

Природне науке • *Natural sciences* • *Естественные науки*

Велики хадронски колајдер (ЛХЦ) у Европском центру за нуклеарна истраживања (ЦЕРН)

Увод

У овом чланку намењеном широј академској публици дат је кратак преглед основних праваца истраживања у савременој физици елементарних честица у контексту почетка рада највећег акцелератора на свету, Великог хадронског колајдера (ЛХЦ)¹. Овај акцелератор је део комплекса Европског центра за нуклеарна истраживања (ЦЕРН)², који се налази у близини Женеве и простире се на територији двеју суседних држава: Швајцарске и Француске.

Осим увода и закључка рад садржи четири дела. У првом делу дефинисани су основни појмови везани за елементарне честице и фундаменталне интеракције и њихову унификацију. Тема другог дела је експеримент у физици елементарних

честица, у трећем делу су дате техничке карактеристике ЛХЦ, док је тема четвртог дела физика на ЛХЦ.

1. Физика честица

Вероватно једну од најједноставнијих дефиниција физике елементарних честица дао је Едвард Витен. Он каже да је „физика честица савремени назив за вековима старе напоре да се разумеју закони природе“³. Два главна питања на која би требало да одговори физика честица јесу:

- Који су основни конституенти материје?
- Које силе делују међу њима?

Задатак експерименталне физике честица је да „произведе“ интеракције

- 1) Скраћеница ЛХЦ потиче из енглеског језика од речи *Large Hadron Collider*. Иако се реч *collider* на српски може превести и као сударач, уобичајено је да се користи термин колајдер када су акцелератори у питању.
- 2) Скраћеница ЦЕРН потиче из француског језика од речи *Centre Européenne pour la Recherche Nucléaire*.
- 3) У оригиналу Витенова дефиниција гласи: „Particle physics is a modern name for centuries old effort to understand the laws of nature.“

међу честицама, а да затим изучава производе тих интеракција. Под изучавањем се подразумева идентификација честица насталих у интеракцији и мерење (са највећом могућом тачношћу) њихове енергије и положаја у простору.

Према стандардном моделу (владајућој теорији у физици елементарних честица) материја се састоји од фермиона, честица чији је спин⁴ једнак $\frac{1}{2}$. Ти „елементарни“ фермиони деле се на кваркове (има их укупно шест) и лептоне, којих такође има шест. Кваркови не могу да егзистирају као слободне честице, већ улазе у састав тешких честица, хадрона, као што су на пример протон и неутрон, који сачињавају језгро атома. Лептони су лаке елементарне честице, и у њих спада електрон, прва елементарна честица која је откривена у експерименту који је 1897. извео Џ. Џ. Томсон.

Честице материје се узајамно привлаче и одбијају (интерагују) размењујући бозоне, честице чији спин је цео број. Фундаменталне интеракције, основне силе којима честице узајамно делују, јесу гравитациона, електромагнетна, јака и слаба интеракција. Присуство првих двеју сила, гравитационе и електромагнетне, познато нам је из свакодневног живота, док јака и слаба интеракција делују у микросвету. Јака интеракција држи на окупу атомско језгро, док се под утицајем слабе, на пример, одвија бета радиоактивни распад⁵.

Савремена физика тежи да помоћу фундаменталних интеракција опише све до сада познате и предвиди нове феномене. Такође, тежи се да се број различи-

тих типова интеракција смањи конструисањем теорија које обједињују две или више њих. Овај поступак назива се унификација, који у физици траје већ више од три века. Прву унификацију извршио је још у седамнаестом веку Исак Њутн, који је ујединио небеску и земаљску механику, показавши да се јабука која пада на Земљину површину покорави истом универзалном закону гравитације, као и планете које се крећу око Сунца. Већ касније Џејмс Кларк Максвел је објединио све до тада познате електричне, магнетне и светлосне законе у теорију која се данас зове Максвелова електродинамика. Максвелове једначине предвиђале су и постојање електромагнетних таласа, који су први пут детектовани Херцовим огледом 1888. године. Следећи, и за сада последњи успешан, корак представља Стандардни модел електрослабих интеракција, који су 1969. године конструисали Вајнберг, Салам и Глешоу. Једина недостајућа карика за потврђивање ове теорије је Хигсов скалар, честица која игра кључну улогу у истоименом механизму и која још увек није откривена. Дефинитивни одговор, потврдан или негативан, на то да ли постоји Хигсова честица пружиће ЛХЦ.

