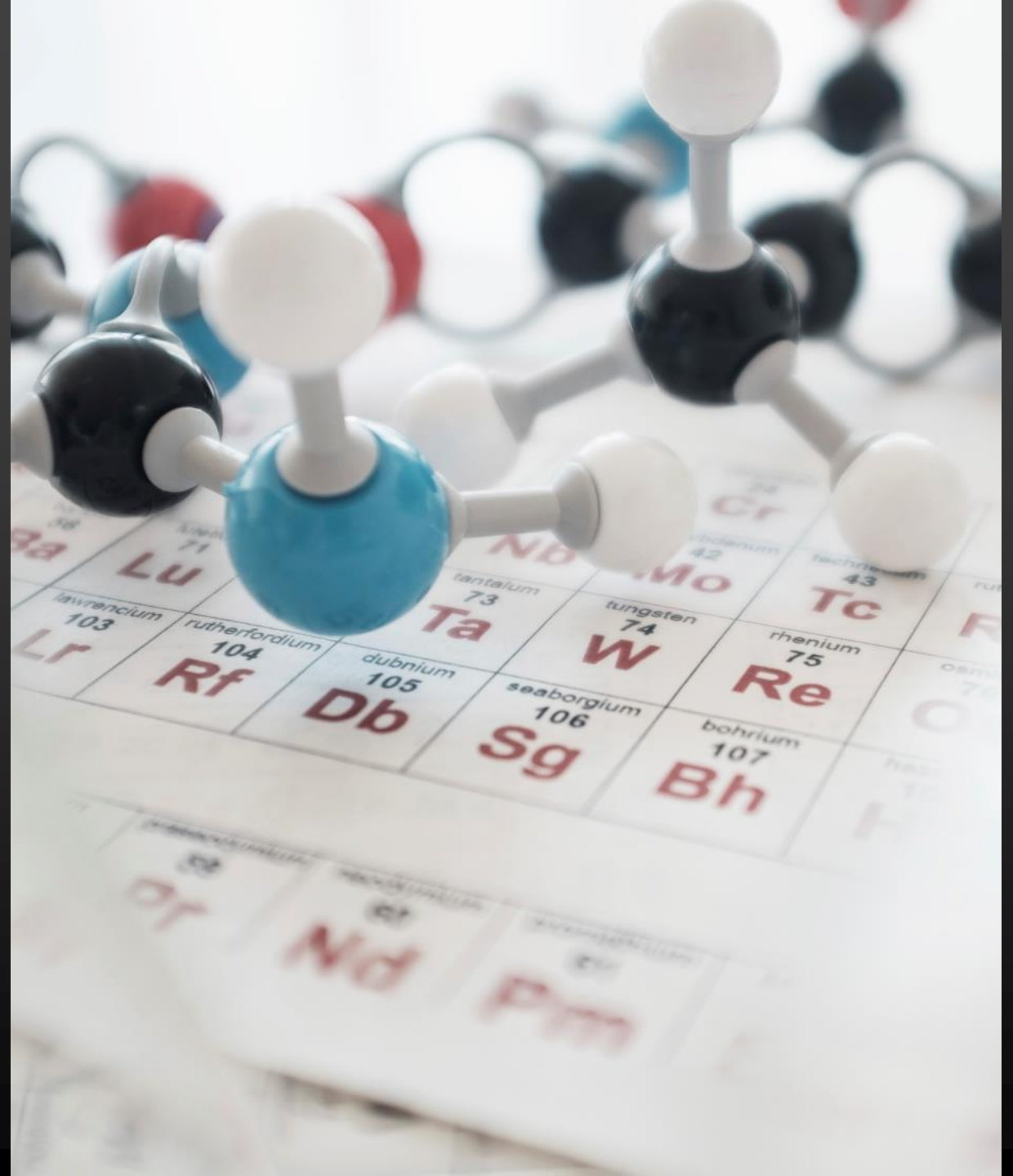


Elementariosios dalelės: Standartinis modelis

Virginija Japertaitė

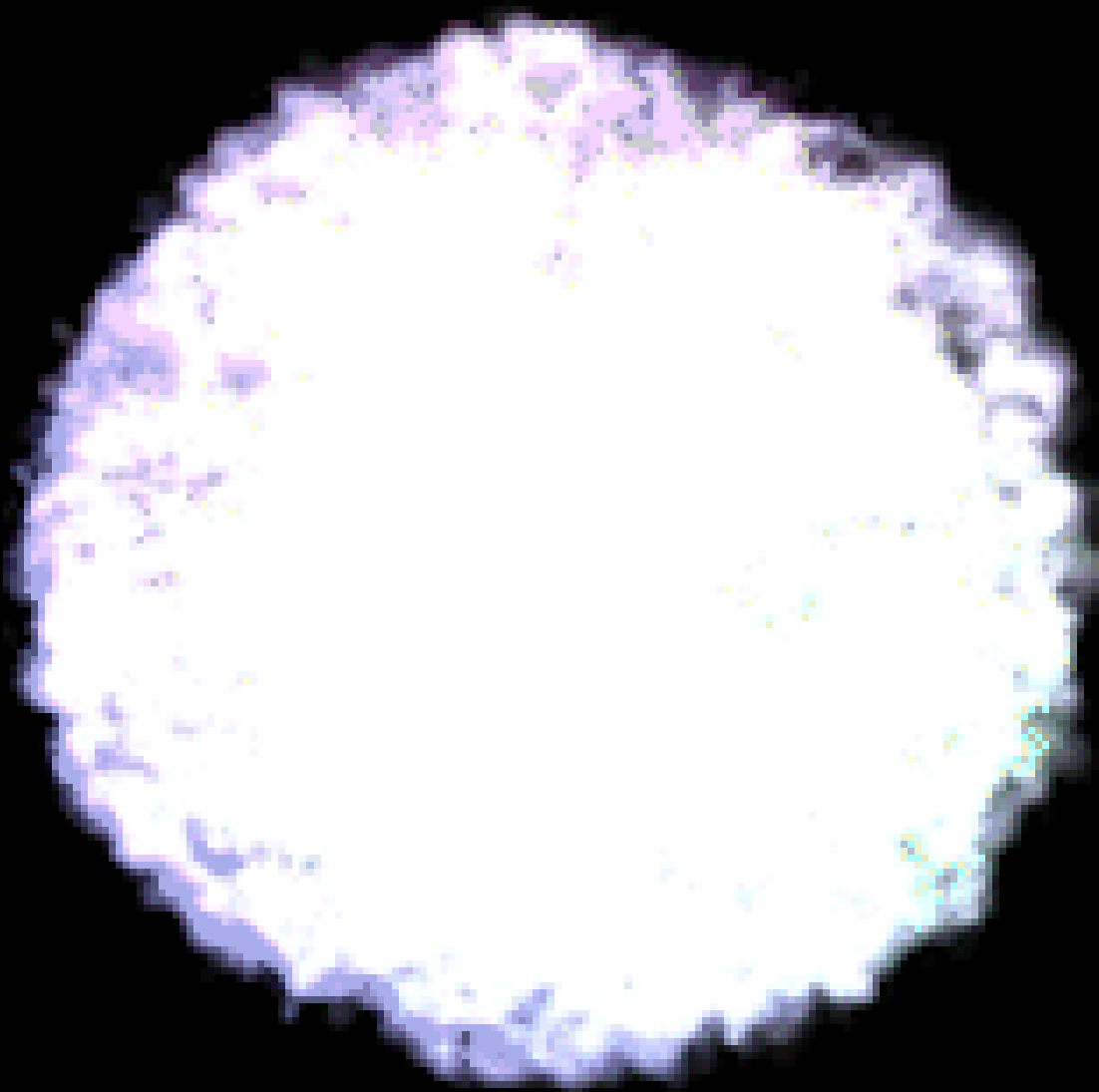
2023 m.



