

Dalelių fizika CERN

Aleksas Mazeliauskas

aleksas.eu

CERN teorinės fizikos departamentas, Ženeva, Šveicarija

2022 m. kovo 30 d.



Mano kelias nuo Mažeikių iki CERN

1999–2007



2007–2008



Vilniaus universitetas

2008–2012



UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

2012–2017



Stony Brook University

2017–2019



UNIVERSITÄT HEIDELBERG
ZUKUNFT SEIT 1386

2019–2021



Trumpa įžanga apie CERN

Europos branduolinių mokslinių tyrimų organizacija
Organisation européenne pour la recherche nucléaire
European Organization for Nuclear Research

bet ne Conseil européen pour la recherche nucléaire

Europos branduolinių mokslinių tyrimų organizacija

- Įkurta 1954 m. rugsėjo 29 d. (dvylika šalių įkūrėjų)
- Šveicarijos ir Prancūzijos pasienyje prie Ženevos miesto
- Misija: *fundamentiniai moksliniai tyrimai taikos ir žmonijos labui*
- 2018 sausio 8 d. Lietuva tapo asocijuota CERN nare.



CERN ekspozicijų ir lankytojų centras „Gaublys“

CERN narės

- 23 pilnos narės: Austria, Belgium, Bulgaria, the Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Israel, Italy, the Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Serbia, Slovakia, Spain, Sweden, Switzerland, and the UK
- 10 asocijuotos narės: Estonia, Croatia, Cyprus, India, Latvia, Lithuania, Pakistan, Slovenia, Turkey, Ukraine
- CERN biudžetas (2022) yra 1,3891 milijardo Šveicarijos frankų
- Įmokos proporcingos ekonomikos dydžiui ir narystės statusui (Lietuvos įmoka – vienas milijonas Šveicarijos frankų per metus.)



CERN darbuotojai

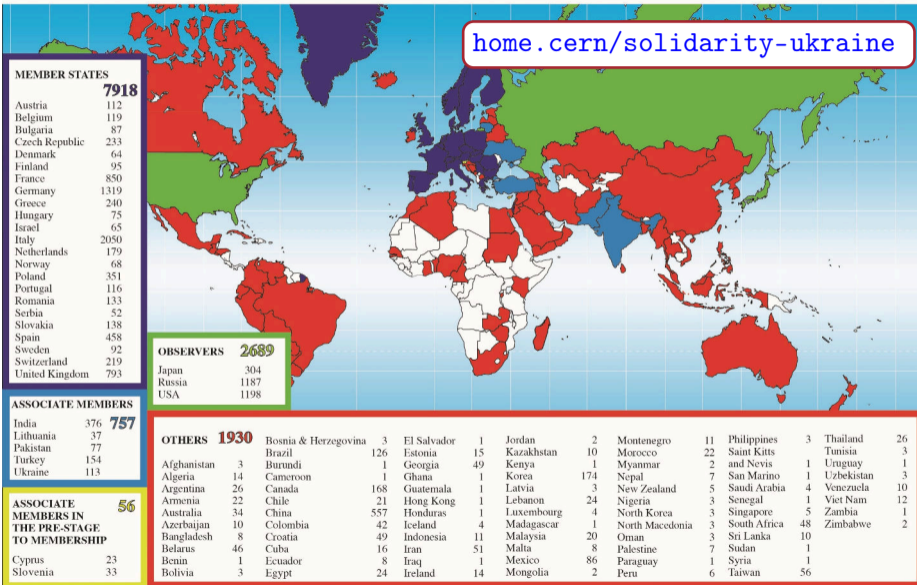
- 2600 nuolatinių darbuotojų (mažiau nei 100 mokslininkų!)
- 2600 kiti apmokami darbuotojai (pvz. trumpalaikiai CERN fellows)
- 13000 naudotojų iš viso pasaulio

Kasdien CERN dirba apie 10000 darbuotojų (prieš pandemiją)

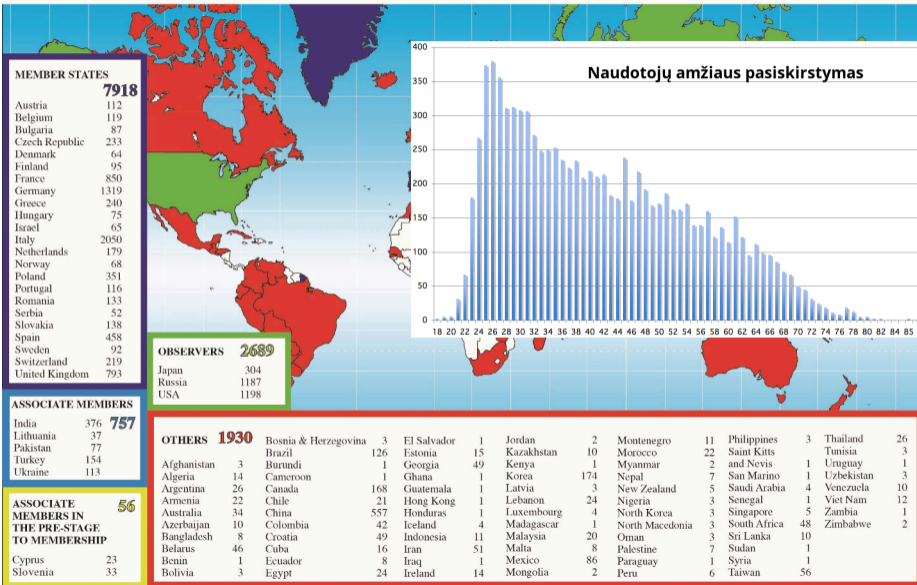


Distribution of All CERN Users by Nationality on 28 January 2019

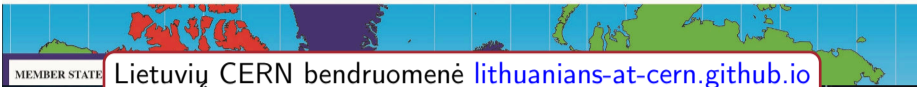
home.cern/solidarity-ukraine



Distribution of All CERN Users by Nationality on 28 January 2019



Distribution of All CERN Users by Nationality on 28 January 2019



MEMBER STATE	
Romania	133
Serbia	52
Slovakia	138
Spain	458
Sweden	92
Switzerland	219
United Kingdom	793