2. Експеримент у физици елементарних честица

За савремени експеримент у физици елементарних честица неопходан је акцелератор, у коме ће се честице убрзавати до брзина блиских брзини светлости. Неопходни су и детектори помоћу којих ће се

- 4) Спин је појам чијом се прецизном дефиницијом нећемо бавити. За потребе разумевања овог чланка биће довољно да га читалац схвати као унутрашњи моменат импулса, својство које попут наелектрисања поседује свака честица.
- 5) У бета распаду језгро атома емитује електрон (позитрон) и антинеутрино (неутрино).

идентификовати честице настале у интеракцији, потребни су и компјутери који ће обрадити огромну количину забележених података, али су наравно неизбежни и људи који ће интерпретирати добијене резултате.

Да бисмо пружили одговоре на нека од најчешћих питања која се постављају у вези са извођењем експеримената у физици честица, послужиће нам Радерфордов експеримент, изведен пре готово сто година, тачније 1911. године. Радерфорд је бомбардовао танку златну фолију алфа-честицама⁶ и приметио је да се свака десетохиљадита честица „одбија“ од мете док остале пролазе кроз њу. Овај резултат био је у супротности са тада важећим Томсоновим моделом атома, названим и „грожђе у пудингу“, према коме се атом састоји од помешаних позитивних и негативних делића. Радерфорд је закључио да је језгро атома веома мало у односу на његову укупну запремину: ако би атом имао пречник 10 метара, језгро би било величине чиодине главе. Дакле, експеримент нам омогућава да потврдимо или одбацимо наше теорије.

Радерфорд је недвосмислено утврдио да се атом састоји од сићушног језгра и електронског омотача. Али он није открио да се језгро састоји од протона и неутрона. Зашто Радерфорд у свом историјском експерименту није „видео“ кваркове? Одговор на ово питање даје нам Де Бројева релација, у чијој основи лежи дуална таласно-честична природа материје према којој се свакој честици придружује талас, чија је таласна дужина једнака количнику Планкове константе

и импулса честице. Дакле, што је финија, ситнија структура коју желимо да изучавамо, потребно је да за то употребимо честице што мање Де Бројеве таласне дужине. Но, што је Де Бројева таласна дужина мања, то је импулс, а самим тим и енергија честице већа. Сходно томе, Радерфорд није „видео“ кваркове због тога што није „имао довољно енергије“.

Радерфордов експеримент је поставио стандарде у физици елементарних честица. Главни елементни су и данас исти: снап честица, мета и детектор. Сазнања о елементарним честицама црпимо из метадетектор деловања. У основи шема експеримента није много различита од начина на који опажамо ствари у свакодневном животу: наше око опажа (детектује) светлост одбијену од предмета.

371

3. ЛХЦ

Као што смо већ рекли, желимо да доведемо честице у интеракцију и да изучавамо производе тих интеракција. Али за то нам је потребно довољно енергије. Што су честице теже, потребно нам је више енергије, јер је према Ајнштајновој релацији енергија једнака маси помноженој са квадратом брзине светлости. Улога акцелератора је да убрза честице до жељених енергија. Први модерни акцелератор био је Лоренцов циклотрон у Берклију у С.А.Д, конструисан 1931. Његов пречник био је десет центиметара, а израда је коштала двадесет пет ондашњих долара. Убрзавао је електроне до енергија од милион електронволти⁷.

6) Алфа (α -) честице представљају језгро атома хелијума и настају у истоименом радиоактивном распаду.

