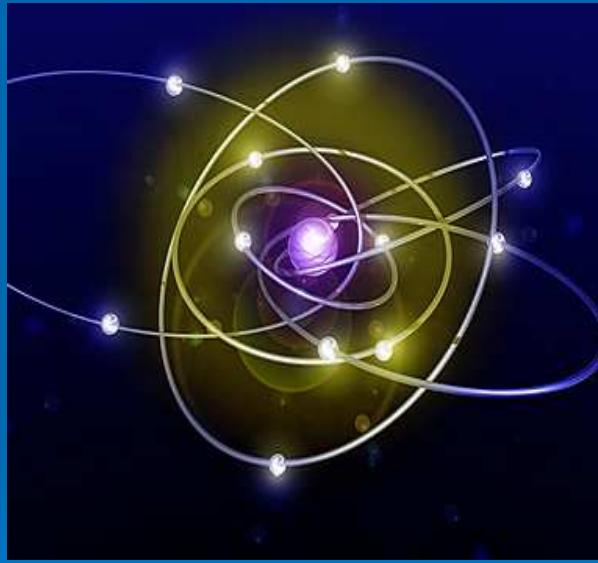


Fizika elementarnih čestica i LHC projekt na CERN-u

Marko Šoštarić

- povijesni uvod u fiziku elementarnih čestica
- Standardni model i njegovi nedostaci
- kozmologija i fizika elementarnih čestica
- teorije iza Standardnog modela
- LHC projekt :
 - veliki hadronski sudarivač (LHC)
 - detektori
 - očekivanja

Povijesni uvod u fiziku elementarnih čestica

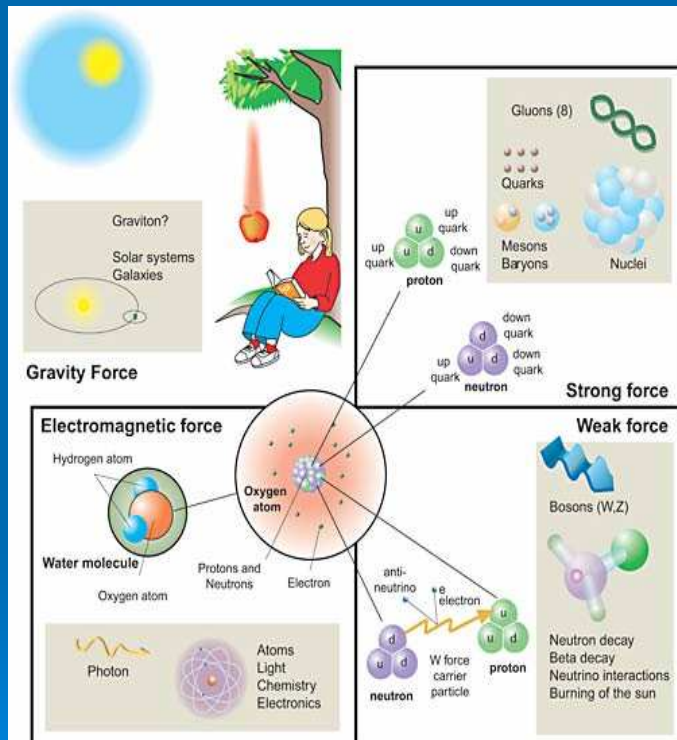


- što izgrađuje svijet u kojem živimo?
(Demokrit)
- Početak moderne fizike elementarnih čestica (otkriće elektrona)
- Jezgra, alfa i beta zračenje, foton

Teorijska otkrića na početku stoljeća

- specijalna teorija relativnosti
- teorija atoma – kvantna mehanika
- relativistička kvantna mehanika
- antimaterija
- očekivan mali broj elementarnih čestica
- ideja o ujedinjenju elementarnih interakcija