▶ $x=0.0001$

$x=0.01$

$x=0.3$



Pamokos tikslas

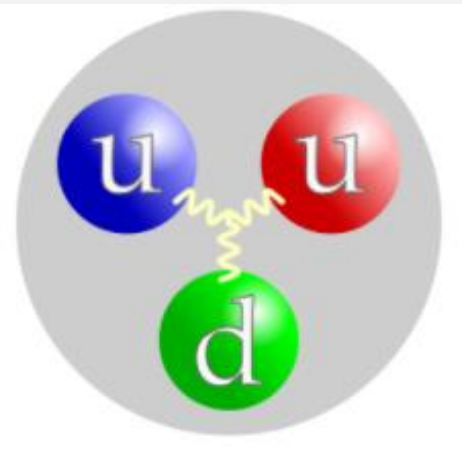
- Išnagrinėti standartinio modelio sandarą ir nusakyti pagrindines jį sudarančių elementariųjų dalelių savybes bei sąryšį su fundamentinėmis jėgomis.



Protonas ir neutronas

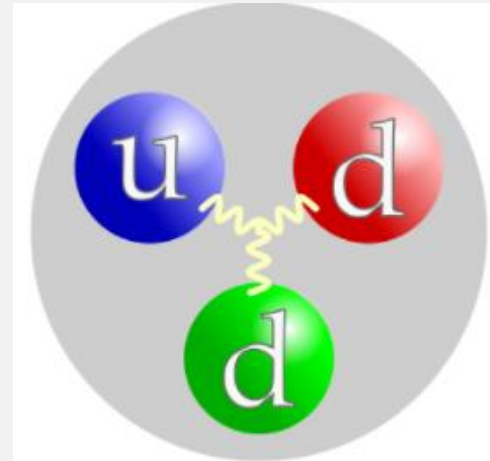
- 1919 m. Ernestas Rezerfordas aptiko protoną.
- Protonas (p^+) – tai teigiamą krūvį turinti dalelė ($+1,602 \cdot 10^{-19}$).
- Protono masė ($m_p = 1,6724 \cdot 10^{-27} \text{kg}$).

- **Protonas sudarytas iš trijų kvarkų:
2 kylančiųjų ir vieno krintančiojo kvarkų**



- 1932 m. Džeimsas Čadvikas aptiko neutroną.
- Neutronas (n^0) - elektriškai neutrali dalelė (neturinti elektros krūvio).
- Neutrono masė ($m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{kg}$).

- **Neutronas sudarytas iš trijų kvarkų:
2 krintančiųjų ir vieno kylančiojo.**



Elementariosios dalelės

- Elementarioji dalelė – nedaloma, vidinės struktūros neturinti dalelė.
- Ilgą laiką atomas buvo laikomas elementariąja dalele.
- Elementariosios dalelės skirstomos į kvarkus, leptonus, fermionus, bozonus.
- Hadronai – stipriąja sąveika sąveikaujančios dalelės.
- Elementariosios dalelės aptinkamos panaudojant dalelių greitintuvus.



Elementariosios dalelės: Standartinis modelis

	masė → $\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$
	krūvis → $2/3$	$2/3$	$2/3$	0	0
	sukinys → $1/2$	$1/2$	$1/2$	1	0
	u	c	t	g	H
	kylantysis	žavusis	viršūninis	gliuonas	Higso bozonas
KVARKAI	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	d	s	b	γ	
	krintantysis	keistasis	gelminis	fotonas	
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$91.2 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	e	μ	τ	Z	
	elektronas	miuonas	taonas	Z bozonas	
LEPTONAI	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$80.4 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	± 1	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	ν_e	ν_μ	ν_τ	W	
	elektroninis neutrinas	miuoninis neutrinas	tau neutrinas	W bozonas	
					BOZONAI



Higgso bozonas

- Tai – dalelė, kuri sąveikaudama suteikia kitoms elementariosioms dalelėms masę.
- 1964 m. ją pirmą kartą teoriškai aprašė Peter Higgs.
- Atradimas paskelbtas 2012 m. liepos 4 d., remiantis LHC eksperimentų CMS ir ATLAS duomenimis.
- 2013 m. Peter Higgs kartu su Francois Englert gavo fizikos Nobelio premiją už „teorinį mechanizmo, kuris leidžia suprasti elementariųjų dalelių masės kilmę atradimą“.

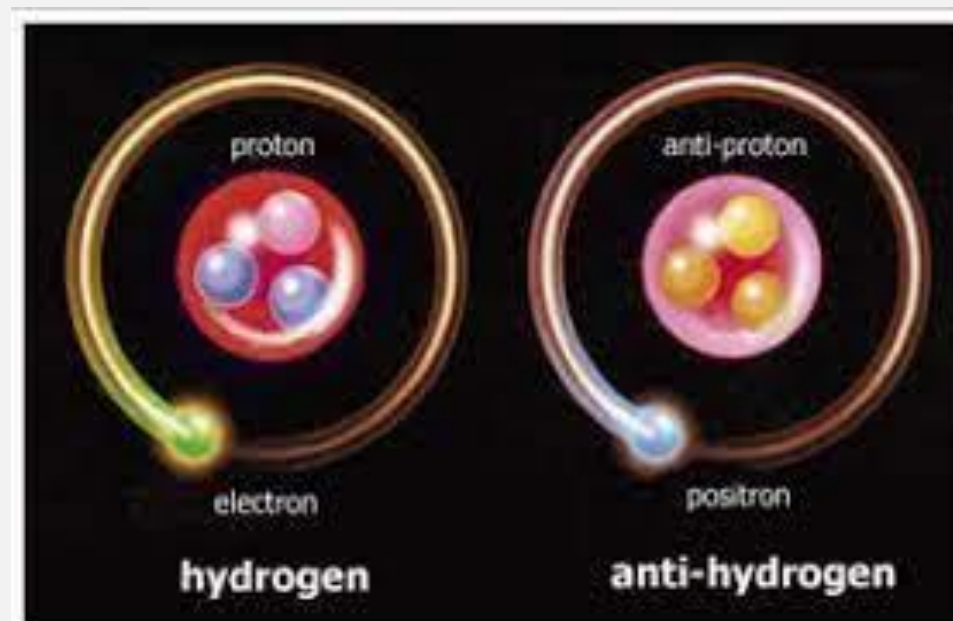


Francois Englert ir Peter Higgs per Nobelio premijos įteikimo ceremoniją, 2013 m.



