

## CERN

Evropska organizacija za nuklearno istraživanje(European Organization for Nuclear Research), bolje poznata kao CERN, je Evropska istraživačka organizacija koja upravlja najvećom laboratorijom za istraživanje čestica na svetu. Srbija je 24.marta 2019 postala 23. članica CERN-a. Jugoslavija je bila jedna od 12 država koje su osnovale CERN 1954. godine, i bila je članica sve do odlaska 1961. godine.



Glavno područje CERN-ovog istraživanja je interakcija između subatomskih čestica. Zbog toga se laboratorija kojom upravlja CERN često naziva Evropska laboratorija za fiziku čestica. Fizičari i inženjeri u CERN-u koriste najveće i najsloženije naučne instrumente na svetu za proučavanje osnovnih sastojaka materije - osnovnih čestica. Subatomske čestice su napravljene da se sudaraju blizu brzine svetlosti. Proces nam daje uvide o tome kako čestice komuniciraju i pruža uvid u osnovne zakone prirode. CERN je takođe rodno mesto World Wide Web-a.

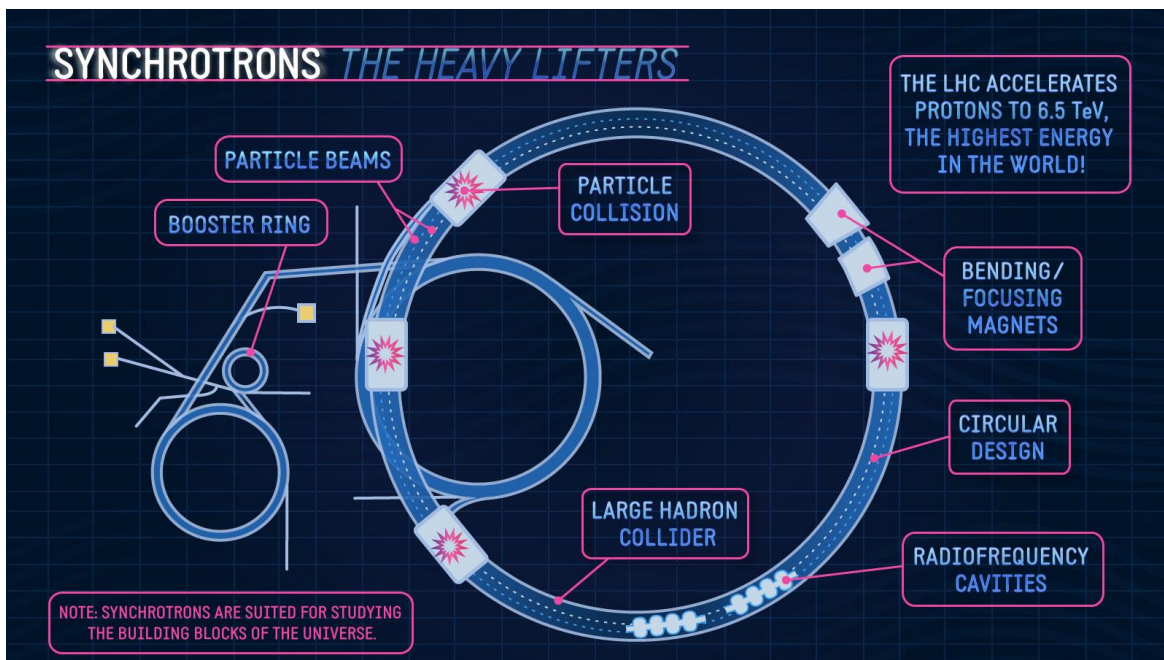
### Istorija

Skraćenica CERN prvobitno je predstavljala francuske reči za Evropski savet za nuklearna istraživanja(European Council for Nuclear Research), koji je bio privremeno veće za izgradnju laboratorije, osnovano od strane 12 evropskih vlada 1952. godine. Tokom ranih godina, veće je radilo na Univezitetu u Kopenhagenu pod upravom Nielsa Bor-a pre nego što se preselilo na svoje sadašnje mesto u

Ženevi. Skraćenica CERN je zadržana za novu laboratoriju nakon što je privremeno veće raspušteno, iako je 1954. godine naziv promenjen u Evropsku organizaciju za nuklearna istraživanja. Prvi predsednik CERN-a bio je sir Benjamin Lockspeiser, dok je prvi generalni direktor bio Felik Bloch. Dvanaest država koje su osnovale CERN su: Belgija, Danska, Francuska, Savezna Republika Nemačka, Grčka, Italija, Holandija, Norveška, Švedska, Švajcarska, Velika Britanija i Jugoslavija.

