Fizika čestica

- Masivni neutrini i kosmologija -

Goran Djordjević

(Departman za fiziku, Prirodno-matematički fakultet u Nišu)

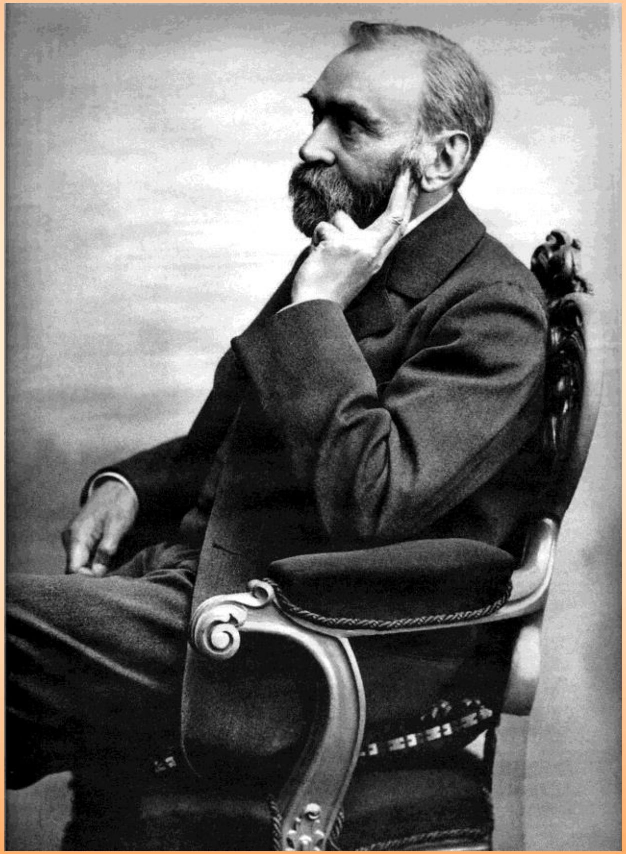
Seminar ``Sa krova do dzvezda``

Niš, 4-5. decembar 2015. godine

Dodela Nobelovih nagrada
– praznik nauke –

- Objavljivanje (slavo)dobitnika i dodela Nobelovih nagrada uvek predstavljaju značajan i medijski veoma praćen dogadjaj u svetu.

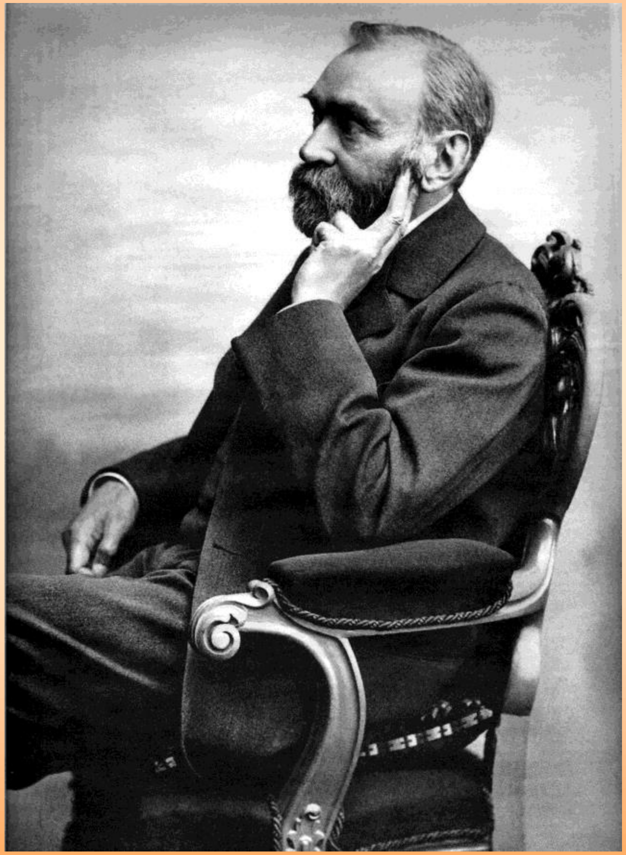
- Alfred Nobel, delo i kontraverze



Dodela Nobelovih nagrada
– praznik nauke –

- ``Nobel`` za fiziku 2015. godinu

- Za koje otkriće je dodeljena?
- Neutrini - ``bezmasene``, najlakše (?), medju najzagonetnijim česticama, i pre njihovog otkrića ...

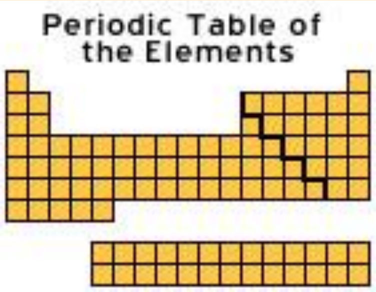


Vreme fizike čestica i kosmolgije (astrofizike) ..

- Iz pratećih tekstova ,”Nobelovog komiteta za fiziku” - Odeljenja za fiziku Švedske kraljevske akademije nauka:
- **“Za otkriće neutrinskih ocilacija, kao dokaza da neutrini imaju masu``**
- Pre samo 2 godine !
- Za otkriće mehanizma spontanog narušenja simetrije koje stoji u “centru” objašnjenja kako čestice dobijaju masu i **Standardnog modela čestica**
- **Kao i za** pretpostavku o postojanju
- “**Higsovog bozona**”
- Ali, šta je to Standardni model čestica?

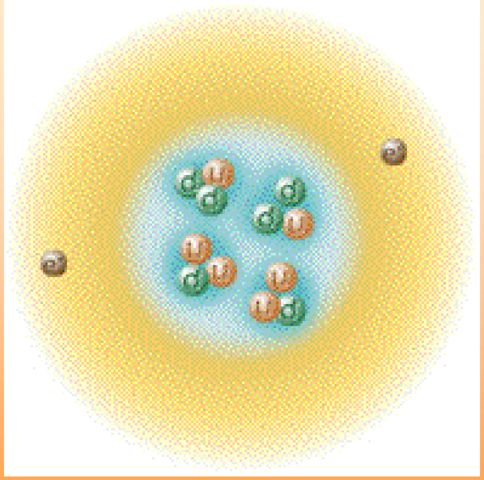
Od čega je sačinjen svet?

- Ljudi su brzo shvatili da bi mogli da kategorišu atome u grupe koji dele slične hemijske osobine (kao u periodnom sistemu elemenata).
- To sugeriše da se atomi sastoje od jednostavnijih gradivnih "blokova", koji u različitim kombinacijama determinišu hemijske osobine atoma.
- Eksperimenti - *probnim česticama* smo zvirnuli u nutrinu atoma i uvideli da atom ima strukturu – majušno, gusto pozitivno nabijeno jezgro okruženo oblakom negativnih elektrona e^-.