Antidalelės

- Elementariosios dalelės turi savo priešingybes – antidaleles.
- Antidalelių egzistavimą 1931 m. numatė P. Dirakas. Iš jo reliatyvistinės Šredingerio lygties sprendinių sekė, kad dalelės ir antidalelės masė, gyvavimo trukmė ir sukinyš yra vienodi.
- Taip pat *vienodi elektrinio krūvio ir savojo magnetinio momento moduliai, tačiau jų ženklai yra priešingi.*
- Suartėjus dviems priešingoms dalelėms vyksta **anhiliacija** – dalelės išnyksta virsdamos fotonais arba kitomis dalelėmis.



Kuri elementarioji dalelė esi tu?



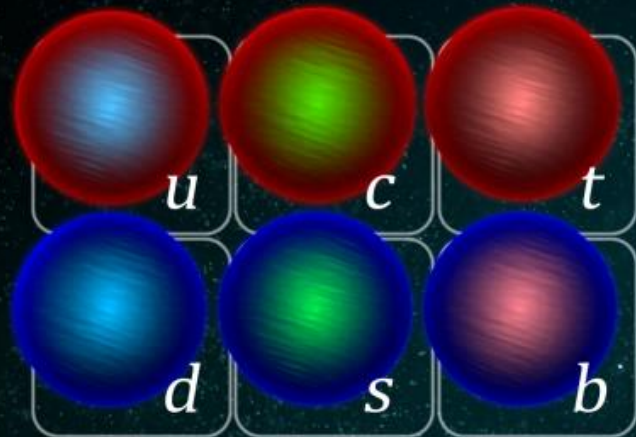
- cern.ch/identities



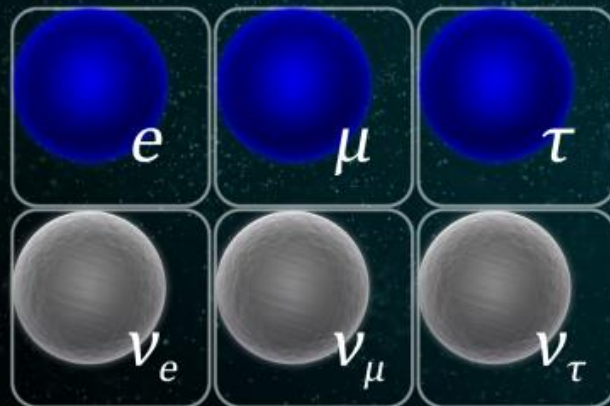
Dalelių savybės

- Visos elementariosios dalelės apibūdinamos tam tikru charakteristikų rinkiniu. Jų skaičius viršija 10.
- Pačios svarbiausios:
- **Masė:** dalelės rimties masė, išreiškiama MeV
- **Vidutinė gyvavimo trukmė τ :** sekundėmis, kai kurios dalelės gyvuoja iki 1s
- **Sukinys:** savasis judesio kiekio momentas. Nesusijęs su mechaniniu judėjimu, yra vidinė materijos savybė
- **Elektrinis krūvis:** išreiškiamas elementariojo krūvio vienetais (pvz. $q=0, \pm 1, \pm \frac{1}{3}$)