### Particle accelerators (Akcelerator cestica)

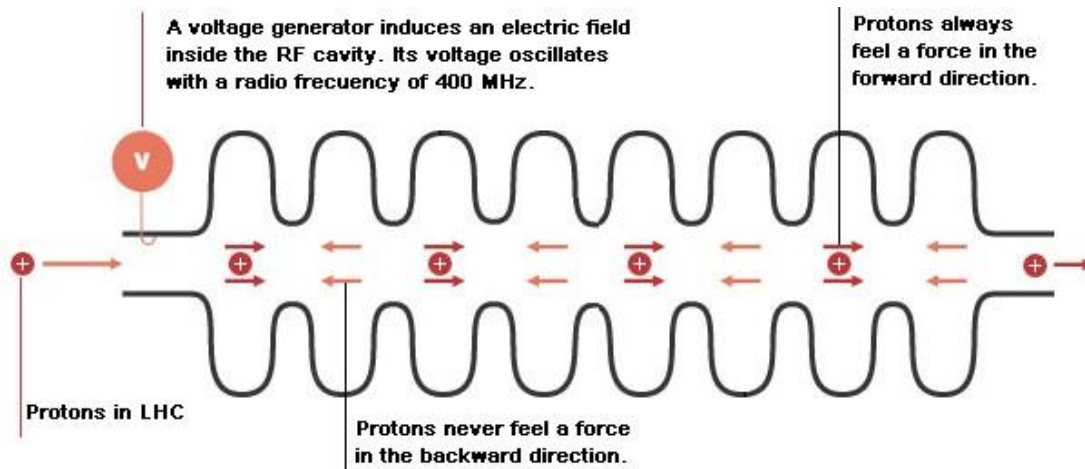
Akcelerator rade tako što pokreću naelektrisane čestice, poput protona ili elektrona, velikom brzinom, blizu brzine svetlosti. Zatim se razbijaju ili o metu ili o druge čestice koje cirkulišu u suprotnom smeru. Proučavajući ove sudare, fizičari su u stanju da istražuju svet beskrajno malog. Kada su čestice dovoljno energične, događa se fenomen gde se energija sudara pretvara u materiju u obliku novih čestica, od kojih je najmasovnija postojala u ranom svemiru. Ovaj fenomen opisuje Ajnštajnova poznata jednačina  $E = mc^2$ . Akceleratori dolazi ili u obliku prstena (kružni akcelerator), gde snop čestica neprekidno putuje oko petlje, ili u pravouliniji (linearni akcelerator), gde snop čestica putuje s jednog kraja na drugi. U CERN-u se jedan broj akceleratora spaja u nizu da bi se dostigle uzastopno veće energije.



Akceleratori koriste elektromagnetna polja za ubrzavanje i upravljanje česticama. U prvom delu akceleratora, električno polje skida atome vodonika (koji se sastoje od jednog protona i jednog elektrona) njihovih elektrona. Električna polja duž akceleratora prelaze sa pozitivnih na negativna na datoj frekvenciji, povlačeći naelektrisane čestice napred duž akceleratora.

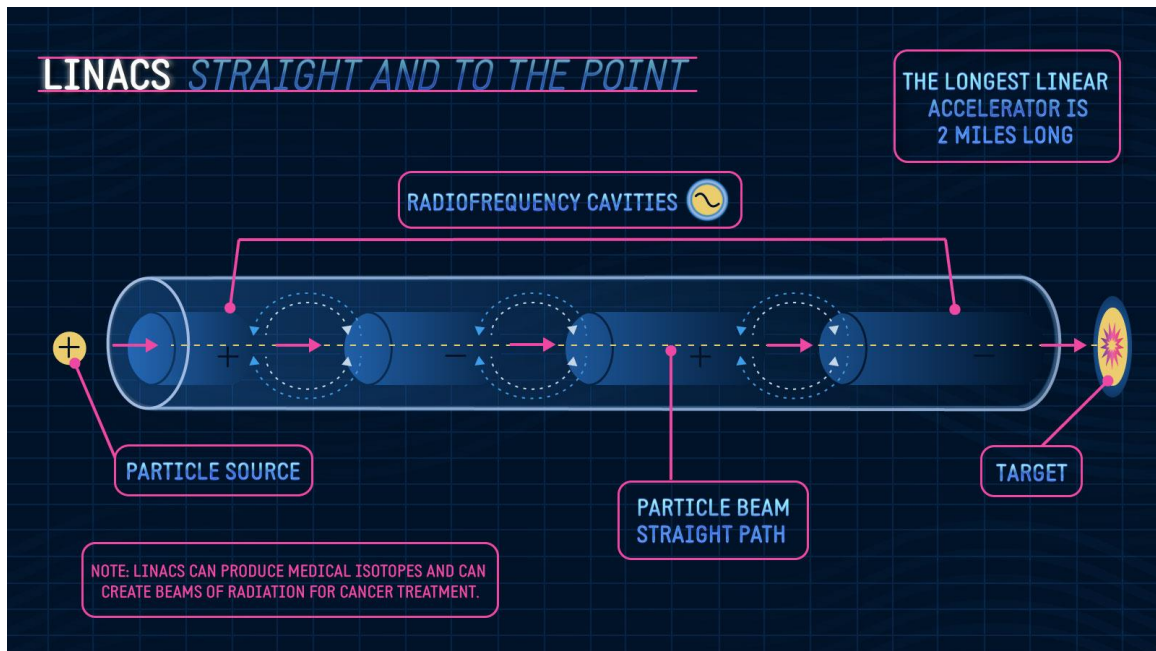
Radiofrekventne šupljine pojačavaju zrake čestica, dok magneti fokusiraju zrake i savijaju njihovu putanju.