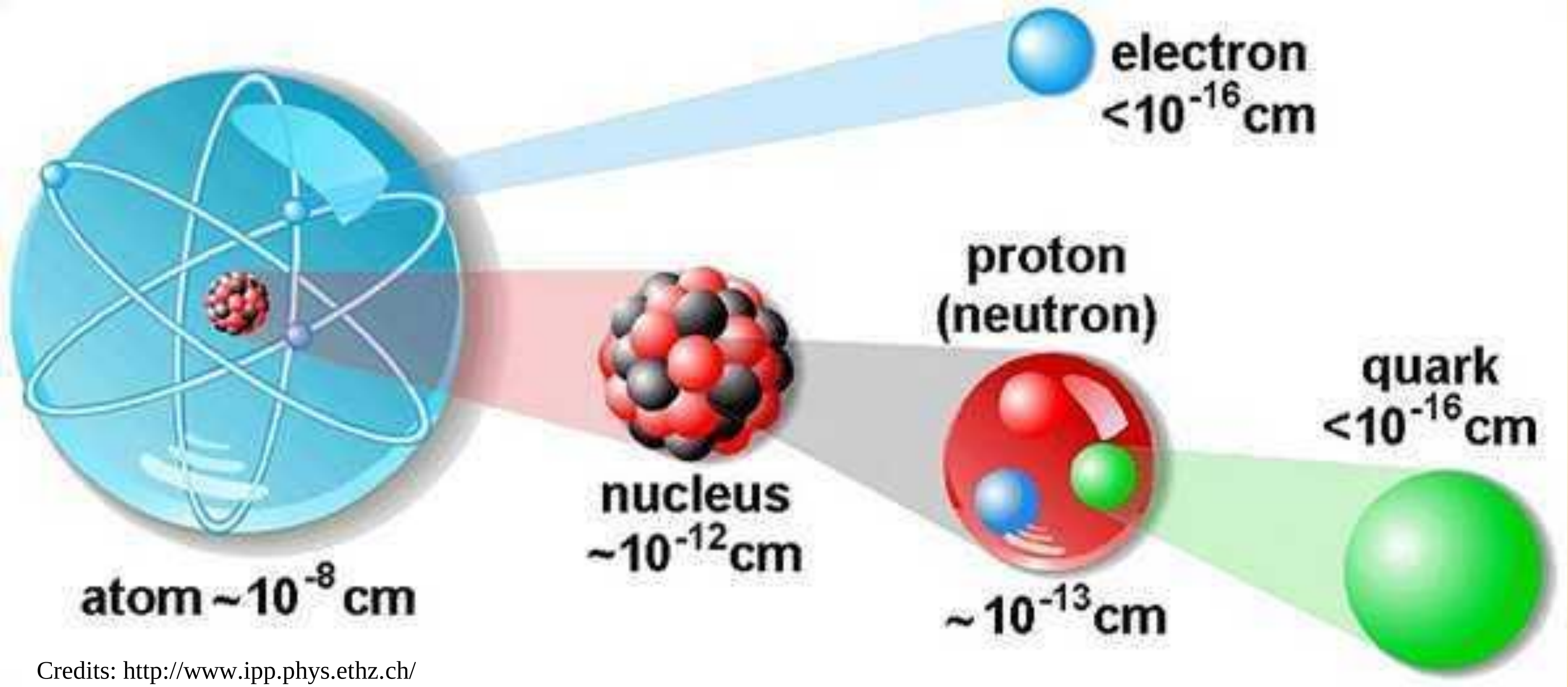


Da li je jezgro fundamentalno?

- Kako je jezgro izgledalo malo, čvrsto, smatralo se da je jegro bez unutrašnje strukture - fundamentalno.
- Kasnije je otkriveno da je ono sačinjeno od (pozitivno naelektrisanih) protona p^+ i električno neutralnih (*n*) neutrona.
- Otkriveno je da su protoni i neutroni sačinjeni od još manjih čestica koje se nazivaju – **kvarkovi**
- Elektroni se kreću oko jezgra, protoni i neutroni poskakuju unutar njega, a kvarkovi unutar protona i neutrona.
- Slika je krajnje “deformisana”, 99.99999% zapremine atoma je prosto prazan prostor!