Osnovne interakcije (sile) u prirodi



- elektromagnetska sila
- potreba za uvođenjem novih sila

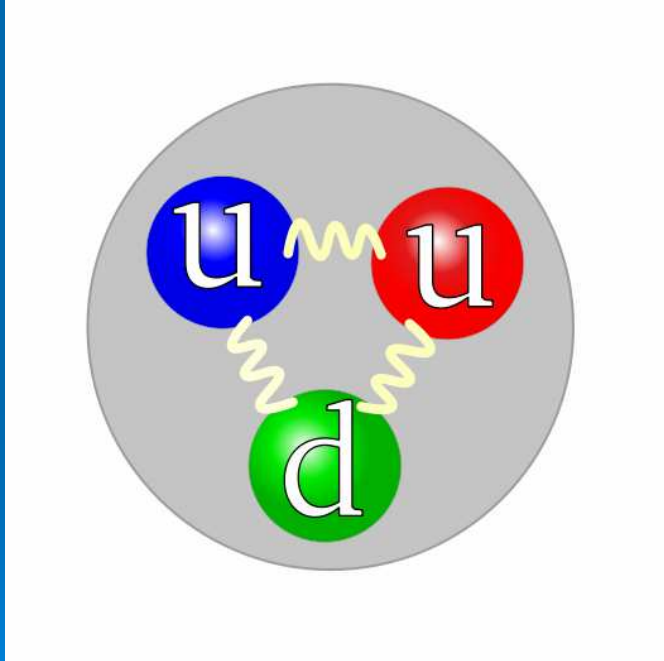
- slaba sila
- jaka sila

- gravitacijska sila ??

Otkrića novih čestica

- neutrino
- pokusi sa kozmičkim zračenjem (mioni, pioni)
- prvi akceleratori – otkriveno mnoštvo novih čestica koje interagiraju jakom silom
- gdje se izgubila željena jednostavnost?

Pretpostavka kvarkovske strukture



- partonski model
 - kvarkovi
 - gluoni
- naboj jake sile – boja
 - gluoni nose boju
 - virtualne čestice
 - kratak doseg jake sile
- kompliciran račun

Elektroslabo ujedinjenje

- slaba i elektromagnetska sila stavljene u isti teorijski okvir
- problem :
 - baždarni princip – nosioci sila su bezmaseni
 - slaba sila je kratkog dosega
 - Nosioci slabe sile (W bozoni, Z bozon) imaju veliku masu
 - elektromagnetska sila ima beskonačan doseg
 - Nosioci elektromagnetske sile (fotoni) nemaju masu
- rješenje – Higgsov mehanizam
 - Higgsova čestica ??

Standardni model – osnovni principi

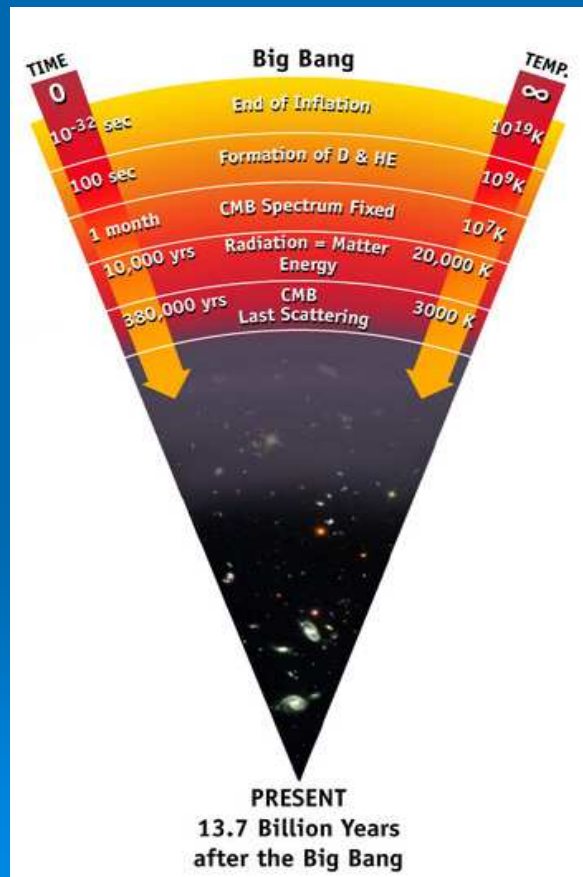
- pojam simetrije
 - relativistička simetrija
 - baždarna simetrija