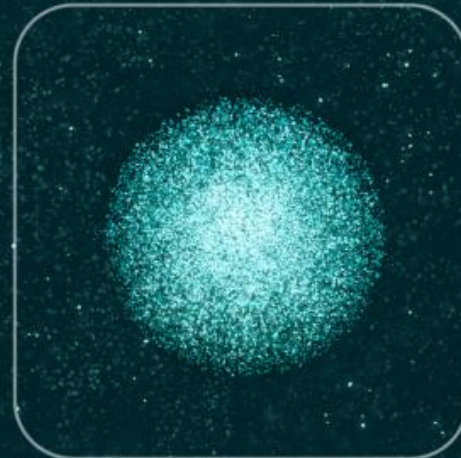




Quarks



Leptons



Higgs boson

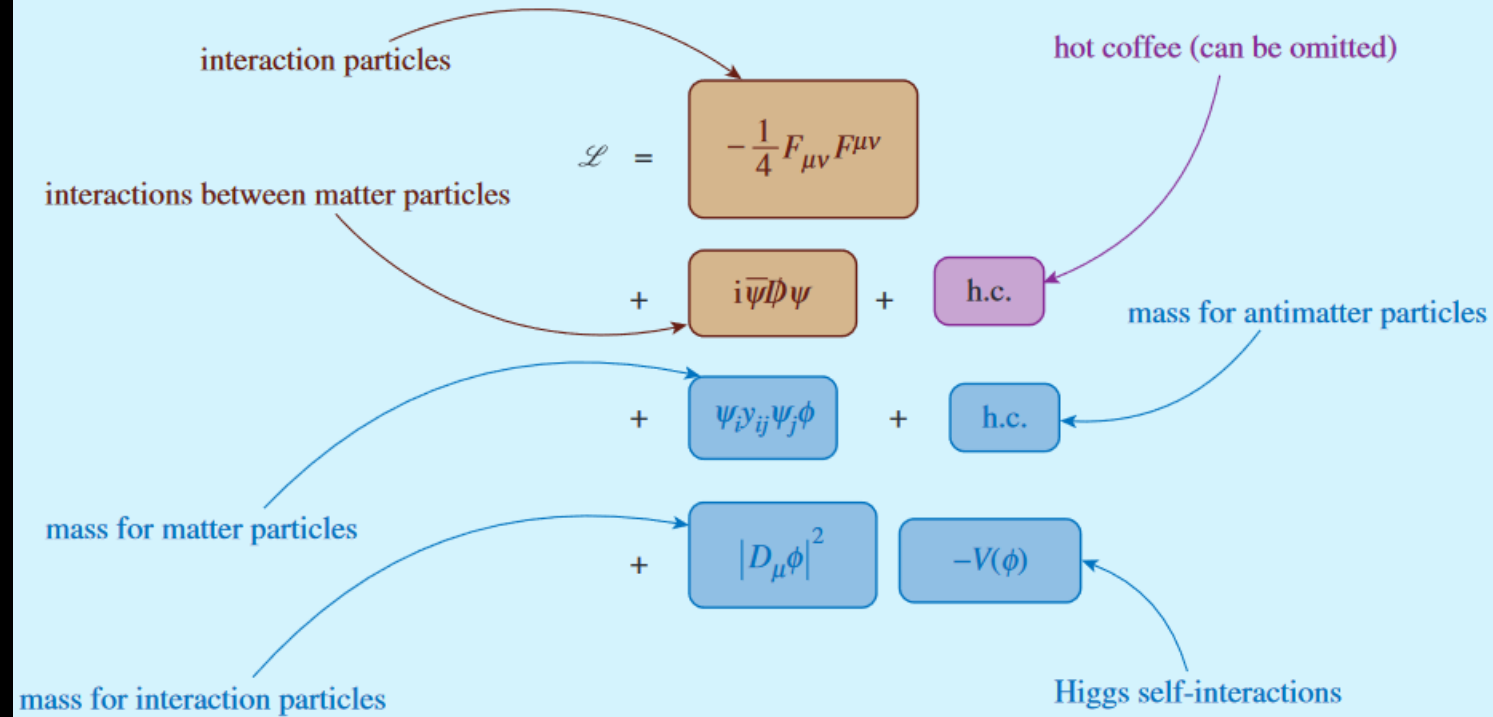


Forces



Standartinis modelis

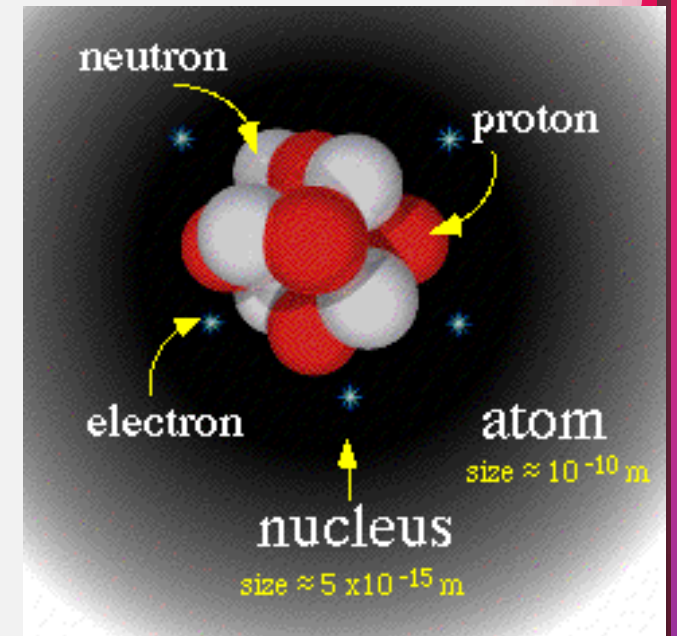
$$\begin{aligned}
 \mathcal{L} = & -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \\
 & + i\bar{\psi}\not{D}\psi + \text{h.c.} \\
 & + \chi_i y_{ij} \chi_j \phi + \text{h.c.} \\
 & + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)
 \end{aligned}$$



Atomo branduolio sandara.

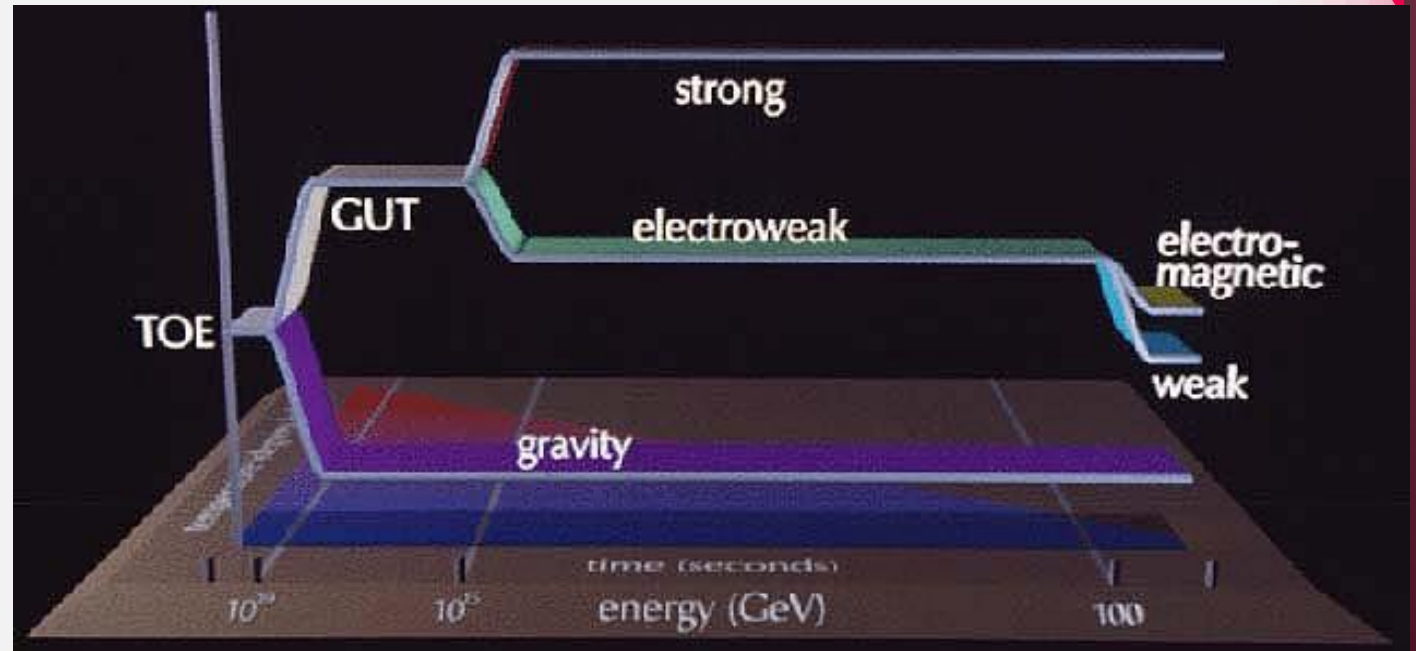
Branduolinės jėgos

- Dėl Kulono jėgos veikimo atomo branduolys turėtų išsilakstyti, o gravitacinės jėgos yra per silpnos, kad išlaikytų branduolį.
- Atomo branduolys laikosi nesubyrėjęs dėl branduolinių jėgų.
- Traukos jėgos, kuriomis atomo branduolyje sąveikauja protonai ir neutronai, vadinamos branduolinėmis jėgomis.
- Branduolinės jėgos veikia tik mažais atstumais, artimais branduolio dydžiui. Branduolio nukleonų tarpusavio sąveika vadinama stipriąja sąveika.
- Elementariųjų dalelių standartiniame modelyje šią sąveiką perneša gliuonai.