Radiofrekventne šupljine su metalne komore, raznknete u intervalima duž akceleratora oblikovane su tako da odzvanjaju na određenim frekvencijama, omogućavajući radio talasima interakciju sa prolazećim grozdovima čestica. Svaki put kada snop prođe kroz električno polje u RF šupljini, deo energije iz radio talasa prenosi se na čestice, gurajući ih napred.



Magneti služe različitim funkcijama oko kružnog akceleratora. Dipolni magneti savijaju put snopa čestica koji bi inače putovali u pravoj liniji. Što više čestica ima energije, veće je magnetno polje potrebno da savije svoj put. Kvadrupolni magneti deluju kao da sočiva fokusiraju zrak, prikupljajući čestice bliže jedna drugoj.

U kružnom akceleratoru čestice ponavljaju isti krug onoliko dugo koliko je potrebno, dobijajući energetske podsticaj na svakom okretu. U teoriji, energija se može povećavati iznova i iznova. Međutim, što više čestica ima energije, to magnetna polja moraju biti snažnija da bi ih zadržala u svojoj kružnoj orbiti. Suprotno tome, linearni akcelerator se formira isključivo od ubrzavajućih struktura, jer čestice ne treba skretati, već imaju koristi samo od jednog prolaska ubrzanja. U ovom slučaju, povećanje energije znači povećanje dužine akceleratora.



Sudarači su akceleratori koji generišu frontalni sudari između čestica. Zahvaljujući ovoj tehnici, energija sudara je veća jer se energija dve čestice sabira. Veliki hadronski sudarač (Large Hadron Collider) je najveći i najmoćniji sudarač na svetu. Pojačava čestice u petlji obima 27 kilometara pri energiji od 6,5 TeV (teraelektronvolti), generišući sudare pri energiji od 13 TeV.

### Cernovi akceleratori

CERN upravlja kompleksom od osam akceleratora i dva usporavača. Kompleks akceleratora u CERN-u je niz mašina koje ubrzavaju čestice do sve većih energija. Svaka mašina pojačava energiju snopa čestica, pre nego što ubrizga zrak u sledeću mašinu u nizu. U Velikom hadronskom sudaraču (LHC) - poslednjem elementu ovog lanca - snopovi čestica se ubrzavaju do rekordne energije od 6,5 TeV po zraku. Većina ostalih akceleratora u lancu ima svoje eksperimentalne hale u kojima se zrake koriste za eksperimente na nižim energijama.