Struktura materije

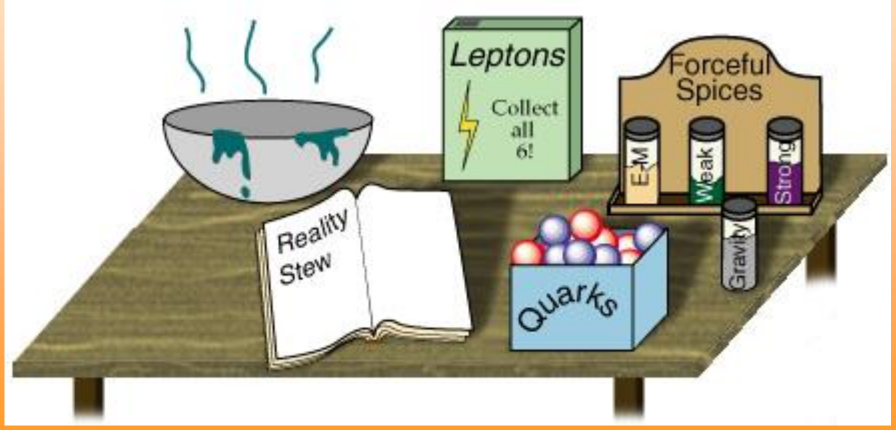


Credits: http://www.ipp.phys.ethz.ch/

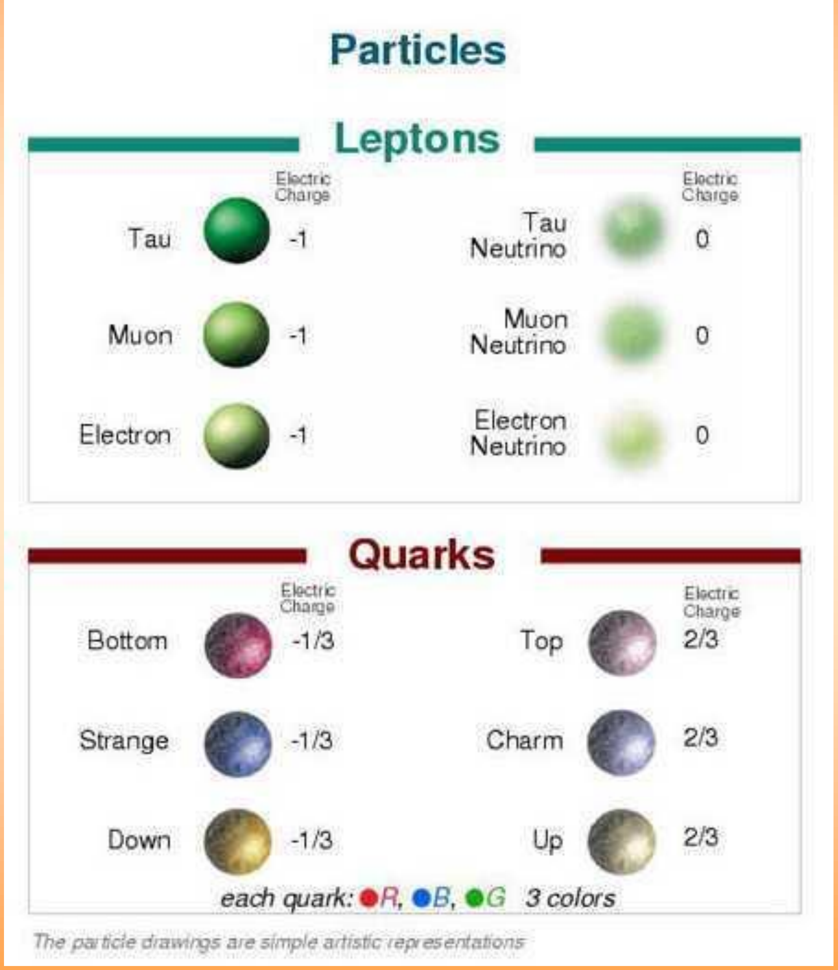
Standardni model

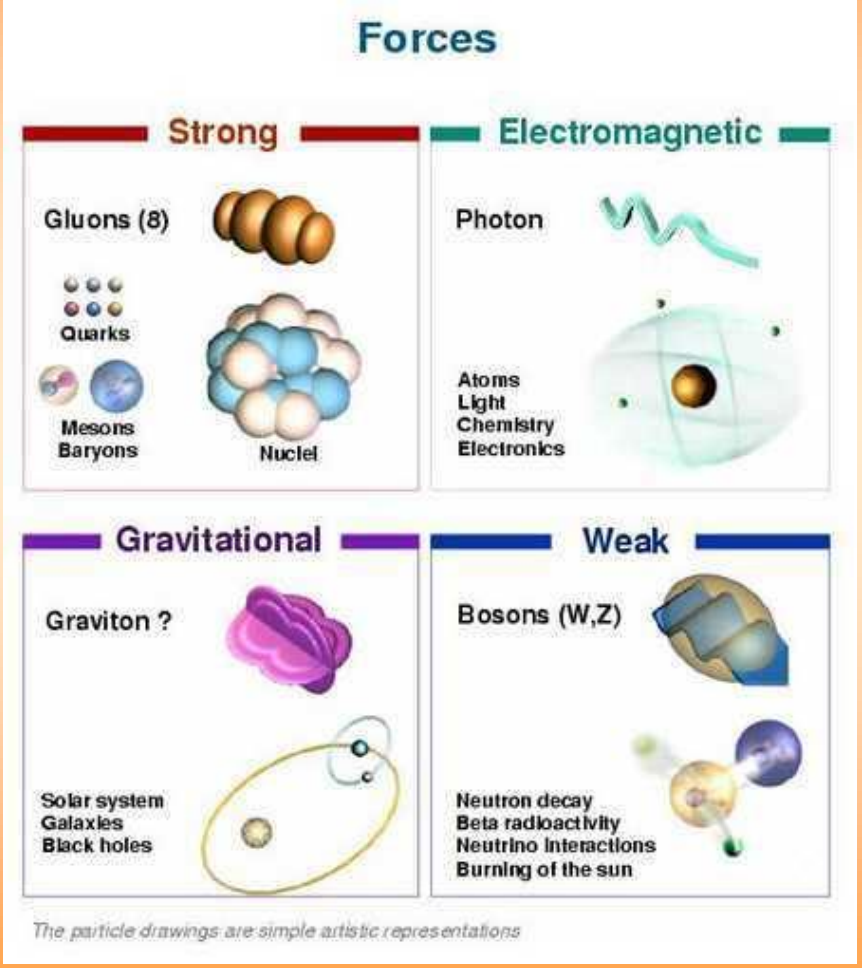
- Fizičari su razvili teoriju nazvanu **The Standard Model** koja objašnjava naš svet (sadržinu) i šta ga to drži na okupu (osnovne sile - interakcije).

- Jednostavna, mada obimna, teorija koja objašnjava stotine čestice i složene interakcije medju njima pomoću samo



Čestice i sile





Credits: http://www.ipp.phys.ethz.ch/

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

Flavor	Mass GeV/c²	Electric charge
ν_L lightest neutrino*	$(0-0.13)\times10^{-9}$	0
e electron	0.000511	–1
ν_M middle neutrino*	$(0.009-0.13)\times10^{-9}$	0
μ muon	0.106	–1
ν_H heaviest neutrino*	$(0.04-0.14)\times10^{-9}$	0
τ tau	1.777	–1

Quarks spin = 1/2

Flavor	Approx. Mass GeV/c²	Electric charge
u up	0.002	2/3
d down	0.005	–1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	–1/3
t top	173	2/3
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 ħ, which is the quantum unit of angular momentum where $\hbar = h/2\pi = 6.58\times10^{-25}$ GeV s $=1.05\times10^{-34}$ 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 $=1.60\times10^{-10}$ joule. The mass of the proton is 0.938 GeV/c² = 1.67×10^{-27} kg.

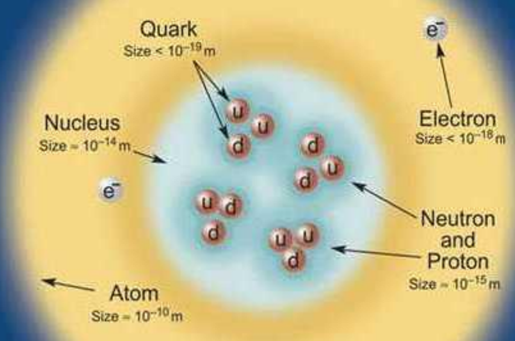
Neutrinos

Neutrinos are produced in the sun, supernovae, reactors, accelerator collisions, and many other processes. Any produced neutrino can be described as one of three neutrino flavor states ν_e, ν_μ, or ν_τ, 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.

Structure within the Atom



If the proton 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.

BOSONS

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

Unified Electroweak spin = 1

Name	Mass GeV/c²	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.39	–1
W^+ W bosons	80.39	+1
Z^0 Z boson	91.188	0

Strong (color) spin = 1

Name	Mass GeV/c²	Electric charge
g gluon	0	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 (udd), lambda (uds), and omega Ω^- (sss). Quark charges add in such a way as to make the proton have charge 1 and the neutron 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.

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	1	25
Strength at 3×10^{-17} m	10^{-41}	10^{-4}	1	60

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

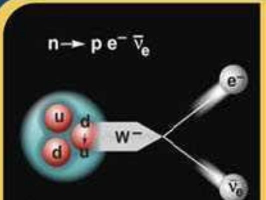
ParticleAdventure.org

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

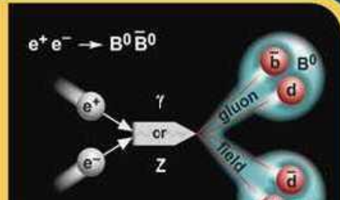
CPEPweb.org

Particle Processes

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



A free neutron (udd) decays to a proton (uud), an electron, and an antineutrino via a virtual (mediating) W boson. This is neutron β (beta) decay.



An electron and positron (antielectron) colliding at high energy can annihilate to produce $\bar{B}^0$ and B^0 mesons via a virtual Z boson or a virtual photon.

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?