OBSERVERS 2689	
Japan	304
Russia	1187
USA	1198

ASSOCIATE MEMBERS	
India	376 757
Lithuania	37
Pakistan	77
Turkey	154
Ukraine	113

ASSOCIATE MEMBERS IN THE PRE-STAGE TO MEMBERSHIP 56	
Cyprus	23
Slovenia	33

OTHERS 1930													
Afghanistan	3	Bosnia & Herzegovina	3	El Salvador	1	Jordan	2	Montenegro	11	Philippines	3	Thailand	26
Algeria	14	Brazil	126	Estonia	15	Kazakhstan	10	Morocco	22	Saint Kitts and Nevis	1	Tunisia	3
Argentina	26	Burundi	1	Georgia	49	Kenya	1	Myanmar	2	and Nevis	1	Uruguay	1
Australia	34	Cameroon	1	Ghana	1	Korea	174	Nepal	7	San Marino	1	Uzbekistan	3
Azerbaijan	10	Canada	168	Guatemala	1	Latvia	3	New Zealand	5	Saudi Arabia	4	Venezuela	10
Bangladesh	8	Chile	22	Iceland	42	Lebanon	24	Nigeria	3	Senegal	1	Viet Nam	12
Belarus	46	China	557	Honduras	1	Luxembourg	4	North Korea	3	Singapore	5	Zambia	1
Benin	1	Colombia	42	Iran	51	Madagascar	1	North Macedonia	3	South Africa	48	Zimbabwe	2
Bolivia	3	Croatia	49	Indonesia	11	Malaysia	20	Oman	3	Sri Lanka	10		
		Cuba	16	Iran	51	Malta	8	Palestine	7	Sudan	1		
		Ecuador	8	Iraq	1	Mexico	86	Paraguay	1	Syria	1		
		Egypt	24	Ireland	14	Mongolia	2	Peru	6	Taiwan	56		

Tarptautinė Lietuvos dalelių fizikų bendruomenė

- 2021 įvyko pirmasis Lietuvos dalelių fizikos susitikimas.
- Virš trisdešimt mokslininkų iš viso pasaulio (ne vien CERN).
- Balandžio 11 d. įvyks antrasis Lietuvos dalelių fizikų susitikimas
cern.ch/LPPM2022

Kviečiame prisijungti!



SECOND LITHUANIAN PARTICLE PHYSICS MEETING



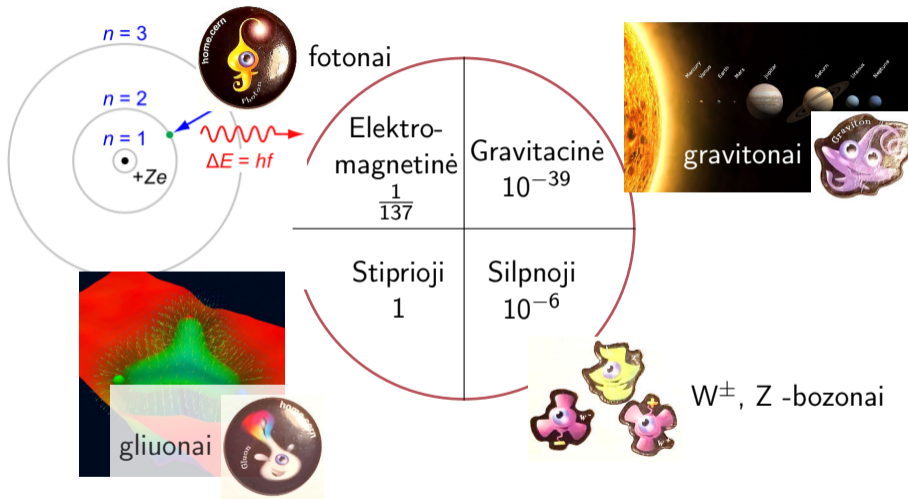
April 11, 2022
@Zoom

One day virtual gathering of
all particle physicists with
connections to Lithuania.

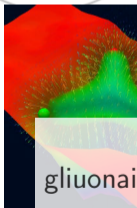
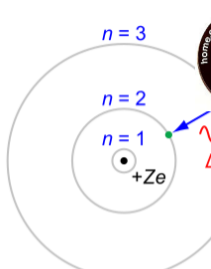
Please register at
cern.ch/LPPM2022

Standartinis modelis – tiksliausia žmonijos sukurta fizikos teorija

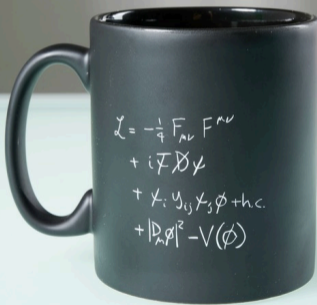
Fundamentinės sąveikos ir jų nešėjai



Fundamentinės sąveikos ir jų nešėjai



Kvantinio lauko teorijos lygtys



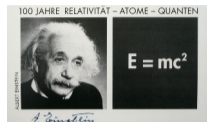
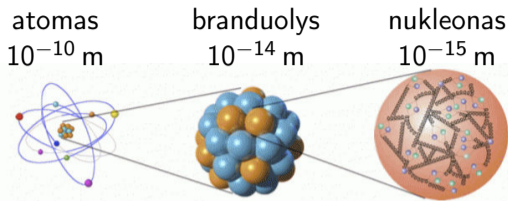
W^\pm, Z -bozonai