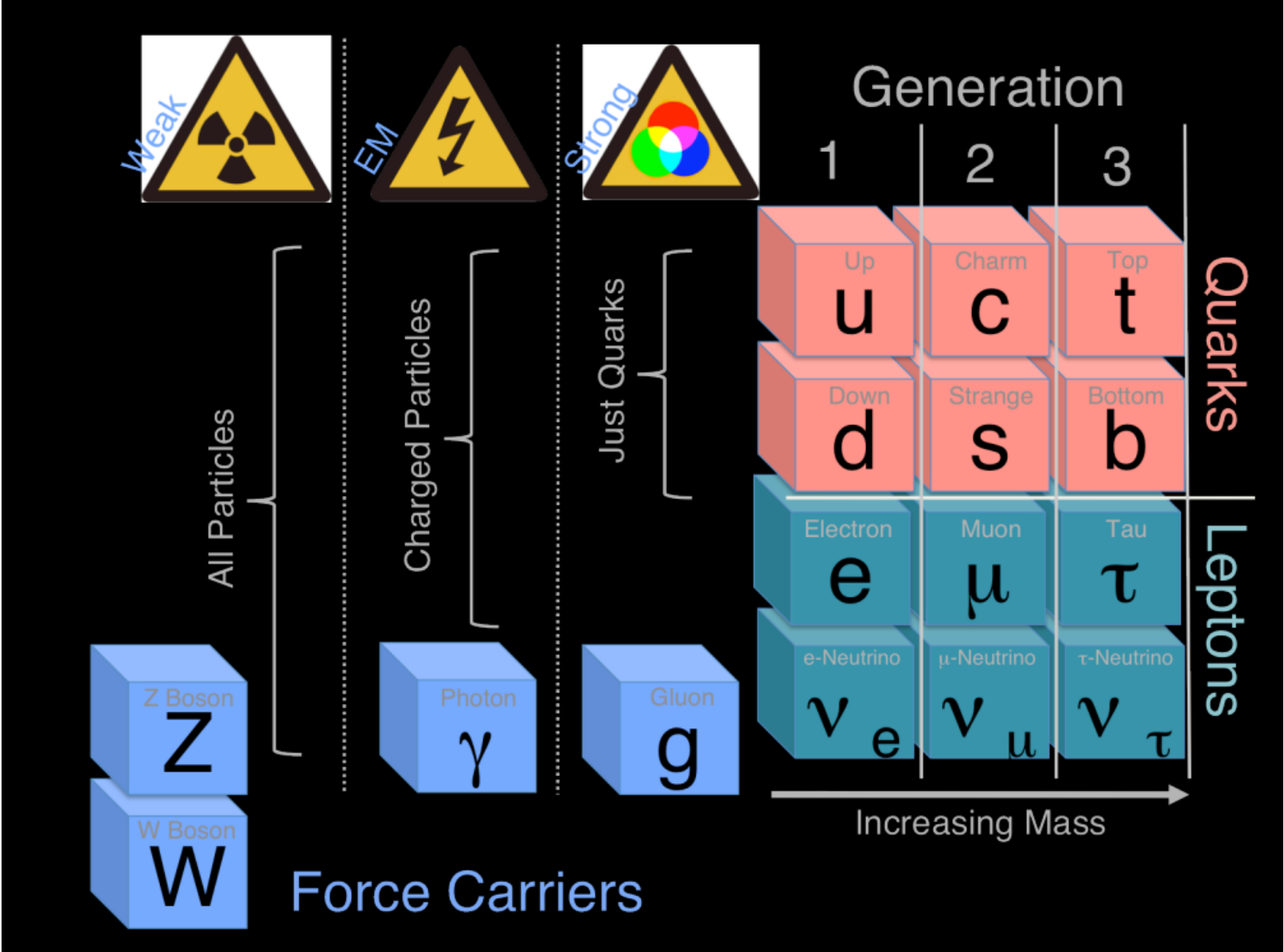


Keturiios fundamentinės sąveikos

- Medžiagos vientisumą ir elementariųjų dalelių tarpusavio virsmus lemia keturiios fundamentinės sąveikos:
 - gravitacinė;
 - elektromagnetinė;
 - stiprioji;
 - silpnoji.
- Bozonai perduoda vienos dalelės fundamentinį poveikį kitai dalelei.

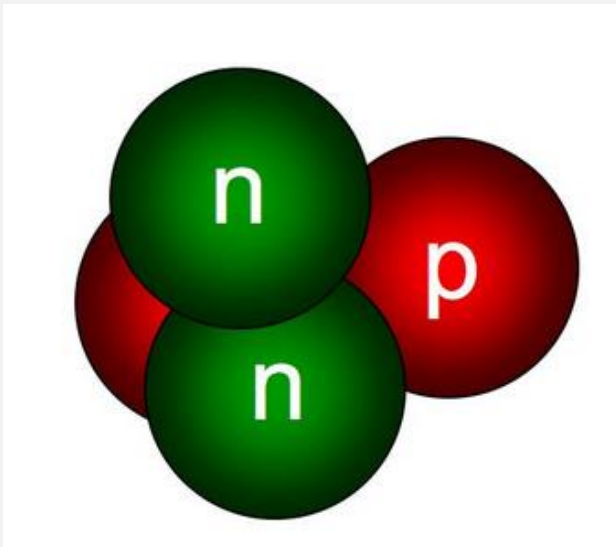


Elementariosios dalelės – sąveikos nešėjai



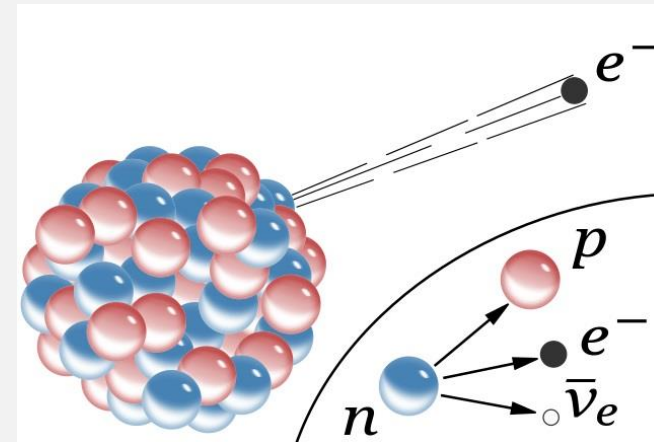
Stiprioji sąveika

- Reiškiasi labai mažais atstumais (apie fm). Laiko nukleonus atomų branduoliuose ir lemia jų stabilumą.
- Vykstant branduolinėms reakcijoms, dėl šios sąveikos išsiskiria dideli energijos kiekiai.
- Stiprioji sąveika yra 38 kartus stipresnė už gravitacinę sąveiką.