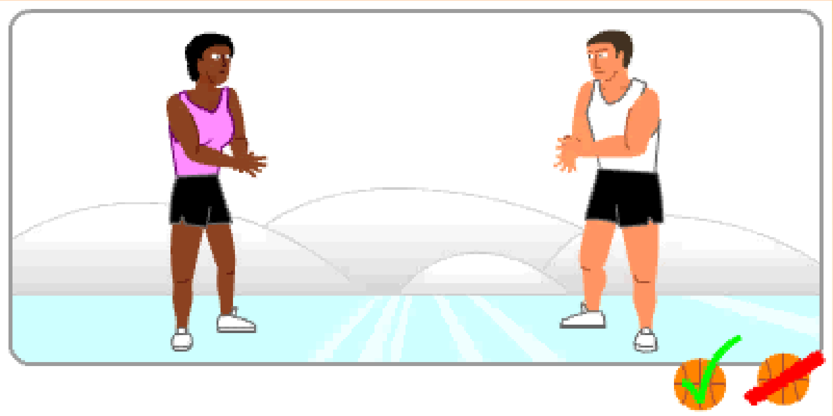
Credits: http://www.particleadventure.org/

Da sumiramo - SM

  - **6 kvarkova**
  - **6 leptona**
  - **8+3+1+ =? - Čestica prenosioc interakcije**,
- Sve poznate čestice komponovane su od kvarkova i leptona a interaguju razmenom čestica tipa fotona.
- Standardni model je dobra **teorija**. Eksperimenti potvrđuju njena predviđanja sa neverovatnom preciznošću, sve predskazane čestice su pronađene (osim, donedavno, Higsove!).
- Ipak ne objašnjava sve, npr. gravitacija je izvan teorije.
- Dobro, malo je komplikovanije, podsetimo se da nikada nismo našli izolovane kvarkove. Do sada smo opažali samo kompozitne čestice – hadrone.
- I, i, i ... Postoji još po jedna antičestica za svaku česticu materije.

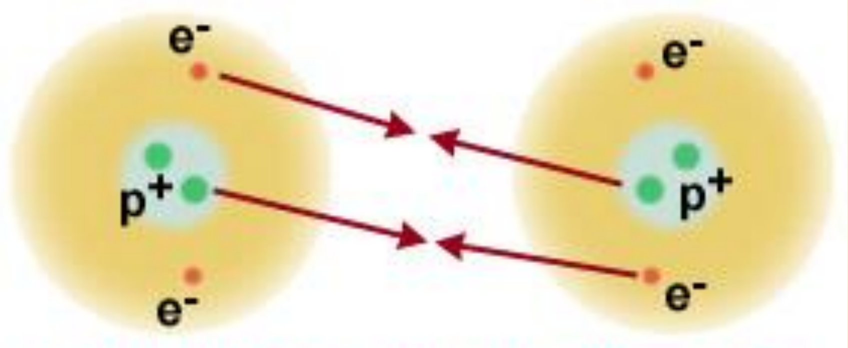
Nevidljivi efekti

- Dva čoveka stoje na ledenoj pdlozi. Iako *ne vidite* košarkašku loptu, vi možete da pretpostavite da jedna osoba baca drugoj loptu jer vidite **efekat**.
- Ispada da su sve interakcije koje deluju na čestice materije posledice razmene ''čestica prenosioca sile''. Ove čestice su kao košarkaške lopte koje se bacaju izmedju čestica materije a one bi odgovarale košarkašima. Ono što mi nazivamo ''silama'' su u stvari efekti ''čestica prenosioca'' na ''čestice materije''!!!
- Prikazana analogija je gruba, recimo, može da dočara samo odbojne sile.
- ''Kako dva objekta mogu uticati jadan na drugi bez dodirivanja?'' ''Čestice prenosioci'' mogu biti kreirane i apsorbovane jedino od čestica materije koje učestvuju u pojedinačnoj interakciji (poseduju odgovarajući naboj).



’’Rezidualne’’ elektromagnetne sile

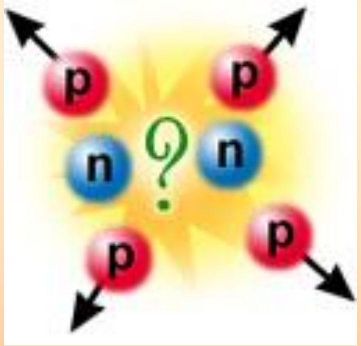
- Ako su atomi obično električno neutralni , šta ih to drži na okupu u stabilnim molekulima.
- Odgovor je da jedan deo naelektrisanog atoma može interagovati sa naelektrisanim delom drugog i to omogućava vezivanje.
- To je razlog postojanja molekula i stabilnosti materije.



Residual E-M force in action: the atoms are electrically neutral, but the electrons in one are attracted to the protons in another, and vice versa!

Šta se dešava sa jezgrom?

Ovde imamo drugi problem. Šta drži jezgro zajedno?



Jezgro se sastoji od ’’grozda’’ protona i neutrona natrpanih zajedno.

Neutroni su neutralni, protoni se odbijaju, zašto se ovo ne raspadne ?

Ne možemo se ograničiti samo na EM sile. Šta bi drugo moglo biti?
Gravitacija?
Nope! Suviše je slaba.
Pa kako da rešimo ovu dilemu?

Jaka sila

Da bi smo razumeli sta se dogadja u jezgru, potrebno je da bolje razumemo kvarkove, koji ulaze u sastav protona i neutrona, a time i jezgra.

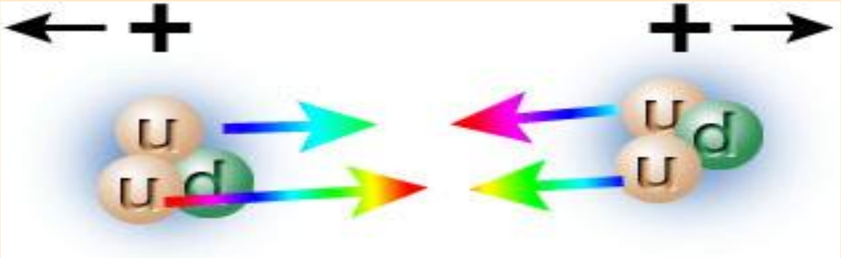
Kvarkovi poseduju elektromagnetni naboj, ali poseduju i tzv. naboj boje. Sile izmedju obojenih čestica su izuzetno snažne pa se i nazivaju

Jake sile drže kvarkove na okupu i formiraju hadrone, a čestice prenosioci se nazivaju **gluoni** zato što tako neraskidivo “lepe" kvarkove zajedno.

Naboj boje se ponaša drugačije od EM naboja. Sami gluoni poseduju naboj boje, dok fotoni NISU naelektrisani. Sa druge strane, dok su kvarkovi ‘’obojeni’’, složene čestice nisu, neutralne su u odnosu na naboj boje! Stoga jake sile deluju samo na vrlo malim rastojanjima!!!

Rezidualne jake sile

- Tako, jake sile drže kvarkove na okupu jer oni poseduju **naboj boje.**
- To medjutim ne objašnjava šta drži jezgro na okupu! Pozitivni protoni se odbijaju a protoni i neutroni su kolorno-neutralni.
- U najkraćem, ne nazivaju se ove sile uzalud ’’jakim’’.
- Jake sile izmedju kvarkova u jednom protonu i kvarkova u drugom protonu dovoljno su jake da prevazidju odbojnu elektromagnetnu silu.