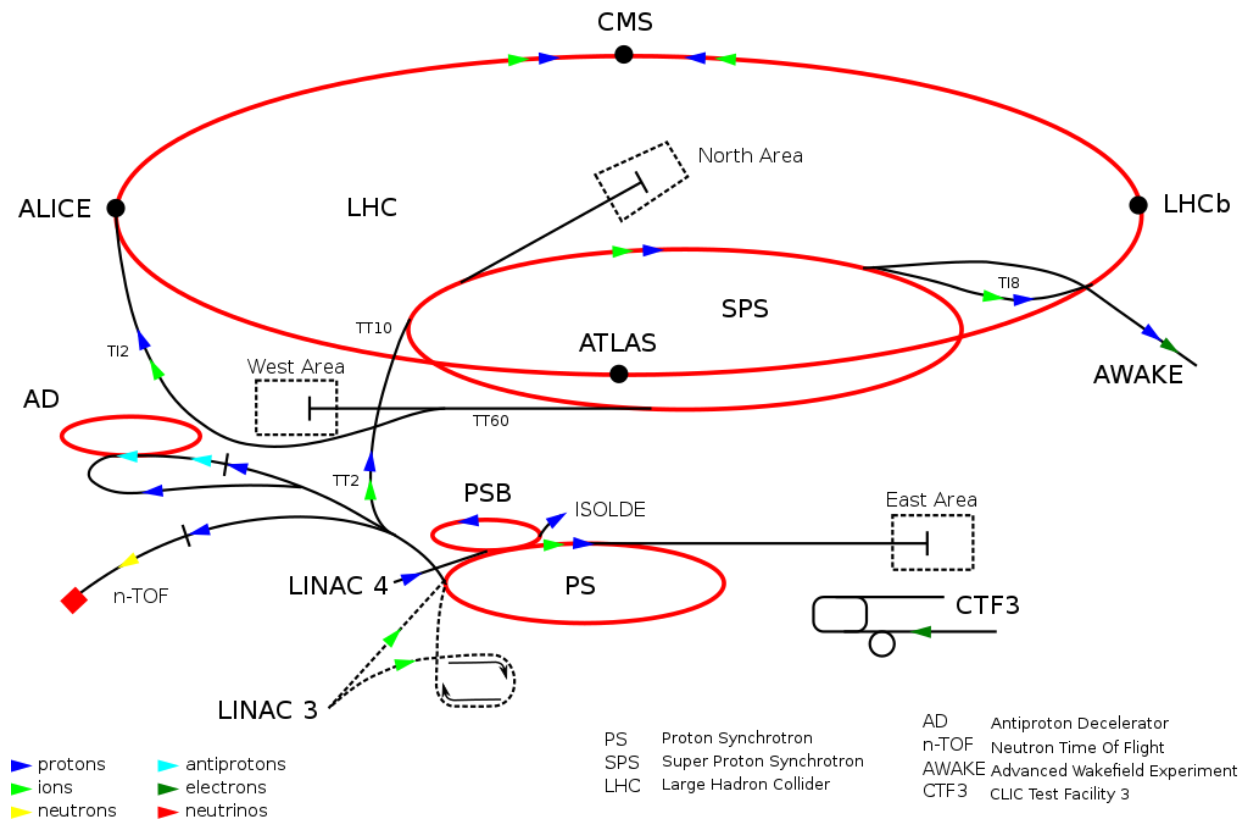
Ovi akceleratori isporučuju eksperimente ili se koriste kao injektori, ubrzavajući čestice za veće akceleratorne. Neki, poput protonskog sinhrotrona (PS) ili super protonskog sinhrotrona (SPS) rade oboje odjednom, pripremajući čestice za eksperimente koje isporučuju direktno i ubrizgavajući u veće akceleratorne.

## Kako CERN-ov kompleks akceleratora funkcionise

Izvor protona je jednostavna bočica sa gasovitim vodonikom. Električno polje se koristi za uklanjanje atoma vodonika sa njihovih elektrona da bi se dobili protoni. Linac 2, prvi akcelerator u lancu, ubrzava protone do energije od 50 MeV. Zatim se zrak ubrizgava u pojačivač protonskog sinhrotrona (PSB), koji protone ubrzava na 1,4 GeV, a zatim sledi protonski sinhrotron (PS), koji gurne zrak na 25 GeV. Protoni se zatim šalju u Super protonski sinhrotron (SPS) gde se ubrzavaju do 450 GeV.

Protoni se konačno prenose u dve cevi snopa LHC. Snop u jednoj cevi kruži u smeru kazaljke na satu, dok snop u drugoj cevi cirkuliše u smeru suprotnom od kretanja kazaljke na satu. Potrebno je 4 minuta i 20 sekundi da se ispuni svaki LHC prsten, a 20 minuta da protoni dostignu maksimalnu energiju od 6,5 TeV.

Grede cirkulišu mnogo sati unutar cevi LHC greda pod normalnim radnim uslovima. Dva zraka su dovedena u sudar unutar četiri detektora - ALICE, ATLAS, CMS i LHCb - gde je ukupna energija na mestu sudara jednaka 13 TeV.



Protoni nisu jedine čestice ubrzane u LHC. Jonski olovi za LHC polaze od izvora isparenog olova i ulaze u Linac 3 pre nego što se sakupljaju i ubrzavaju u niskoenergetskom jonskom prstenu (LEIR). Zatim idu istim putem do maksimalne energije kao i protoni.

Kompleks akceleratora uključuje antiprotonski usporavač i mrežni separator izotopa mase (ISOLDE), kao i ispitno područje kompaktnog linearnog sudarača, kao i objekt neutronske vremena leta (nTOF). Takođe je prethodno napajao projekat CERN Neutrinos Gran Sasso (CNGS).

### Mašine aktivne u CERN-u

List of current particle accelerators at CERN	
<b>Linac 3</b>	Accelerates ions
<b>AD</b>	Decelerates antiprotons
<b>LHC</b>	Collides protons or heavy ions
<b>LEIR</b>	Accelerates ions
<b>PSB</b>	Accelerates protons or ions
<b>PS</b>	Accelerates protons or ions
<b>SPS</b>	Accelerates protons or ions

1. Linearni akcelerator 3 (Linac 3) polazna je tačka za jone koji se koriste u eksperimentima u CERN-u. Pruža jone olova za LHC i za eksperimente sa fiksnom metom. Istraživači su zatražili da u budućnosti proizvodi druge jone, uključujući argon i ksenon.