Standartino modelio dalelės ir CERN pasiekimai

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 kylantysis	c žavusis	t viršūninis	g gliuonas	H 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 krintantysis	s keistasis	b gelminis	γ 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 elektronas	μ miuonas	τ taonas	Z 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 elektroninis neutrinas	ν_μ miuoninis neutrinas	ν_τ tau neutrinas	W W bozonas	BOZONAI

- 1983 atrasti W ir Z bozonai (SPS greitintuve)
- 1989 patvirtintas trys neutrinių šeimos (LEP greitintuve)
- 2012 Higso bozono atradimas (LHC greitintuve)

Energijų ir atstumų skalės



kvarkai ir gliuonai $< 10^{-18}$ m

- Fotono energija ir bangos ilgis

$$E_\nu = \frac{hc}{\lambda} \approx 1\text{GeV} \frac{10^{-15}\text{ m}}{\lambda} \approx 1\text{TeV} \frac{10^{-18}\text{ m}}{\lambda}.$$

- Protono rimties energija

$$E_p = m_p c^2 \approx 10^{-10}\text{ J} = 1\text{ GeV}.$$

- Uodo kinetinė energija $m_u = 0.06\text{ g}$, $v = 0.2\text{ m/s}$

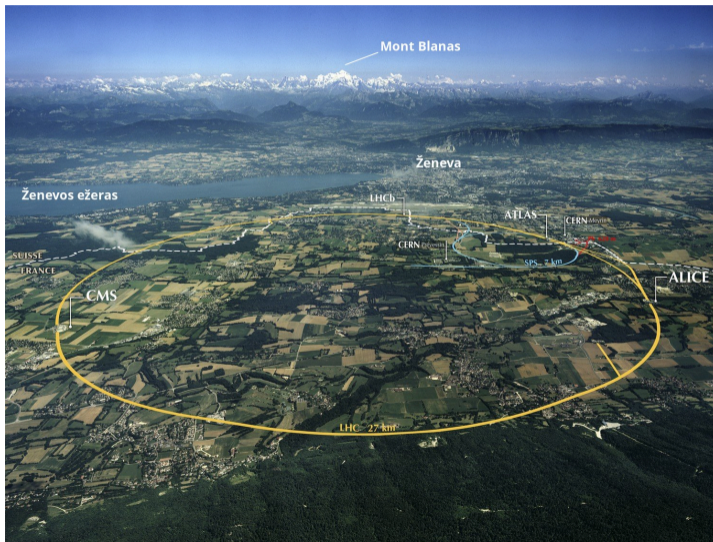
$$E_k = \frac{m_u v^2}{2} \approx 10^{-6}\text{ J} \approx 7\text{ TeV}.$$

LHC susidūrimų energija $\sqrt{s} = 13.6\text{ TeV}$ lygi dviejų protonų kinetinių energijų sumai.

CERN greitintuvai ir eksperimentai

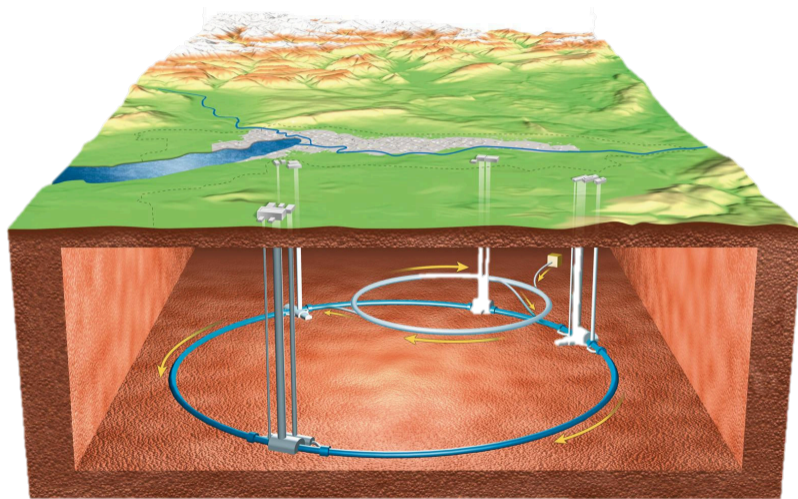
CERN greitintuvų kompleksas

LEP/LHC tunelis kerta Prancūzijos–Šveicarijos sieną



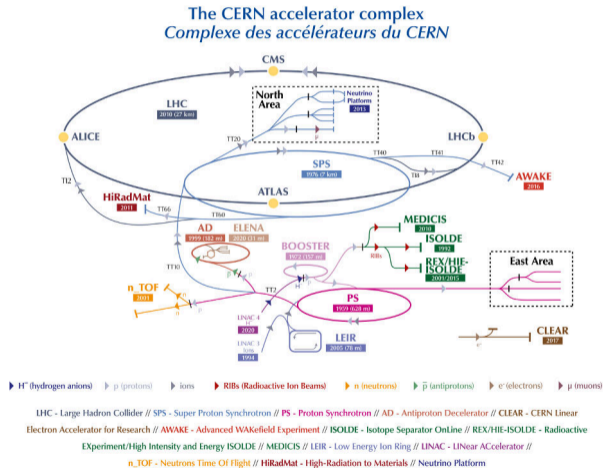
CERN greitintuvų kompleksas

Tunelis iškastas 100 metrų po žeme.

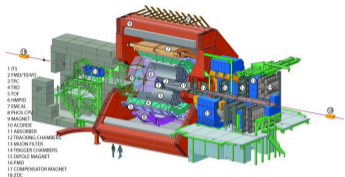


CERN greitintuvų kompleksas

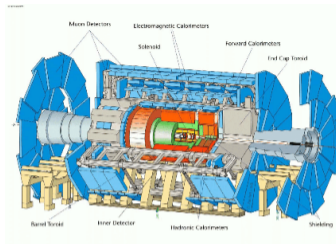
LHC – naujausios kartos greitintuvas pasaulyje.