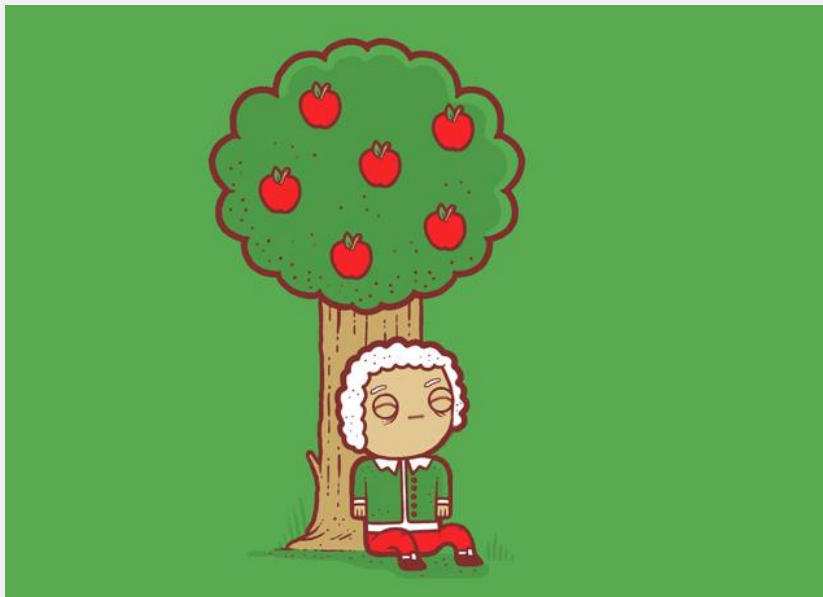
Silpnoji sąveika

- Būdinga daugeliui elementariųjų dalelių.
- Reiškiasi dar mažesniais atstumais nei stiprioji sąveika ir sukelia nestabilių dalelių skilimą.
- Silpnoji sąveika yra 24 kartus stipresnė už gravitacinę sąveiką.



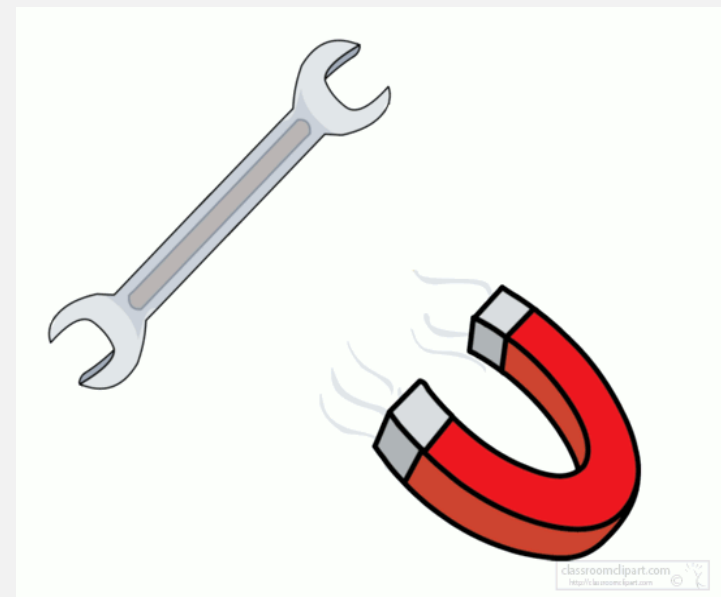
Gravitacinė sąveika

- Gravitacinė sąveika būdinga visiems kūnams, turintiems masę.
- Masyvių kūnų sąveika yra nepaprastai stipri, o elementariųjų dalelių – labai silpna.



Elektromagnetinė sąveika

- Būdinga kūnams, turintiems elektros krūvį. Tai – geriausiai ištirta sąveika.
- Elektromagnetinė sąveika yra 36 kartus stipresnė už gravitacinę sąveiką.



Gravitono paieškos

- Eksperimentiškai aptikti pavienius gravitonus yra neįmanoma, nes negalime jų izoliuoti nuo neutrinų foninės spinduliuotės. Tai technologiškai neįmanoma.
- LIGO ir Virgo eksperimentuose aptiktos gravitacinės bangos.
- Gravitacinių bangų stebėjimas ir jų savybių tyrimas padėtų nustatyti galimus gravitono parametrus.



Virgo
(Italija, 14 Europos šalių)