Linearni akceleratori koriste radiofrekventne šupljine za punjenje cilindričnih provodnika. Joni prolaze kroz provodnike koji su naizmenično naelektrisani pozitivno ili negativno. Provodnici iza njih guraju čestice, a provodnici ispred njih povlače se, što uzrokuje ubrzanje čestica. Superprovodljivi magneti osiguravaju da čestice ostanu u uskom snopu.

Linac 3 troši oko 500 miligrama olova za dve nedelje rada. U poreklu čestica i tokom ubrzanja kroz Linac 3, elektroni se oduzimaju. Na kraju se svi elektroni uklanjaju i olovo se transformiše u gola jezgra koja je lakše ubrzati od celih jona.



2. Linearni akcelerator 4 (Linac 4) je dizajniran da pojača negativne jone vodonika do visokih energija. Planirano je da postane izvor protonskih zraka za LHC nakon zatvaranja 2019-2020.

Linac 4 će ubrzati negativne jone vodonika ( $H^-$ , koji se sastoje od atoma vodonika sa dodatnim elektronom) na 160 MeV da bi ih pripremio za ulazak u protonski sinhrotronski pojačivač, koji je deo lanca ubrizgavanja LHC. Negativni joni vodonika se impulsiraju kroz akcelerator 400 mikrosekundi istovremeno. Jonima se oduzimaju dva elektrona tokom ubrizgavanja iz Linca 4 u PSB da bi ostali samo protoni. Ovo omogućava akumuliranju više čestica u sinhrotronu, pojednostavljuje ubrizgavanje, smanjuje gubitak snopa pri ubrizgavanju i daje blistaviji snop.

Linac 4 je dugačak 86 metara i nalazi se 12 metara pod zemljom. Grede su počele da se proizvode 2013. godine, a prekretnica od 160 MeV dostignuta je 2016. godine, nakon puštanja u rad svih ubrzavajućih struktura. Tokom dugog isključivanja planiranog za 2019-20. Godinu, zameniće Linac 2, koji trenutno ubrzava protone na 50 MeV. Linac4 je ključni element u projektu povećanja osvetljenosti LHC tokom sledeće decenije.

3. Proton Sinchrotron Booster (PSB) sastoji se od četiri superimpozicionarna sinkrotron prstena koji primaju zrake protona od linearnog akceleratora Linac 3 na 50 MeV i ubrzavaju ih do 1,4 GeV za ubrizgavanje u Proton Sinchrotron (PS).

4. Niskoenergetski jonski prsten (LEIR) prima duge impulse olovnih jona iz Linearnog akceleratora 3 i transformiše ih u kratke, guste snopove pogodne za ubrizgavanje u LHC.

LEIR deli svaki dugi puls iz Linca 3 na četiri kraća snopa, svaki sadrži  $2,2 \times 10^8$  olovnih jona. LEIR-u je potrebno oko 2,5 sekunde da ubrza grozdove, u grupama od dvoje, sa 4,2 MeV na 72 MeV. Joni se tada nalaze u pogodnoj energiji koja se prebacuje u protonski sinhrotron (PS) na skladištenje. Sledeće, olovi joni se prenose sa akceleratora na akcelerator duž kompleksa CERN da bi završili sa najvećom energijom u LHC.

5. Protonski sinhrotron (PS) je ključna komponenta u akceleratorском kompleksu CERN-a, gde obično ubrzava ili protone koje isporučuje Proton Sinhrotron Booster ili teške jone iz niskoenergetskog jonskog prstena (LEIR). Pored protona, on takodje ubrzava alfa čestice (jezgra helijuma), jezgra kiseonika i sumpora, elektrone, pozitrone i antiprotone.

6. Super Proton Sinhrotron (SPS) je druga najveća mašina u akceleratorском kompleksu CERN-a. Ona uzimaja čestice iz protonskog sinhrotrona i ubrzavaju ih kako bi obezbedili zrake za LHC.

Istraživanje pomoću SPS zraka istraživalo je unutrašnju strukturu protona, istraživalo preferenciju prirode prema materiji u odnosu na antimateriju, tražilo je materiju kakva je mogla biti u prvim trenucima svemira i tragalo za egzotičnim oblicima materije. Glavni naglasak došao je 1983. godine, Nobelovom nagrađivanim otkrićem čestica V i Z, a SPS je radio kao sudarač protona i antiprotona.

7. On-Line uređaj za razdvajanje mase izotopa (ISOLDE) je izvor niskoenergetskih snopa radioaktivnih nuklida, onih sa previše ili premalo neutrona da bi bio stabilan. Objekat u stvari ispunjava stari alhemijski san o promeni jednog elementa u drugi. Omogućava proučavanje ogromne teritorije atomskih jezgara, uključujući najegzotičnije vrste.