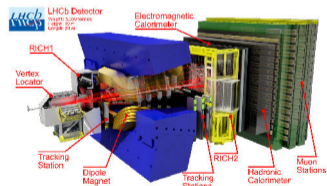
LHC didieji eksperimentai (su nuorodomis į virtualius vizitus)



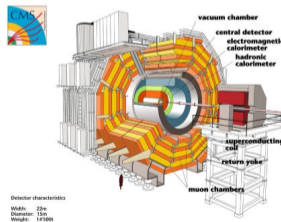
ALICE



ATLAS



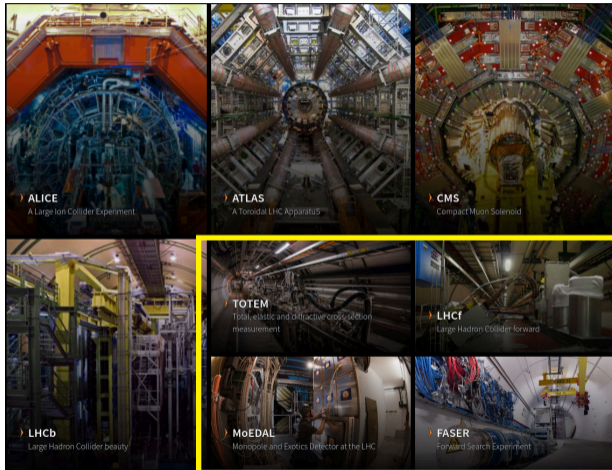
LHCb



CMS

Prie kiekvieno eksperimento dirba tūkstantinės darbo grupės.

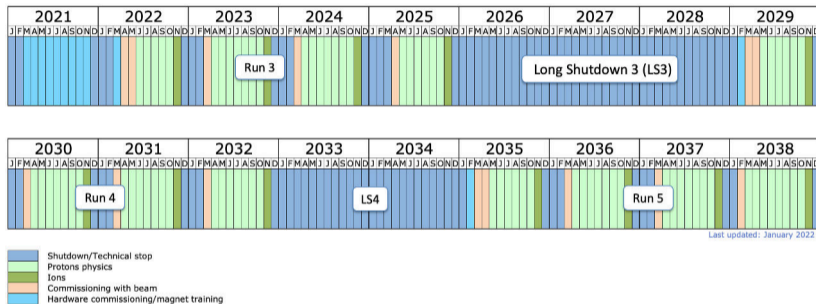
Mažieji LHC eksperimentai



LHC greitintuve atliekame ir kiti dalelių fizikos tyrimai.

LHC paleidimo grafikas

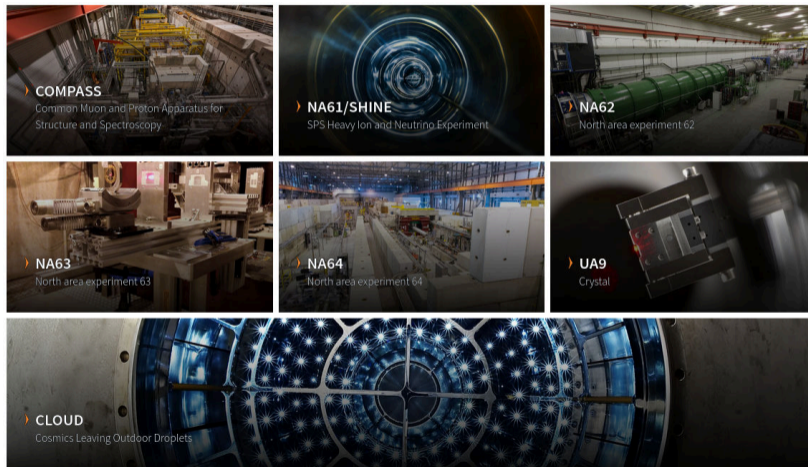
Trečioji duomenų rinkimo kampanija (Run 3 13.6 TeV) prasidės jau netrukus!



- Techniniai sustojimai gruodžio–vasario mėnesiais (galimos ekskursijos).
- 6 mėnesiai per metus protonų susidūrimų.
- 1 mėnuo per metus sunkiųjų jonų (švino ^{208}Pb) susidūrimų.

Fiksuoto taikinio eksperimentai SPS, PS

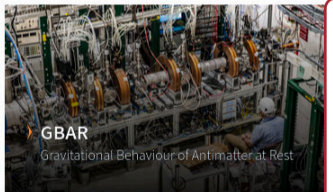
Super protonų sinchrotronas (450 GeV), Protonų sinchrotronas (28 GeV)



CLOUD eksperimentas tyrinėja kosminių spindulių įtaką debesų formavimuisi.

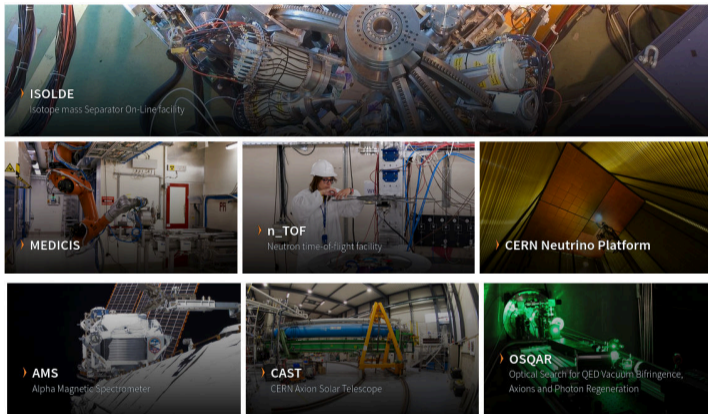
Antimaterijos eksperimentai

Dalelių susidūrimuose sukuriama antimaterija, todėl galima tyrinėti jos savybės.