- kvantna fizika

Standardni model – čestice i sile

Three Generations of Matter (Fermions)				
	I	II	III	
mass	3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name	u up	c charm	t top	γ photon
	6 MeV	95 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2 eV	<0.19 MeV	<18.2 MeV	90.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ weak force
	0.511 MeV	106 MeV	1.78 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	W[±] weak force
				Bosons (Forces)

Kozmologija

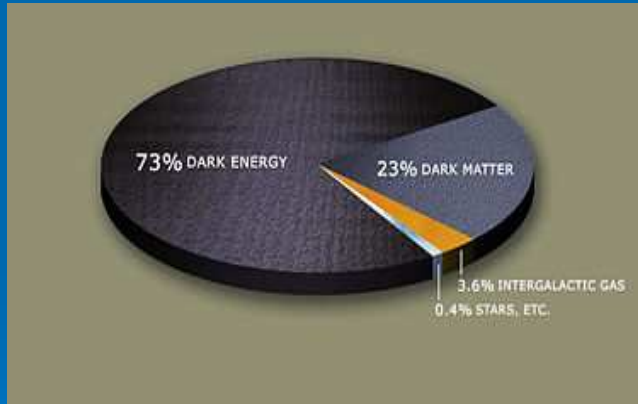


- Hubbelovo otkriće – galaksije se udaljuju od nas
 - Svemir se širi
 - nastao eksplozijom iz jedne točke – Veliki prasak
 - Svemir je konačan
- omjer vodika i helija u svemiru
- Kozmičko pozadinsko mikrovalno zračenje

Kozmologija i fizika čestica

- akceleratorima čestica stvoreni uvjeti koji su vladali ranim Svemirom
- Obješnjenje Velikog praska u okviru Standardnog modela
- Kako se približavamo vremenskoj nuli, tako nailazimo na probleme
- Inflacijski model Velikog praska – rješenje mnogih problema
 - Potreban “pogonitelj” inflacije – Higgsovo polje ??

Otkriće nepoznate svemirske materije



- Tamna materija
 - brzine zvijezda u galaksijama
 - gravitacijske leće – galaksije ispunjene nevidljivom masom
 - sudari galaksija
- Tamna energija
- kandidati za nepoznatu materiju – nove čestice

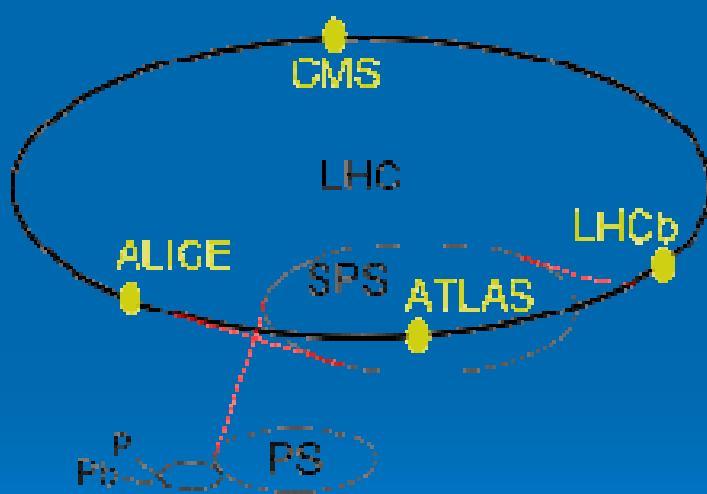
Teorije iza Standardnog modela

- teorije koje daju mogućnost ujedinjenja sila
 - na određenim energijama “konstante” vezanja poprimaju jednake vrijednosti
 - mogućnost provjere na LHC-u
- popunjavanje “rupa” u standardnom modelu
- predložene teorije
 - SU(5) teorija
 - najjednostavnija mogućnost ujedinjenja jake, elektromagnetske i slabe sile
 - SUSY teorija
 - podvostručenje čestica
 - kandidati za tamnu materiju
 - teorija struna
 - ujedinjenje svih sila
 - pitanje broja dimenzija
 - nemogućnost eksperimentalne provjere