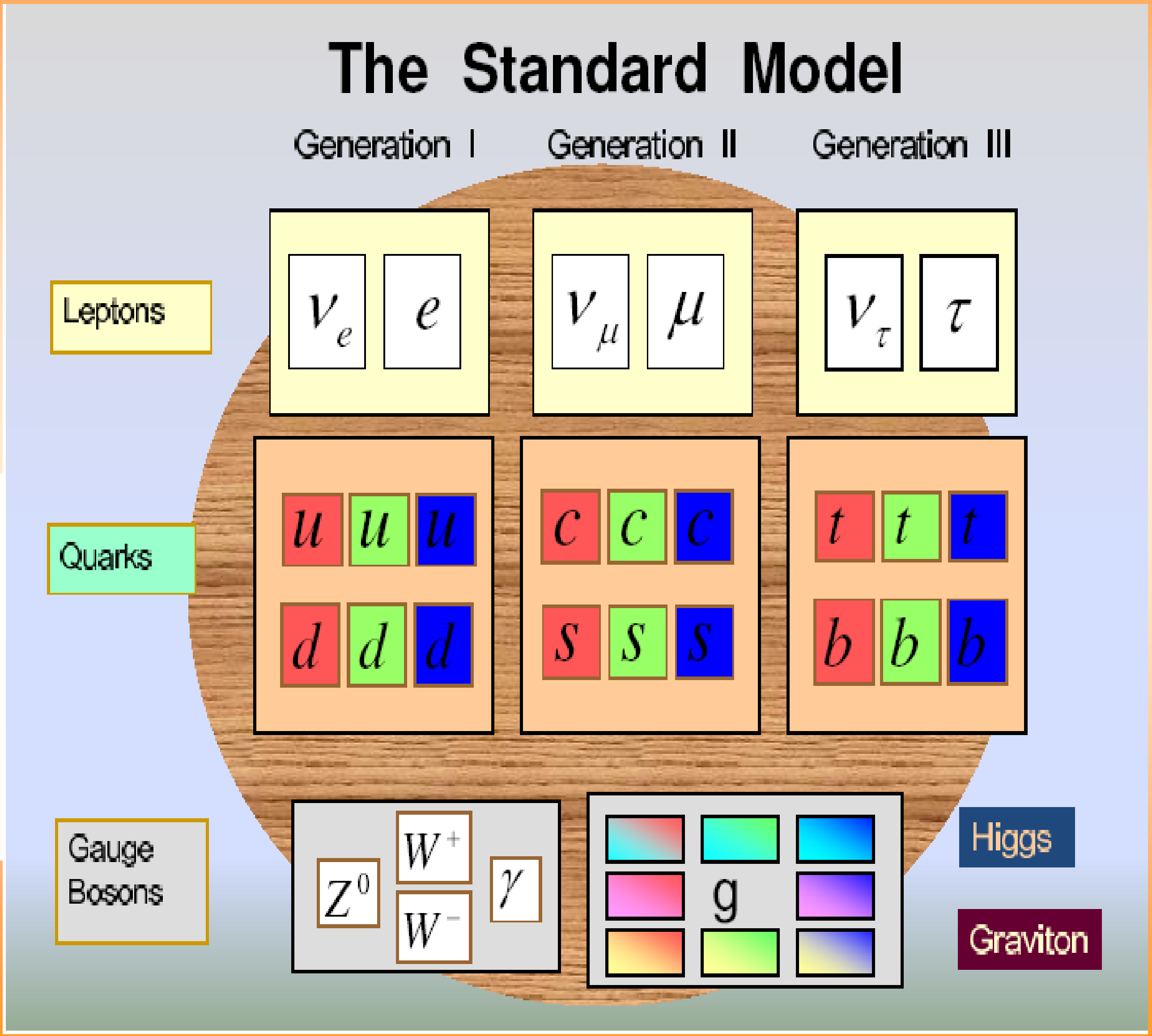


- To se naziva rezidualnom jakom (nuklearnom) silom. Ona ’’lepi’’ - drži nukleone zajedno u jezgru.
- A „slaba„ nuklerna sila?

Standardni model opisuje elementarne čestice i sile koje deluju između njih

U modelu postoje tri generacije leptona i kvarkova uređene po rastućim masama.

U Modelu je nedostajalo objašnjenje kako nastaju masivne čestice koje prenose (slabu) nukleanu silu veoma kratkog dometa



Kosmološki princip

- Na maloj skali materija je rasporedjeno veoma ,,neregularno,, - nehomogeno
- Što je skala veća distribucija materije je sve uniformnija – potvrda konstantnost temperature mikrotalasnog pozadisnkog zračenja (Cosmic microwave background - CMB) u svim pravcima
- Na veoma velikoj skali svemir je izotropan sa velikom preciznošću

Kosmološki princip

- *,,U bilo kom trenutku svemir izgleda isto iz svih prostornih tačaka i svi pravci u prostoru u ma kojoj tački su ekvivalentni...*