CERN vaizduojamas 2009 metų Holivudo trileryje:
angelsanddemons.web.cern.ch/

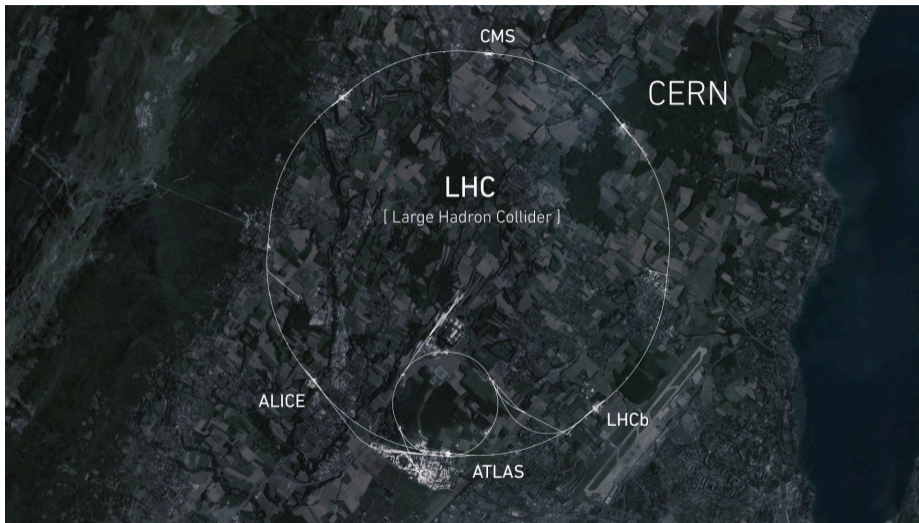
Kiti CERN eksperimentai



AMS experimentas įrengtas ISS, CERN prisideda prie DUNE eksperimento Fermilab

Kaip yra greitinamos ir detektuojamos dalelės LHC

Kaip veikia LHC?



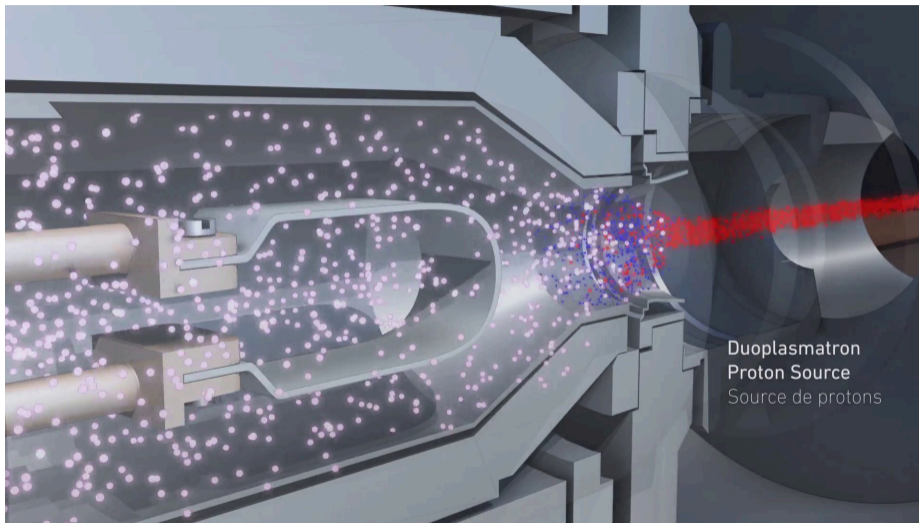
LHC — paskutinė kartos greitintuvas CERN komplekse

Kaip veikia LHC?



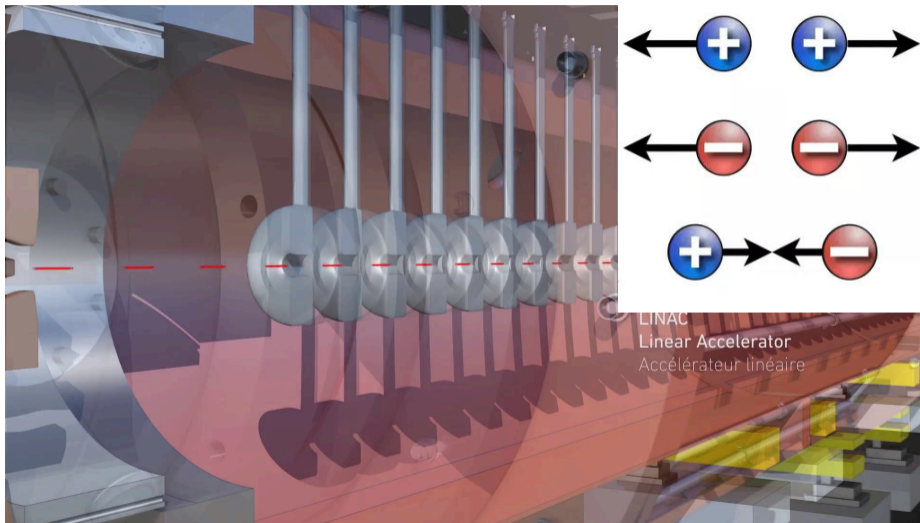
Protonų šaltinis – vandenilio balionas, kurio užteks ilgam.

Kaip veikia LHC?



