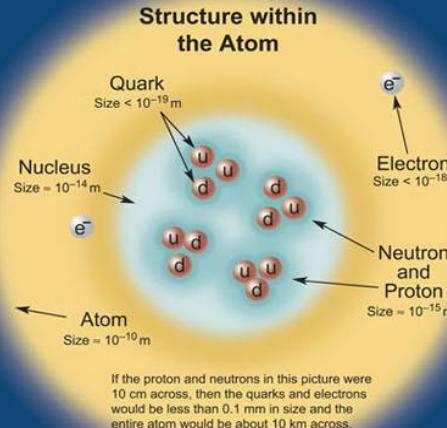
For every particle type there is a corresponding antiparticle type, denoted by a bar over the particle symbol (unless + or - charge is shown). Particle and antiparticle have identical mass and spin but opposite charges. Some electrically neutral bosons (e.g., Z^0 , γ , and $\eta_c = c\bar{c}$ but not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

Particle Processes

These diagrams are an artist's conception. Blue-green shaded areas represent the cloud of gluons.



Structure within the Atom



Properties of the Interactions

The strengths of the interactions (forces) are shown relative to the strength of the electromagnetic force for two u quarks separated by the specified distances.

Property	Gravitational Interaction	Weak Interaction (Electroweak)	Electromagnetic Interaction	Strong Interaction
Acts on:	Mass – Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons	Electrically Charged	Quarks, Gluons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	γ	Gluons
Strength at {	10^{-18} m	10^{-41}	0.8	25
3×10^{-17} m		10^{-41}	1	60

Unsolved Mysteries

Driven by new puzzles in our understanding of the physical world, particle physicists are following paths to new wonders and startling discoveries. Experiments may even find extra dimensions of space, mini-black holes, and/or evidence of string theory.

Universe Accelerating?

The expansion of the universe appears to be accelerating. Is this due to Einstein's Cosmological Constant? If not, will experiments reveal a new force of nature or even extra (hidden) dimensions of space?

Why No Antimatter?

Matter and antimatter were created in the Big Bang. Why do we now see only matter except for the tiny amounts of antimatter that we make in the lab and observe in cosmic rays?

Dark Matter?

Invisible forms of matter make up much of the mass observed in galaxies and clusters of galaxies. Does this dark matter consist of new types of particles that interact very weakly with ordinary matter?

Origin of Mass?

In the Standard Model, for fundamental particles to have masses, there must exist a particle called the Higgs boson. Will it be discovered soon? Is supersymmetry theory correct in predicting more than one type of Higgs?

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

Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.39	-1
W^+	80.39	+1
W bosons		
Z^0 Z boson	91.188	0

Color Charge

Only quarks and gluons carry "strong charge" (also called "color charge") and can have strong interactions. Each quark carries three types of color charge. These charges have nothing to do with the colors of visible light. Just as electrically-charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions, color-charged particles interact by exchanging gluons.

Quarks Confined in Mesons and Baryons

Quarks and gluons cannot be isolated – 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. 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 . Among the many types of baryons observed are the proton (uud), antiproton ($\bar{u}\bar{u}\bar{d}$), neutron ($\bar{u}\bar{d}\bar{d}$), lambda ($\bar{u}\bar{d}\bar{s}$), and omega ($\bar{s}\bar{s}\bar{s}$). Quark charges add in such a way as to make the proton have charge 1 and the neutron have charge 0. Among the many types of mesons are the pion π^+ ($u\bar{d}$), kaon K^+ ($s\bar{u}$), B^0 ($d\bar{b}$), and η_c ($c\bar{c}$). Their charges are +1, -1, 0, 0 respectively.

Visit the award-winning web feature *The Particle Adventure* at 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

©2006 Contemporary Physics Education Project. CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. For more information see

CPEPweb.org