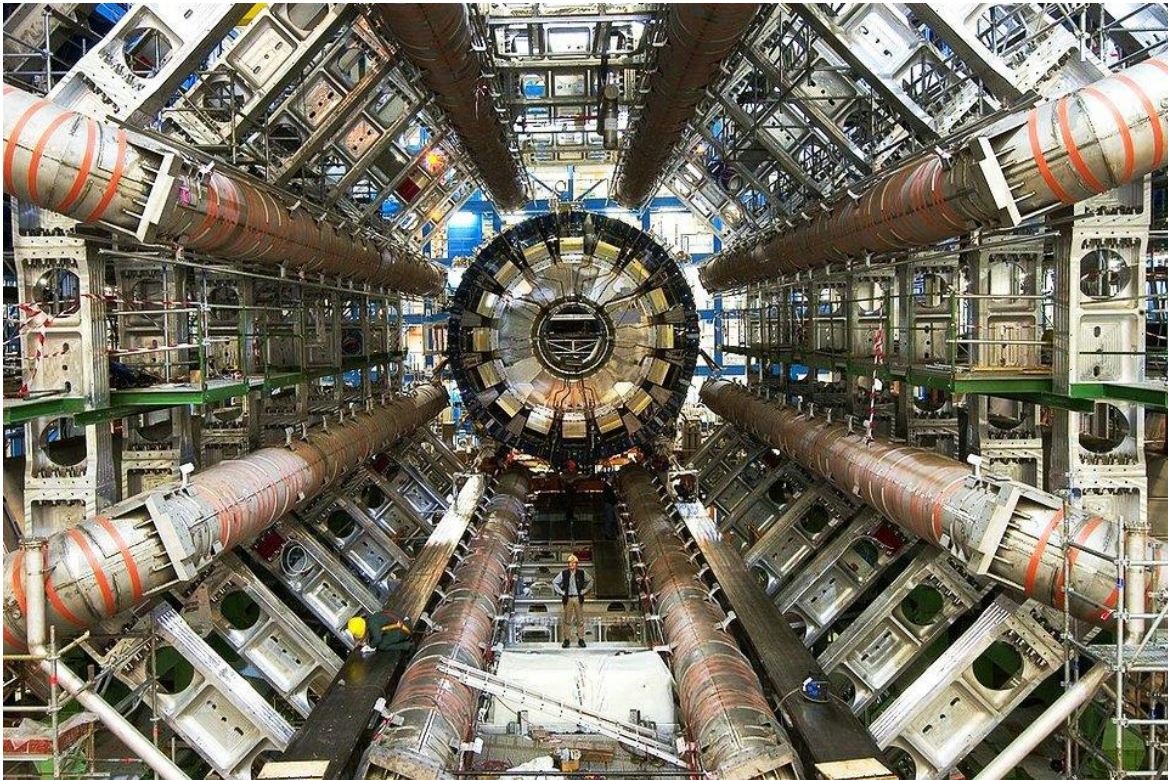
Protonski zrak od 1,4 GeV iz Proton Sinhrotron Booster-a (PSB) usmeren je u posebno razvijene debele mete, dajući veliku raznolikost atomskih fragmenata. Različiti uređaji se koriste za jonizaciju, ekstrakciju i odvajanje jezgara u skladu sa njihovom masom, formirajući niskoenergetski snop koji se isporučuje različitim eksperimentalnim stanicama.



### 8. Napredni eksperiment ubrzanja Wakefield-a sa protonskim plazmom (AWAKE)

je akcelerski istraživački i razvojni projekat sa sedištem u CERN-u. To je dokaz principijelnog eksperimenta koji istražuje upotrebu plazmičnih polja za pokretanje protonskih gomila za ubrzavanje naelektrisanih čestica.

Wakefield plazme je vrsta talasa koji generišu čestice koje putuju kroz plazmu. AWAKE šalje protonske zrake kroz plazma ćelije da generišu ta polja. Iskoristivši budna polja, fizičari mogu stvoriti gradijente akceleratora stotine puta veće od onih postignutih u trenutnim šupljinama radiofrekvencije.