Fridmanove jednačine

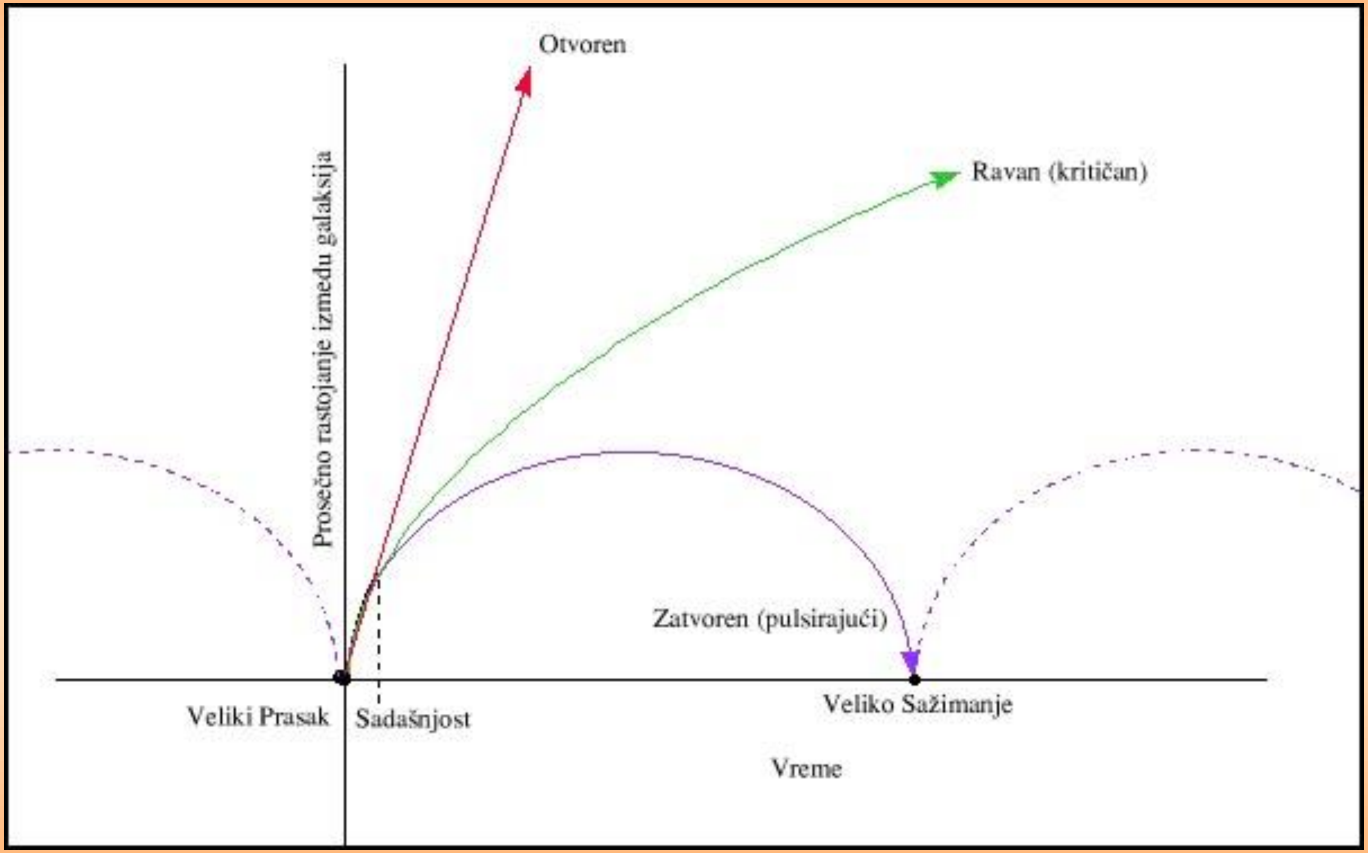
- Tzv. Prva ili vremenska jednačina

$$\frac{\dot{R}^2}{R^2}+\frac{kc^2}{R^2}-\frac{\Lambda c^2}{3}=8\pi G\frac{\rho}{3}$$

- Druga ili ,,prostorna,, jednačina

$$\frac{\ddot{R}^2}{2R}+\frac{\dot{R}}{R^2}+\frac{kc^2}{R^2}-\Lambda c^2=-8\pi G\frac{p}{c^2}$$

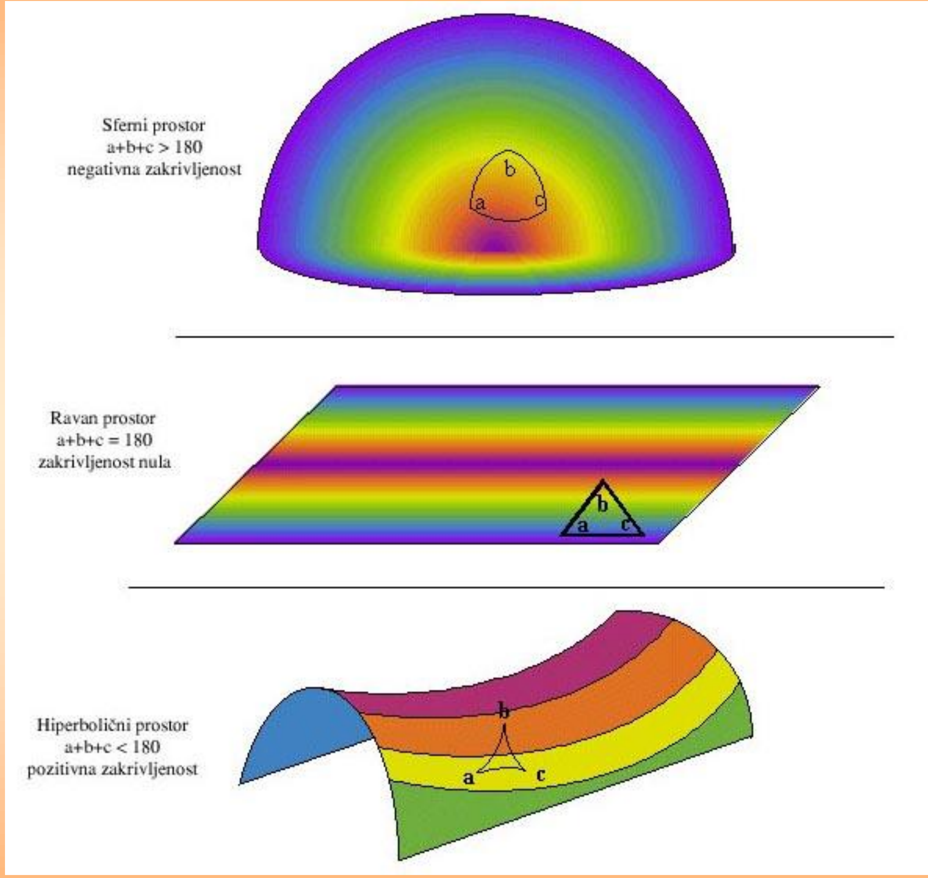
Fridmanovi modeli bazirani na Ajnštajnovim jednačinama



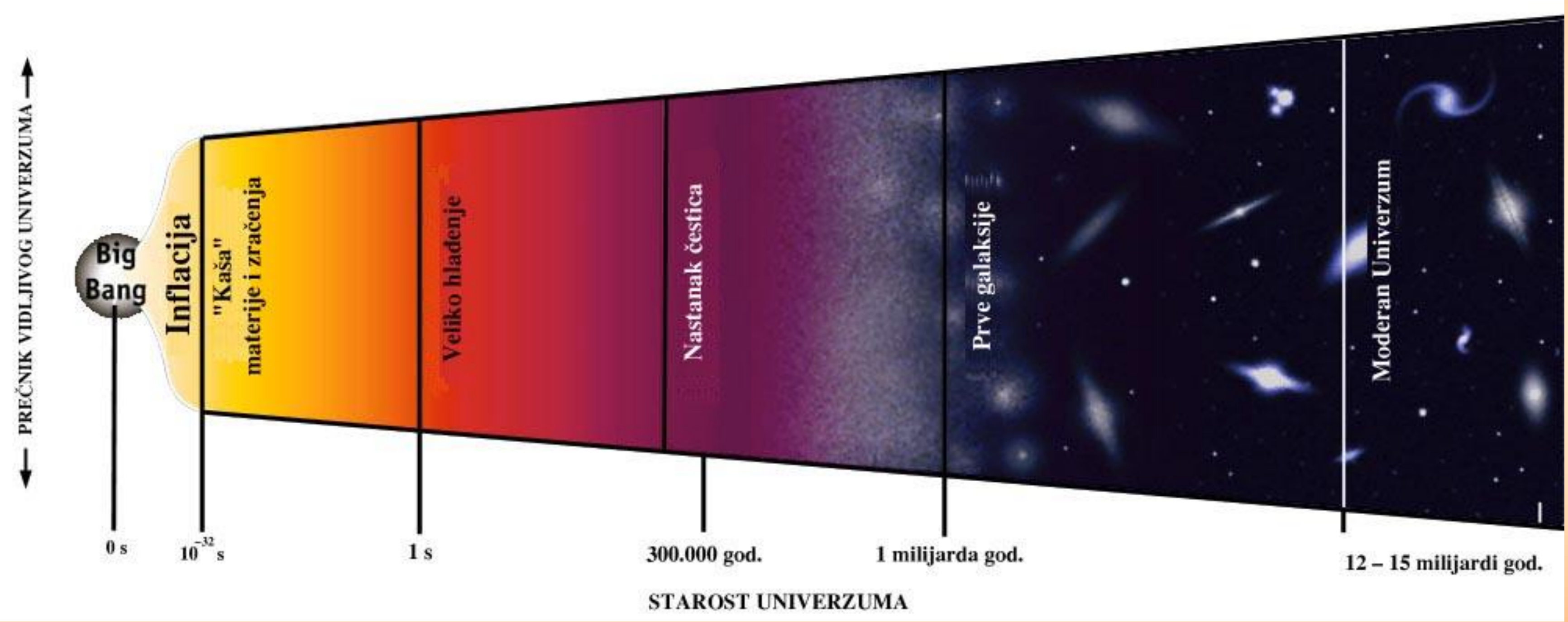
- U stvari "običan" kosi hitac!!!