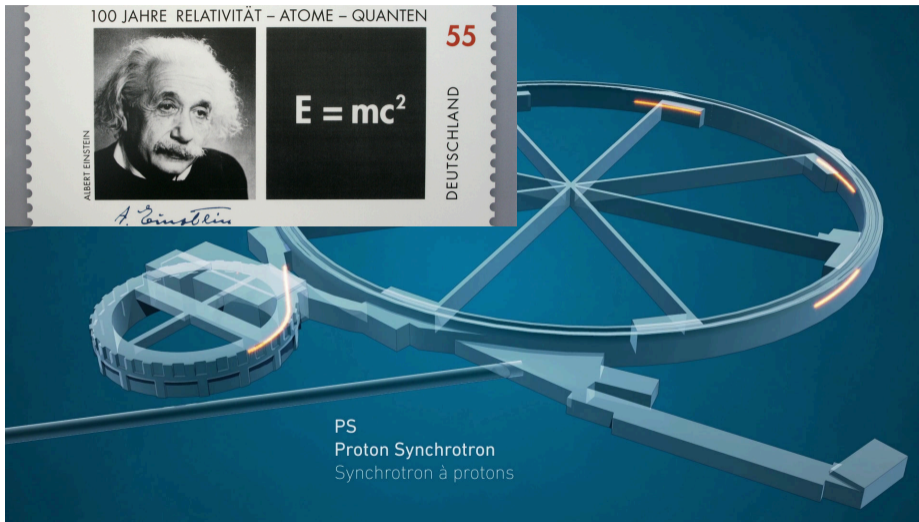
Dujos jonizuojamos atplešiant elektronus.

Kaip veikia LHC?



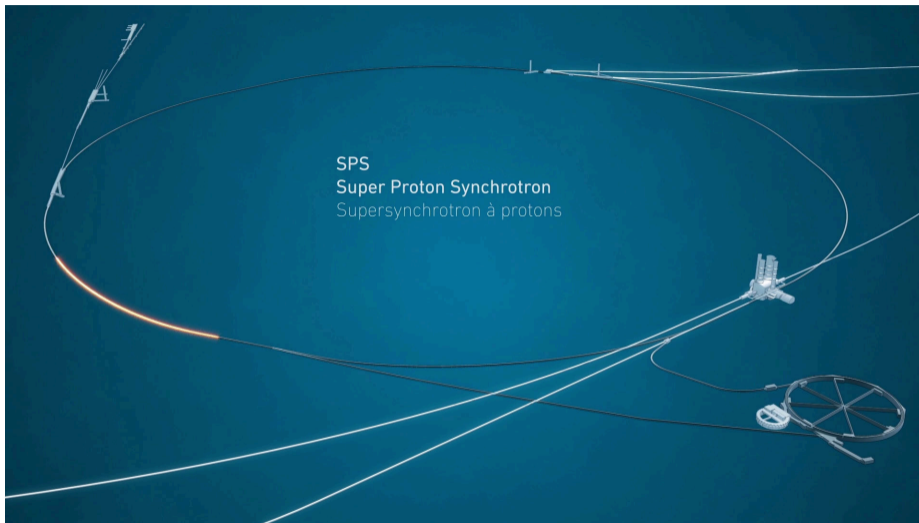
Linijinis greitintuvas įgreitina protonus iki 30% šviesos greičio

Kaip veikia LHC?



PSB ir PS įgreitina iki $E = 1.4 \text{ GeV}$ ir $E = 25 \text{ GeV}$. $m_p c^2 \approx 1 \text{ GeV}$

Kaip veikia LHC?



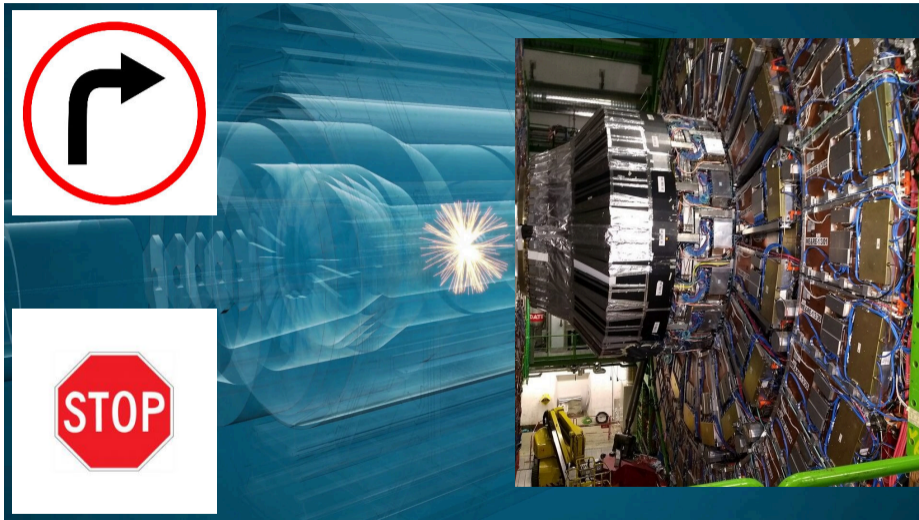
SPS greitintuve pasiekiamo 450 GeV energija.

Kaip veikia LHC?



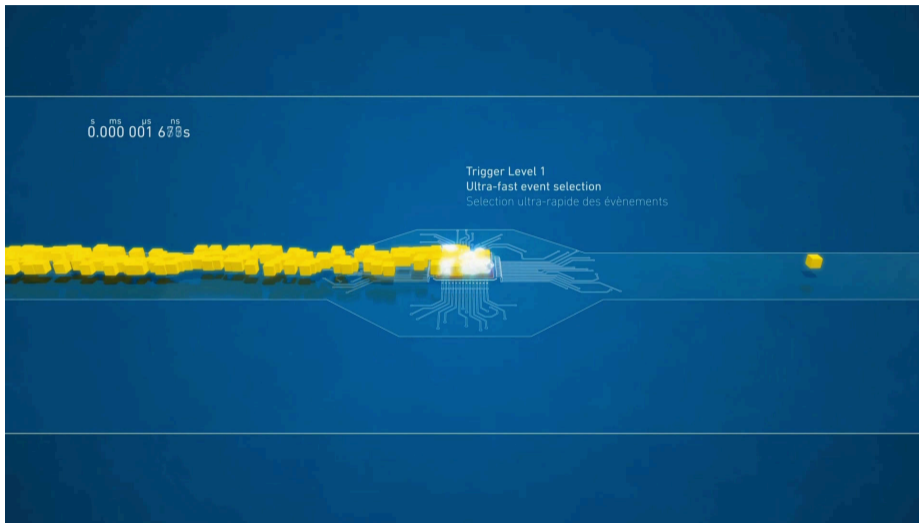
LHC protonų energija siekia iki 6500 GeV, magnetinis laukas 8 teslos.