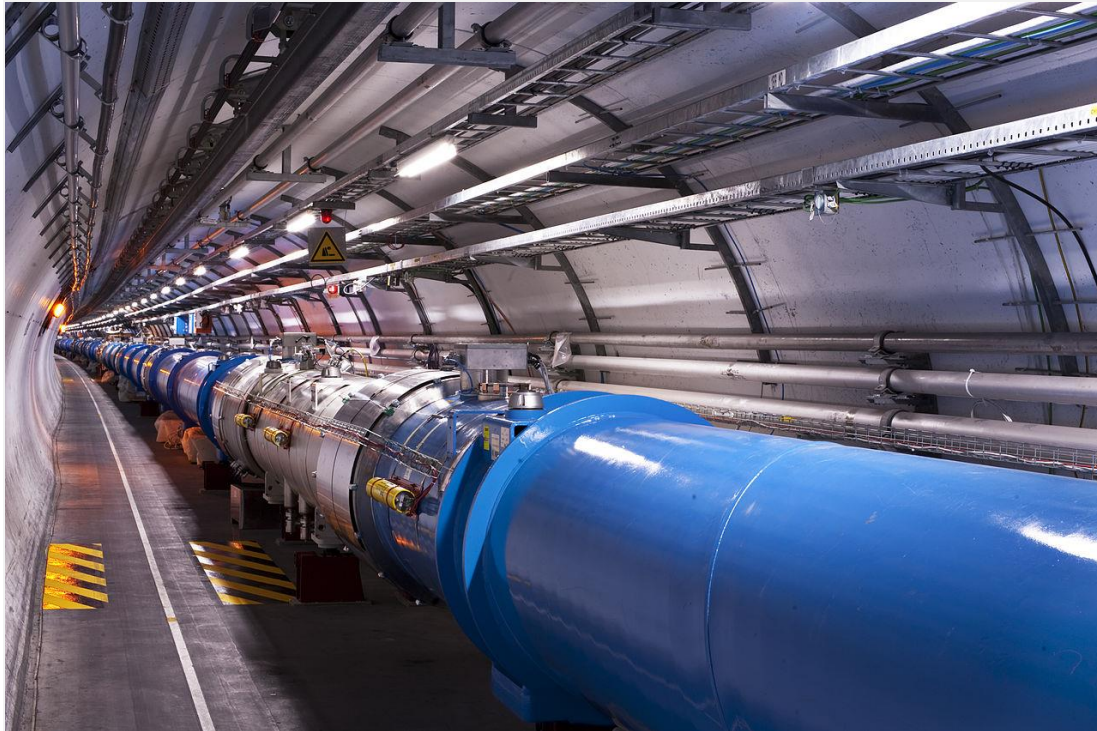


LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory)
2 vietos JAV, Jungtinė Karalystė, Vokietija, Australija

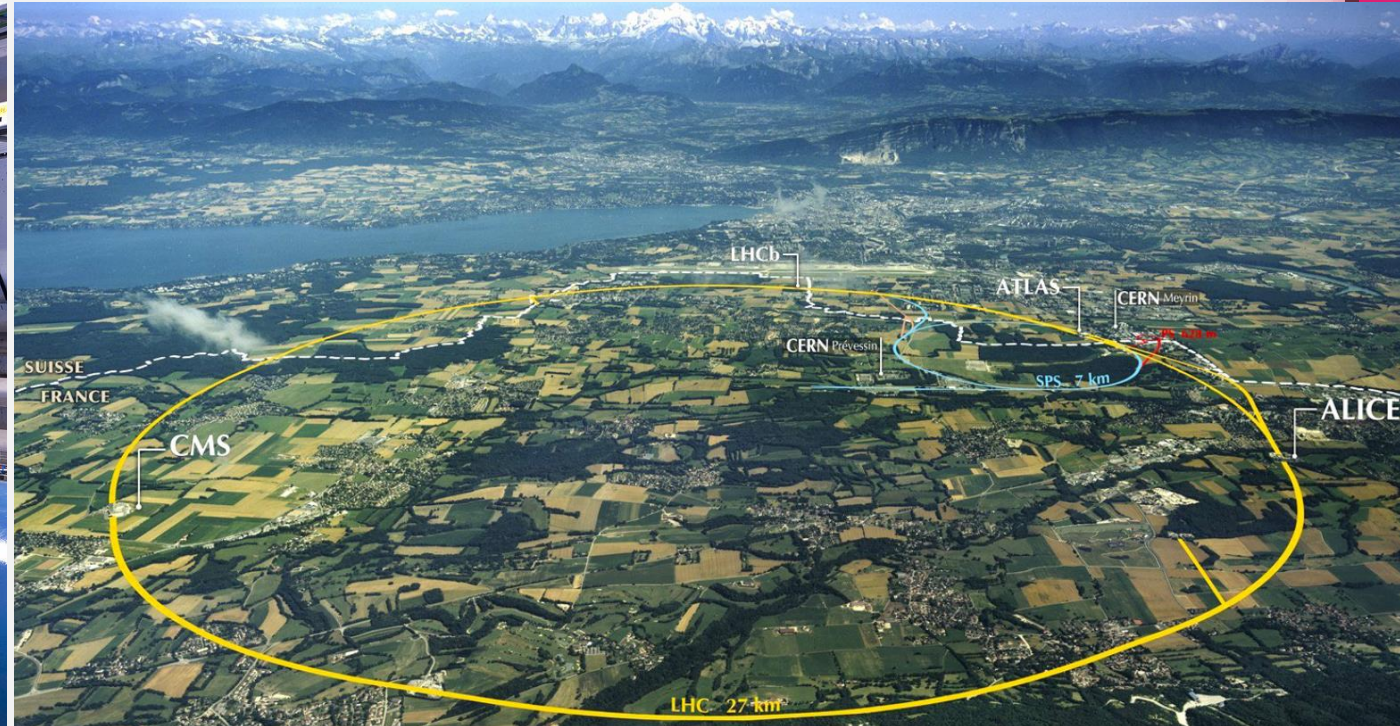


CERN

- CERN – Europos branduolinių mokslinių tyrimų organizacija
- Lietuva – asocijuota CERN šalis narė nuo 2018 m.
- Didysis hadronų priešinių srautų greitintuvas (angl. Large Hadron Collider, LHC)