Kako ovo izgleda u prostoru

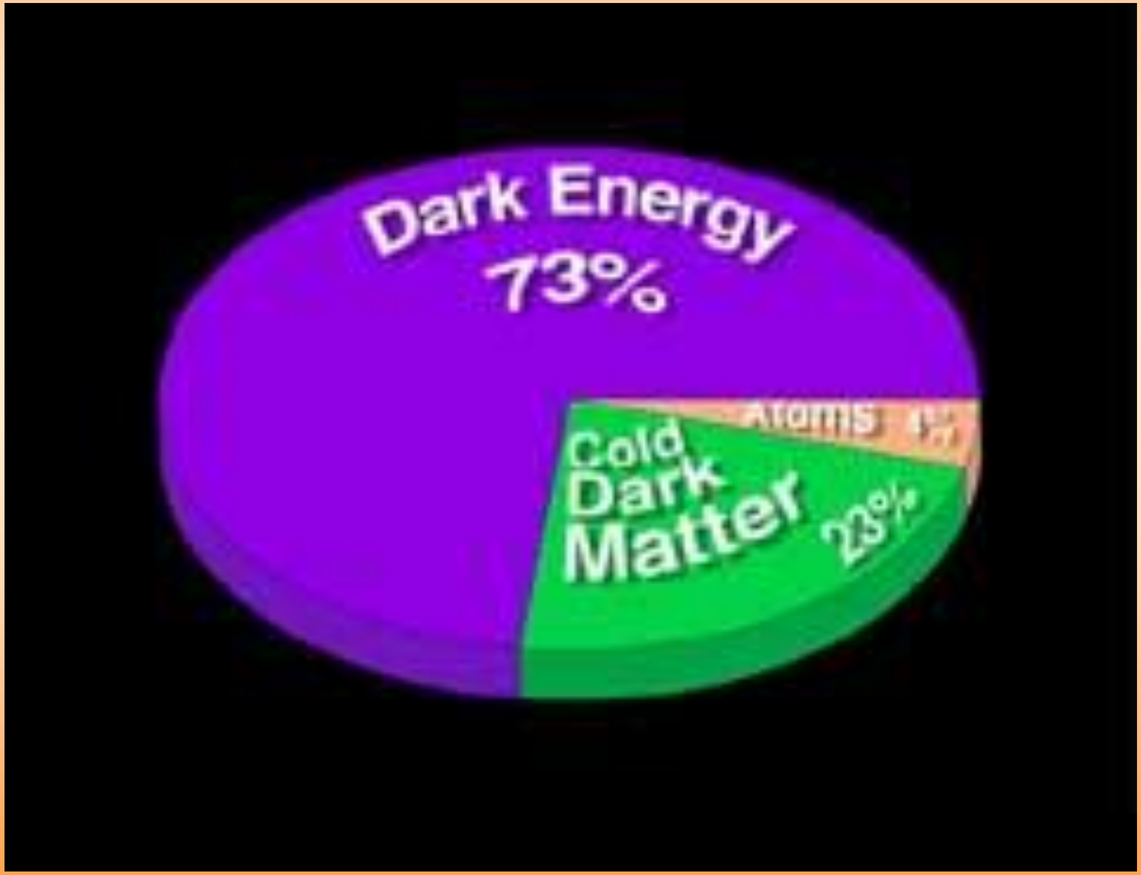
- Zatvoreni model svemira
- Otvoreni model svemira
  - a) Ravni model svemira
  - b) model sa negativnom krivinom



Cela evolucija svemira



Sastav Univerzuma
ili
Sada znamo da mnogo ne znamo



Konačna slika big bang-a

- Obzervacije:
  - Ekspanzija
  - Termalna radijacija CMBR
  - Dominacija lakih elemenata

- Precizni testovi:
  - Istorija ekspanzije
  - Sastav Univerzuma

$\Omega_M = 0.04$

$\Omega_{DM} = 0.23$

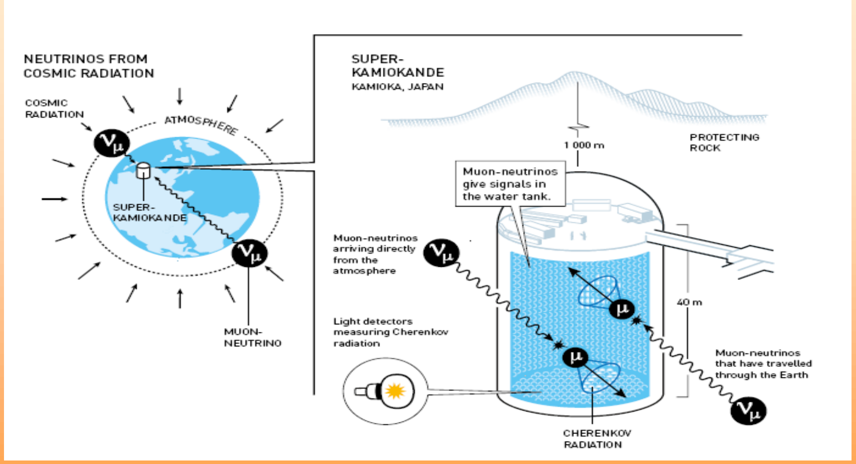
$\Omega_\Lambda = 0.73$

Imamo Standardni Kosmološki Model

Preostale misterije: tamna matrija (dark matter) i tamna energija (dark energy) ili kosmološka konstanta. Njihovo prisustvo je detektovano ali za sada nemamo ideju šta bi to moglo da bude.