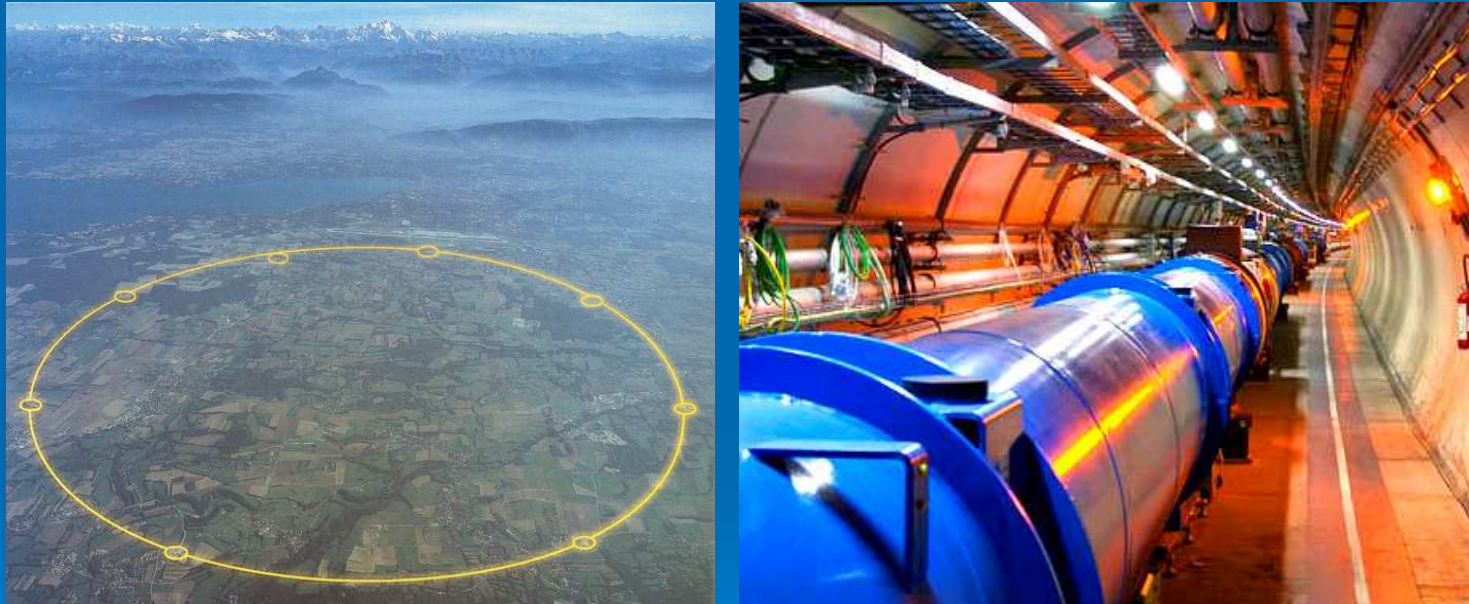
CERN

- Centre Europeene pour la Recherche Nucleaire
- smješten na granici između Švicarske i Francuske (pored grada Geneve)
- osnovan godine 1954.
- ~9000 zaposlenih
- mnoga otkrića u fizici elementarnih čestica
- projekt LHC (Large Hadron Collider)

Projekt LHC



- LHC ubrzivač
 - radiofrekventne šupljine za ubrzavanje
 - dipolni magneti za savijanje
 - kvadrupolni magneti za fokusiranje
- detektori
 - CMS (Compact Muon Solenoid)
 - ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS)
 - ALICE (A Large Ion Collider Experiment)
 - LHCb