Vaizdas LHC tunelyje

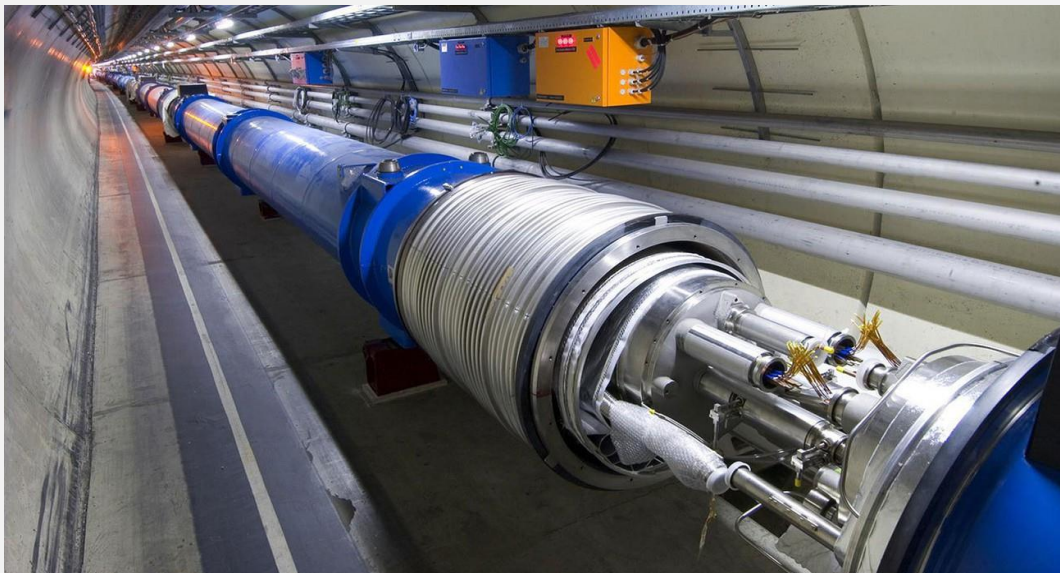


Geltona linija žymi tunelio trajektoriją



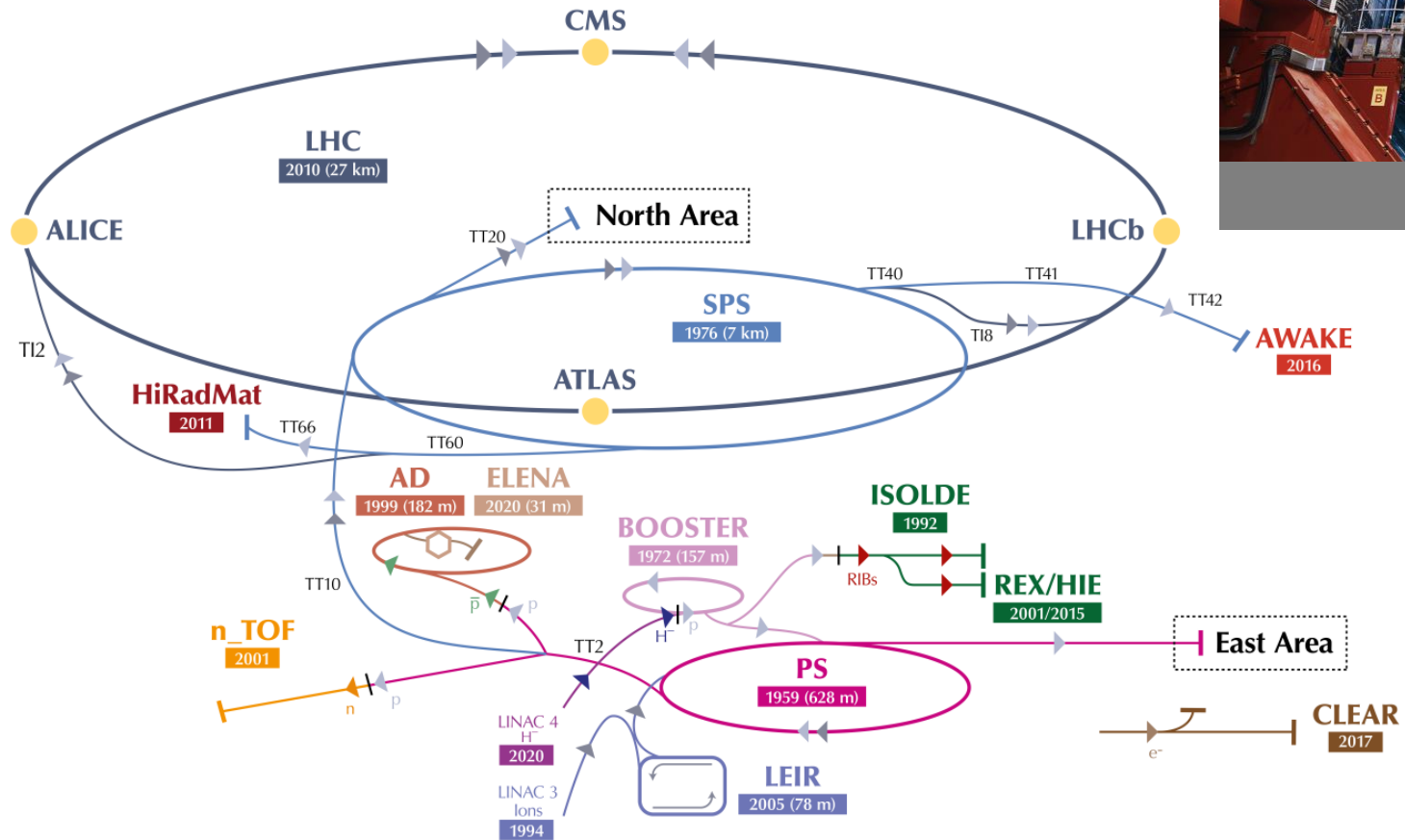
LHC (Large Hadron Collider)

- Daugiausia nagrinėjami vandenilio jonų (protonų) susidūrimai. Per dieną greitinama tik 2 ng (nanogramai) protonų
- Protonai keliauja grupelėmis (*bunch*), vieną grupelę sudaro $1,15 \cdot 10^{11}$ protonų, vienu metu LHC paleidžiamos 2808 grupelės.
- Susidūrimai įvyksta kas 25 ns (nanosekundes), prieš susidūrimą grupelės suspaudžiamos iki 20 μm pločio.
- Metų pabaigoje tiriami ir sunkiųjų jonų susidūrimai
- LHC tunelio ilgis – 27 km, dipolių magnetų stiprumas 8,3 T, energija netoli 7 TeV.

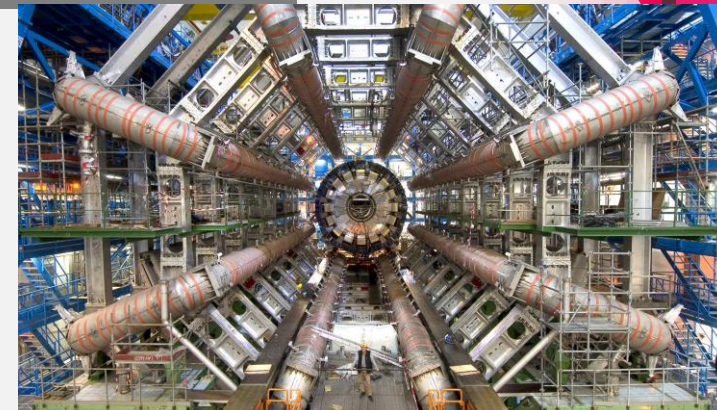


The CERN accelerator complex

Complexe des accélérateurs du CERN



ALICE detektorius



ATLAS detektorius



CMS detektorius

▶ H^- (hydrogen anions) ▶ p (protons) ▶ ions ▶ RIBs (Radioactive Ion Beams) ▶ n (neutrons) ▶ \bar{p} (antiprotons) ▶ e^- (electrons)

LHC - Large Hadron Collider // SPS - Super Proton Synchrotron // PS - Proton Synchrotron // AD - Antiproton Decelerator // CLEAR - CERN Linear Electron Accelerator for Research // AWAKE - Advanced WAKEfield Experiment // ISOLDE - Isotope Separator OnLine // REX/HIE - Radioactive Experiment/High Intensity and Energy ISOLDE // LEIR - Low Energy Ion Ring // LINAC - LINear ACcelerator // n_TOF - Neutrons Time Of Flight // HiRadMat - High-Radiation to Materials





CMS Experiment at the LHC, CERN
Simulated event at 13 TeV centre-of-mass energy