Kaip veikia LHC?



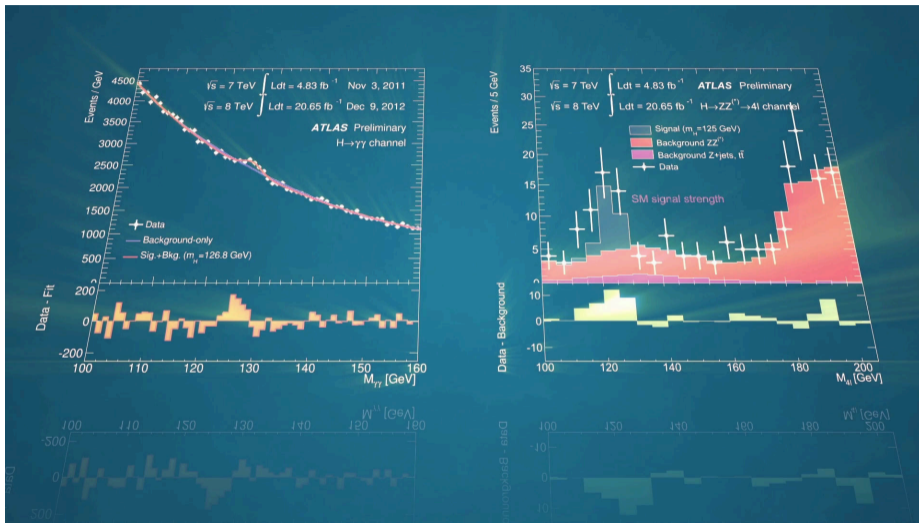
Dalės matuojamos jas kreipiant magnetiniais laukais ir stabdant.

Kaip veikia LHC?



Tik mažytė susidūrimų dalis perduodama analizavimui ir saugojimui

Kaip veikia LHC?

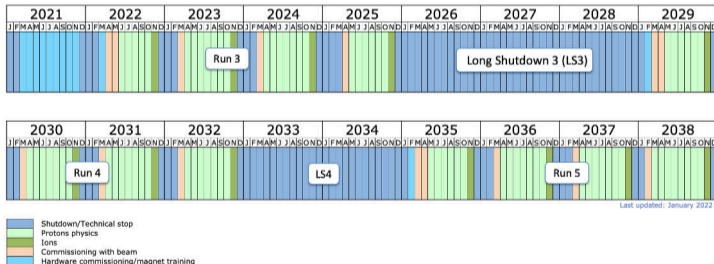


Palyginus tikėtinus ir išmatuotus susidūrimus galima aptikti naujų dalelių!

LHC ateitis

Pagrindinės tyrimų kryptys

- Standartinio modelio matavimai
- Higso bozono savybių tyrimas
- Naujų reiškinių paieškos už standartinio modelio ribų
- Sunkiųjų kvarkų ir leptonų fizika
- Didelio tankio ir temperatūros QCD materijos tyrimai



High-Luminosity LHC (Run 4,5) – 10 kartų padidintas spindulių intensyvumas, fokusuojantis magnetinis laukas padidės nuo 8 iki 12 teslų!

Sunkiųjų jonų fizika

Kokia yra masės prigitis?

Higso bozonas — paskutinė trūkstama standartinio modelio dalelė.

Sąveikaudami su Higso lauku dalelės, pvz. elektronai ir kvarkai, įgyja masę.



Už teorijos sukūrimą prof. Englert ir Higgs įteikta 2013 Nobelio premija

Tačiau ne visa masė kildinama iš Higso mechanizmo!

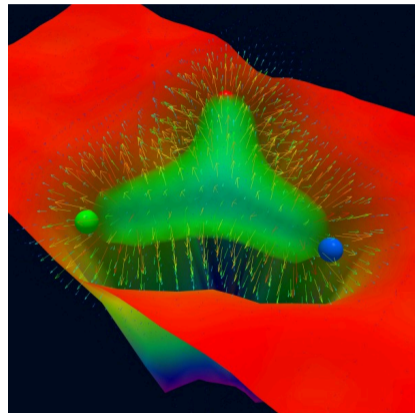
Stipriosios sąveikos teorija – kvantinė chromodinamika (QCD)

Protonas sudarytas iš dviejų kylančiųjų ir vieno krintančiojo kvarko

$$2m_u + m_d = 9.4 \text{ MeV}, m_p = 938 \text{ MeV}$$

Mus supančioms materijos masė kyla iš stipriosios sąveikos energijos, o ne tiek iš Higgs mechanizmo!

Kaip iš QCD lygčių išplaukia dalelių masė yra vienas iš tūkstantmečio matematikos uždavinių!

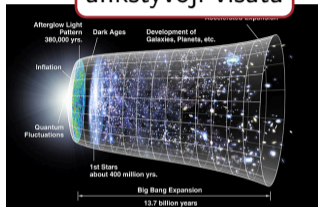


○ kokios yra itin tankios ir karštos branduolinės medžiagos savybės?

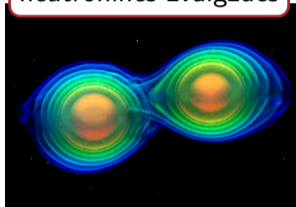
Kvantinės chromodinamikos medžiagotyra

Kvarkų ir gliuonų plazma (QGP) – reliatyvistinė materijos forma sudaryta iš išlaisvintų kvarkų ir gliuonų. Kur ji randama?