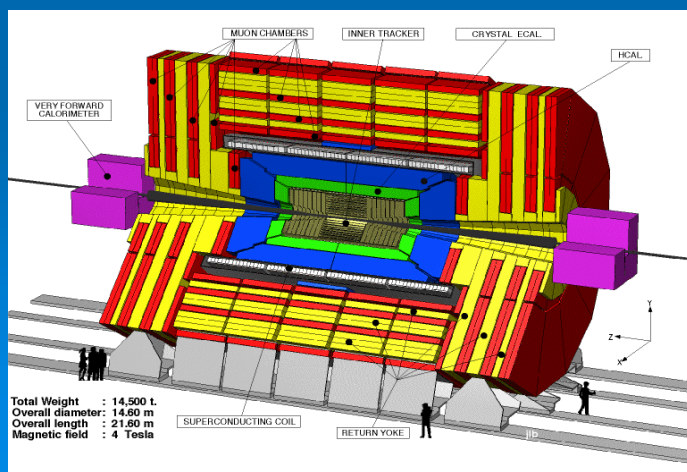
LHC ubrzivač

- zašto 100 m ispod zemljine površine?
- karakteristike ubrzivača protona
 - opseg ubrzivača iznosi 27 km
 - 1250 dipolnih magneta (9 T), 500 kvadrupolnih magneta
 - magneti ohlađeni na 1,9 K pomoću tekućeg helija (supravodljivost)

karakteristike snopa protona

- protoni ubrzani do energije 7 TeV
- u sudaru dobijemo energiju 14 TeV (= 2,24 μ J)
- protoni kruže u rojevima od 10^{11} protona
- luminozitet = $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- sudar rojeva svakih 25 ns