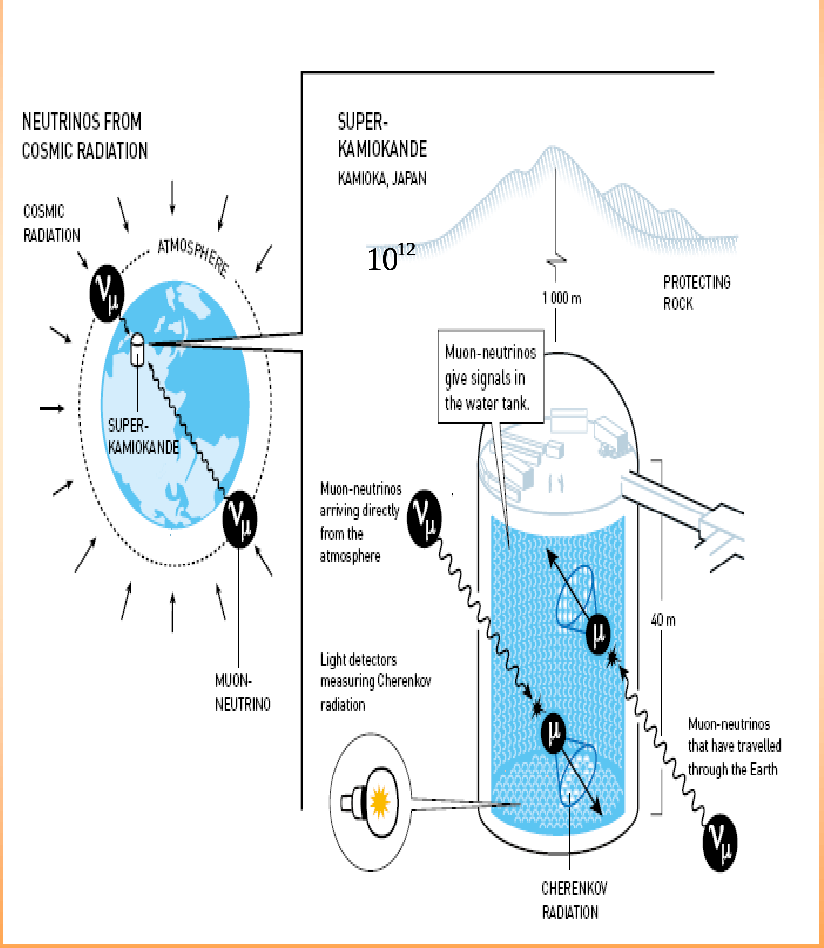
Neutrino ima masu!?

- U fiziku ih uvodu W. Pauli (1930.) u očajničkom pokušaju da spasi zakon održanja u ``beta`` raspadu.
- Teorija ``beta`` raspada – Fermi ~ 1937.
- 1956. Reines I Cowan otkrivaju neutrino.



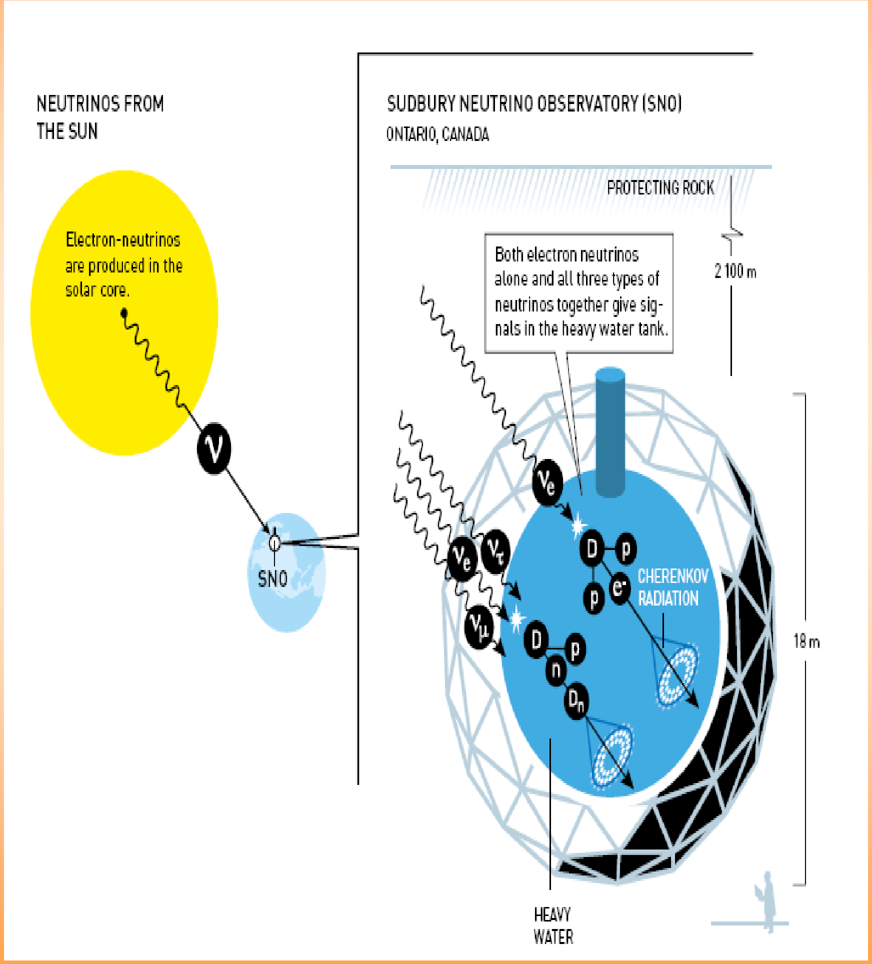
Super-Kamiokande detektor

- Gigantski detektor – 50.000 tona vode
- Registruje neutrine nastale u interakciji kosmičkih zraka (pretežno protoni) sa atmosferom.
- ~ 1 000 000 000 000 neutrina u sekundi prolazi kroz naša tela.
- Za 2 godine detektivano 5 000 elektronskih neutrina .
- Kada se neutrino ``sudari`` sa molekulom vode, kreira naelektrisanu csticu koja emituje Cerenkooljevo zracenje!



Sudbury opservatorija neutrina

- Solarni neutrini dolaze u detektor
- 2 km ispod zemlje, 9 500 detektora okružuje 1 000 tona teške vode.
- Od 60 000 000 000 000 elektronskih neutrina po kvadratnom cm u skundi na površini zemlje samo su 3 dnevno detektovana.
- Tačno trečina od očekivanih!
- Nutrini mogu izvršiti ``metamorfozu`` tokom svog kretanja!
- To mogu samo ako neutrini imaju (različitu) masu!



Kako?

- Kvantna teorija …
- Čestice su i talasi ... !
- Neutrini su u stvari mešavina-superpozicija 3 stanja.
- Kada ih detektujete, u različitim, tačkama, u različitim trenucima, postoje različite verovatnoće u kojem od 3 moguća stanja ćete ih ``zateći`` ... !

Dobitnici Nobelove nagrade za fiziku 2015. godinu

Takaaki Kajita

University of Tokyo, Kashiwa, Japan

Rođen 1959. godine

Arthur B. McDonald

Queen's University, Kingston, Canada

Rođen 1943. godine

Šta i kako dalje?

- Koliko tačno iznose mase neutrina?
- Zašto su im mase tako male? ``Slabo`` interaguju sa ``Higsom``?
- Da li postoji više od 3 vrste neutrina? Postoje li tzv. ``sterilni`` neutrini?
- Da li su sami sebi antičestice?
- Zašto su toliko drugačiji o dosalih čestica?
- Kosmološke implikacije ... Ne izgleda kao da su ključni za ``zatvaranje`` svemira, mada, iako su veoma ``laki``, zbog brojnosti njihova ukupna masa je oko 1% ``kritične`` mase. Približno kao sve zvezde u svemiru!

Da li je LHC rekao svoju poslednju reč? Neutralini ... ?

O ``Nobelu 2015`` ?

- Hvala na pažnji!