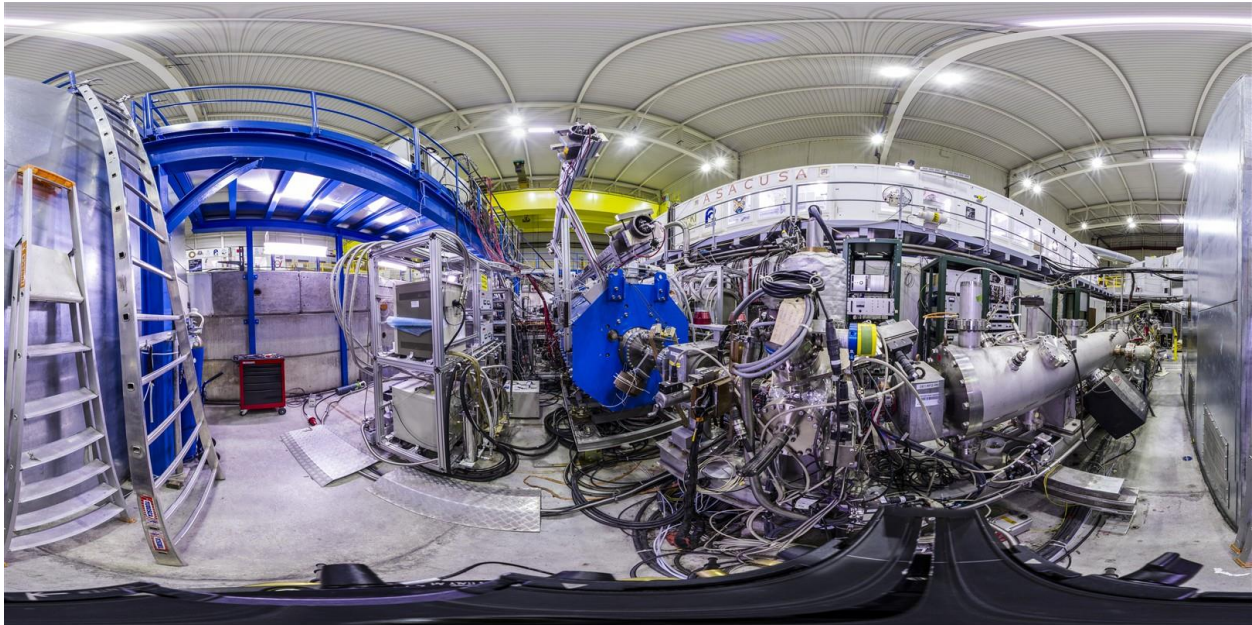


9. CLEAR je elektronski akcelerator koji deluje nezavisno od glavnog kompleksa akceleratora CERN-a. Dva glavna eksperimenta instalirana na eksperimentalnoj liniji CLEAR su plazma sočiva i CLIC testni stalak. Cilj eksperimenta sa sočivima u plazmi je razviti kompaktnu i snažnu komponentu za fokusiranje koja će biti ključni sastojak za moguće buduće akceleratorne zasnove na ubrzanju plazme. Na CLIC ispitnom postolju ispituju se ubrzavajuće strukture sa visokim gradijentom ( $> 100 \text{ MV / m}$ ) i kompaktni, precizni monitori položaja snopa za dizajn CLIC, pomerajući granice tradicionalnih struktura za ubrzavanje i merne instrumente.

10. Antiproton Decelerator (AD) je mašina koja proizvodi niskoenergetske antiprotone za proučavanje antimaterije i „stvara“ antiatome.

Protonski zrak koji dolazi iz PS ispaljuje se u metalni blok. Ovi sudari stvaraju mnoštvo sekundarnih čestica, uključujući puno antiprotona. Ovi antiprotoni imaju previše energije da bi bili korisni za stvaranje antiatoma. Takođe imaju različite energije i nasumično se kreću u svim pravcima. Posao AD je da ukroti ove neposlušne čestice i pretvori ih u koristan, niskoenergijski snop koji se može koristiti za proizvodnju antimaterije.

AD je prsten sastavljen od magneta za savijanje i fokusiranje koji drže antiprotone na istoj stazi, dok ih snažna električna polja usporavaju. Širenje energije antiprotona i njihovo odstupanje od koloseka smanjuje se tehnikom poznatom kao „hlađenje“. Antiprotoni se podvrgavaju nekoliko ciklusa hlađenja i usporavanja sve dok se ne usporavaju na oko desetine brzine svetlosti.