CMS detektor



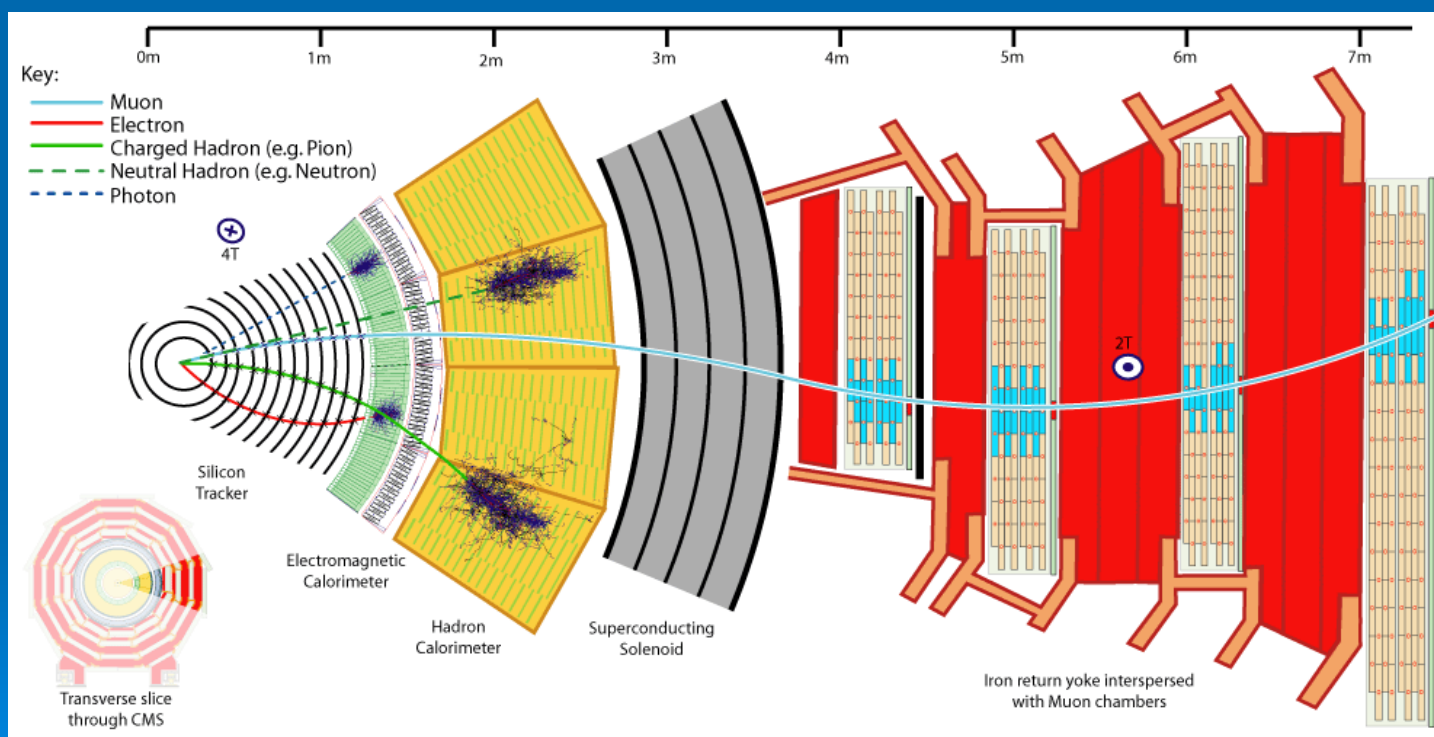
➤ dimenzije

- duljina=21.5, promjer=14,5 m, masa=14500 tona

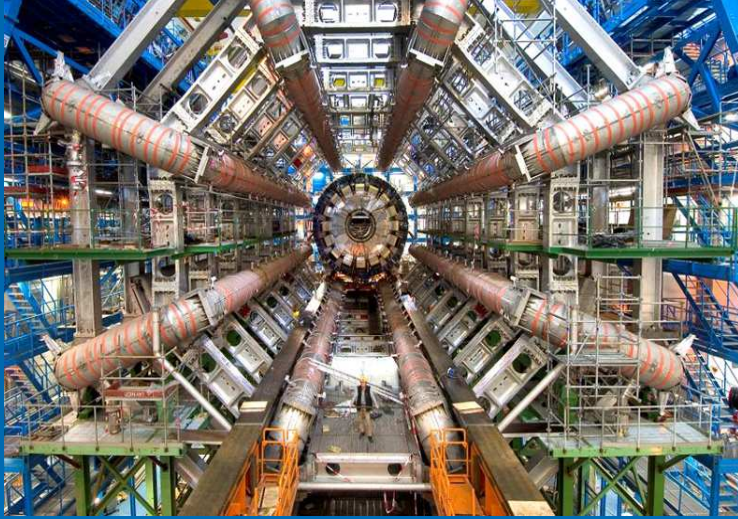
➤ očekivani rezultati

- Higgsov bozon i njegova masa
- čestice izvan Standardnog modela
- parametri standardnog modela

CMS detektor



ATLAS detektor



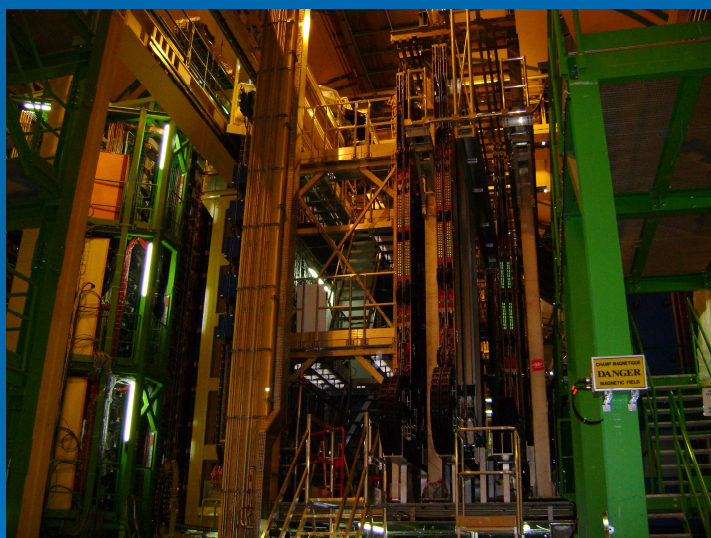
- dimenzije
 - duljina=46, promjer=25 m, masa=7000 tona
- očekivani rezultati
 - Higgsov bozon
 - drugi mehanizmi narušenja simetrije
 - čestice izvan Standardnog modela
 - dodatne dimenzije
 - parametri standardnog modela

ALICE detektor



- očekivani rezultati
 - kvark – gluon plazma
 - dobivanje uvjeta koji su postojali u svemiru odmah nakon Velikog praska

LHCb detektor



- pitanje našeg postojanja
- očekivani rezultati
 - asimetrija između materije i antimaterije
 - parametri asimetrije

Eksperiment s antimaterijom

- dobivanje snopova antiprotona
- kako gravitacija djeluje na antimateriju?