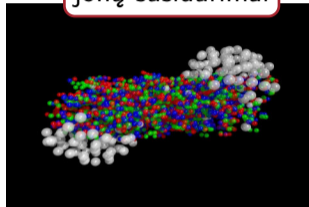
ankstyvoji visata



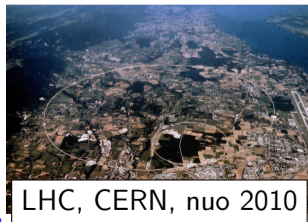
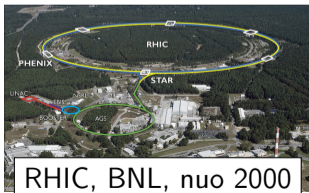
neutroninės žvaigždės



jonų susidūrimai

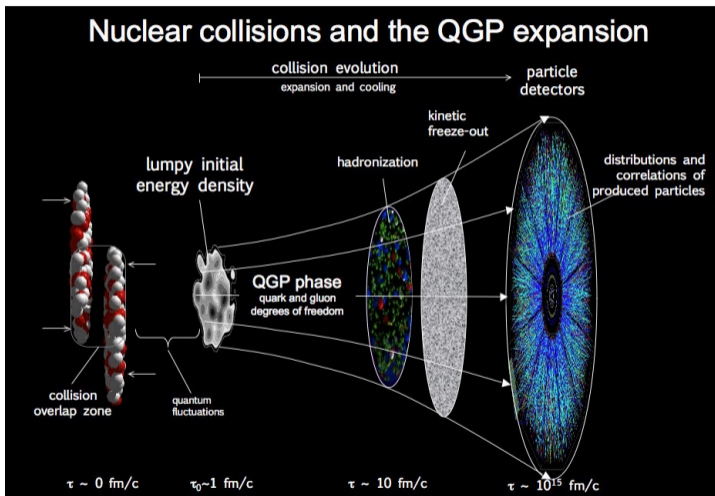


Sunkiųjų jonų kolaideriai



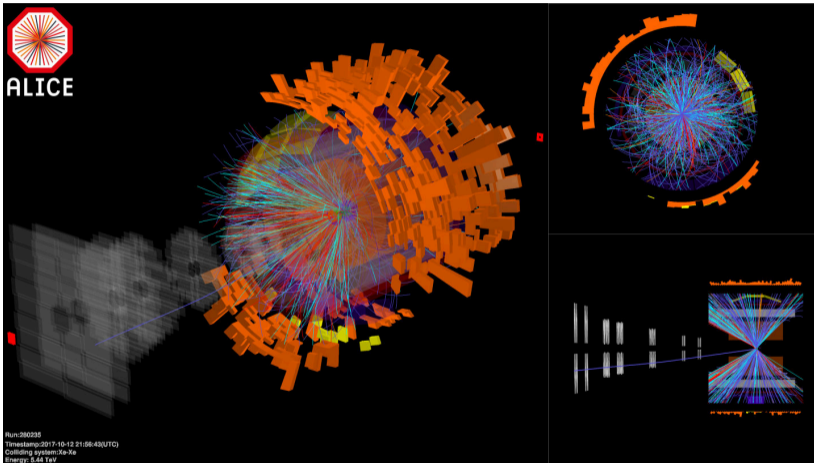
Mažas Didysis sprogimas

Švino jonų susidūrimai sukuria didelio tankio medžiagos gniužulą, kuris plečiasi



Susidūrimas trunka 10^{-22} sekundės, o temperatūra $T > 10^{12} \text{ K}$!

Sunkiųjų jonų susidūrimai ALICE detektoriuje



Matuodami tūkstančių dalelių koreliacijas tiriamė QCD materijos savybes!

Išvados

Neatsakyti fundamentinės fizikos klausimai ir ateities planai

2020 paruošta Europos dalelių fizikos strategija cds.cern.ch/record/2721370

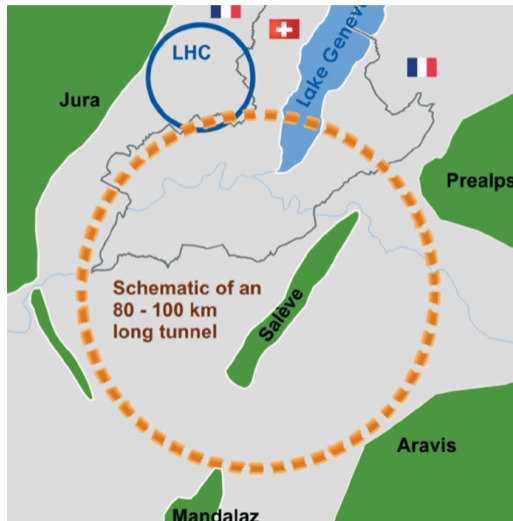
Ateities iššūkiai:

- Kokios yra Higso bozono savybės? Ar tai elementari dalelė?
- Kodėl Higso masė yra 126 GeV? Ar yra naujų sunkesnių dalelių?
- Kaip iš kvarkų ir gliuonų susiformuoja hadronai?
- Kodėl neutrinai turi masę?
- Iš ko sudaryta tamsioji materija ir tamsioji energija?

CERN turi turtingą 70 metų istoriją ir šviesią ateitį

Vienas iš ateities pasiūlymų – 100km 100 TeV greitintuvas

FCC – ateities apskritiminis koliaideris (po 2040)



Tu irgi gali dalyvauti CERN veikloje!

- Moksleivių programa (ribotos šalys) cern.ch/hSSIP
- „BEAMLINE FOR SCHOOLS“ konkursas. Suburk 5 moksleivių komanda ir su mokytojų pagalba pasiūlyk dalelių eksperimentą CERN!
Terminas iki balandžio 15 d. cern.ch/bl4s
- CERN S’Cool LAB cern.ch/s-cool-lab