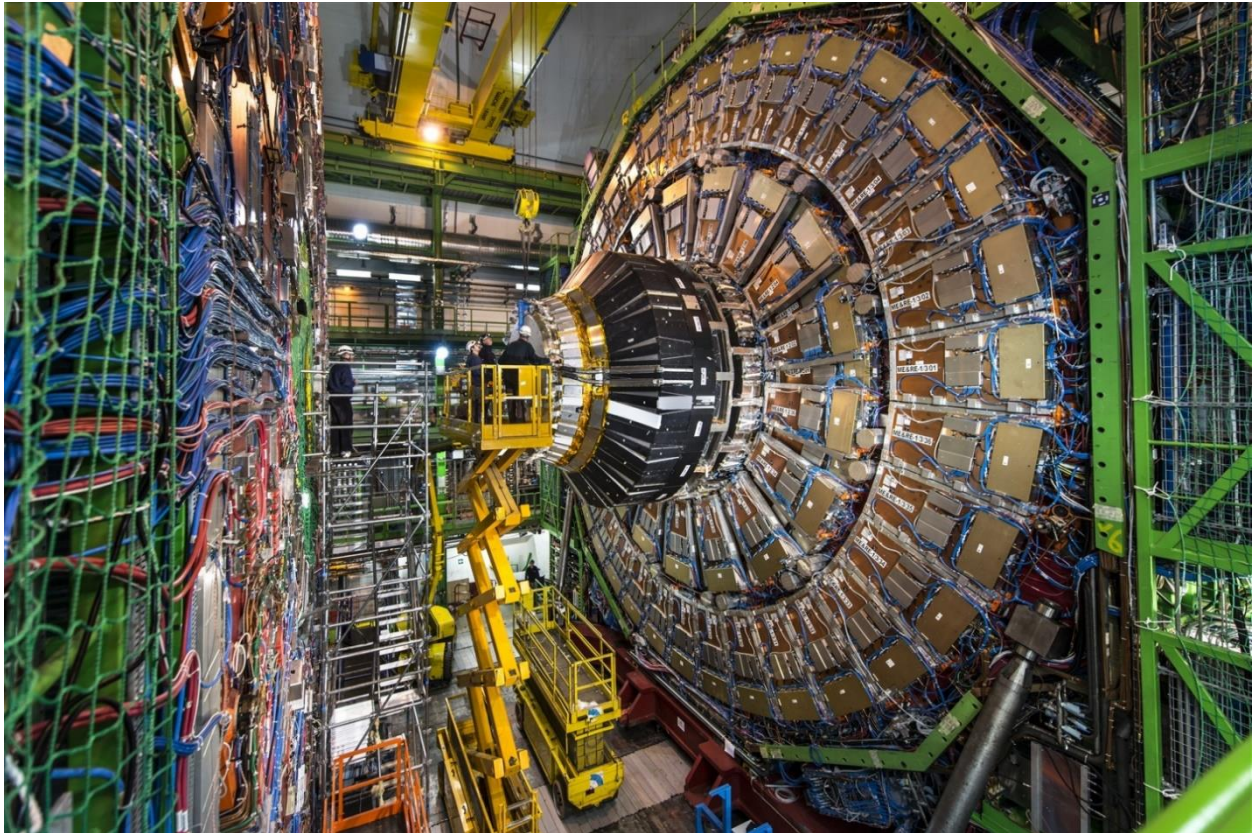


11. Veliki hadronski sudarač (LHC) najveći je i najmoćniji akcelerator čestica na svetu. Unutar akceleratora, dve zrake čestica visoke energije putuju blizu brzine svetlosti pre nego što se nađu na sudaru. Grede se kreću u suprotnim smerovima u odvojenim cevima snopa - dve cevi koje se drže u ultra visokom vakuumu. Vode ih oko prstena akceleratora snažnim magnetnim poljem koje održavaju superprovodljivi elektromagneti. Elektromagneti su izgrađeni od kalemova od posebnog električnog kabla koji radi u superprovodnom stanju, efikasno provodeći

električnu energiju bez otpora ili gubitka energije. To zahteva hlađenje magneta na  $-271,3^{\circ}\text{C}$  - temperaturu hladniju od svemira. Iz tog razloga, veći deo akceleratora povezan je sa distributivnim sistemom tečnog helijuma, koji hladi magnete, kao i sa drugim uslugama snabdevanja.

Neposredno pre sudara, druga vrsta magneta se koristi za „stiskanje“ čestica bliže jedna drugoj kako bi se povećale šanse za sudar. Čestice su toliko male da je zadatak da se sudare sličan ispaljivanju dve igle na razdaljini od 10 kilometara sa takvom preciznošću da se sretnu na pola puta.

Sve komande za ubrzavanje, njegove usluge i tehnička infrastruktura smeštene su pod jednim krovom u CERN-ovom kontrolnom centru. Odavde se zrake unutar LHC sudaraju na četiri lokacije oko prstena akceleratora, što odgovara položajima četiri detektora čestica - ATLAS, CMS, ALICE i LHCb.





### Buduci akceleratori

Od 2010. naučnici rade na nasledniku LHC-a, LHC-u sa visokom svetlošću.

Odobreno od strane Saveta CERN-a 2016. godine, očekuje se da ova druga generacija LHC-a započne posle 2025. godine. Naučnici CERN-a takođe rade na studijama akceleratora i posle 2040. godine, kao što su Future Circular Collider (FCC) ili Compact Linear Collider (CLIC). Takođe se radi na alternativnim tehnikama ubrzanja, na primer sa eksperimentom AVAKE.

<https://home.cern/science/accelerators/accelerator-complex/panoramas>