7) Електронволт (eV) је јединица за енергију која се користи у хемији, атомској физици, нуклеарној физици и физици елементарних честица. Између електронволта и џула (J), јединице за енергију СИ система, важи следећа релација: $1\text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ J}$

Данас свет располаже акцелератором обима двадесет и седам километара, чији пречник износи преко осам и по километара. У његову конструкцију је уложено десет милијарди долара, у изградњи је учествовало десет хиљада научника и инжењера из сто земаља. ЛХЦ убрзава протоне који су готово две хиљаде пута тежи од електрона до енергија од седам билиона електронволти. Два највећа детектора који се налазе на супротним крајевима акцелераторског прстена теже више хиљада тона.

За разлику од експеримената са фиксним метом, као што је на пример Радерфорд, у ЛХЦ ће се сударити снопови протона – отуда и назив колајдер (сударач). На тај начин постиже се боље „искоришћење“ уложене енергије. За разумевање ове чињенице може нам послужити и пример из свакодневног живота: опаснији су и већу материјалну штету изазивају чеони судари возила него судар паркираног возила и возила које се креће.

Протони ће се до брзине од 99,9999991% брзине светлости убрзавати у неколико „фаза“, при чему ће у свакој бити искоришћени стари акцелератори који су раније били у употреби у ЦЕРН-у. Да би се протони кретали оволиком брзином по кружној путањи, потребно је веома јако магнетно поље. Интензитет магнетног поља које делује на протоне износи чак $8,4 \text{ T}^8$, што је милион пута јаче од Земљиног магнетног поља. Да би се то постигло, користе се јаки суперпроводни магнети који се хладе помоћу течног хелијума. ЛХЦ троши тридесет две хиљаде литара течног хелијума на сат, па се с правом може назвати и највећим фрижидером на свету.

Снопови протона се крећу брзином блиској брзини светлости у тзв. букетима и укрштају се четрдесет милиона пута у секунди. При сваком укрштању дешава се око двадесет и пет судара, односно како се то стручно каже имамо око милијарду догађаја у секунди, од којих највећи број није интересантан.

4. Физика на ЛХЦ

Експерименти на ЛХЦ би требало да одговоре на нека од отворених питања у физици елементарних честица. Поменућемо само неколико њих.

Порекло масе. Стандардни модел не објашњава порекло масе честица, ни зашто неке честице имају масу, а неке не. Могућ одговор даје Хигсов механизам по коме је цео простор испуњен Хигсовим пољем и честице стичу масу интерагујући са тим пољем. Честице које јаче интерагују су теже и обрнуто. Хигсово поље подразумева постојање Хигсовог бозона.

Неошкривене симетрије. Стандардни модел не даје јединствен опис свих основних сила које делују у природи. Могућ оквир за то уједињење даје суперсиметрија, која претпоставља да свака честица има свог суперпартнера, масивну суперсиметричну честицу. Поред тога, ова теорија предвиђа постојање најлакше суперсиметричне честице, које су добри кандидати за тамну материју.

Антиматерија. Сасвим је извесно да је велики прасак произвео једнаку количину материје и антиматерије. Међутим, данашња посматрања указују да је наш универзум састављен готово само од материје. ЛХЦ би могао да одговори на питање

8) Т (Тесла) је јединица за јачину магнетног поља. У савременој терминологији значење појмова магнетно поље и магнетна индукција је „размењено“.

како је настала асиметрија између материје и антиматерије, истражујући танану разлику која постоји између њих.

Честице у Стандардном моделу. ЛХЦ ће изучавати понашање основних честица у Стандардном моделу: W и Z бозона, који преносе слабе интеракције, као и топ и ботом кваркова. Било које неслагање са постојећим мерењима ће указати на слабост Стандардног модела.

Постојање екстрадимензија. Ово питање је вероватно привукло највише пажње медија и узбуркало јавност када је објављено да ће се током рада ЛХЦ формирати црна рупа која ће прогутати најпре ЦЕРН, затим Женеу, Земљу и цео Сунчев систем. Наравно, ништа се од тога неће догодити. Ипак, многи физичари који се баве теоријама гравитације предвиђају да ће се на ЛХЦ формирати мини црне рупе које ће „испарити“⁹ за милијардита део милионитог дела секунде. Ипак, појава ових црних рупа би могла да значи да осим четири за сада познате постоји још једна (екстра) пета димензија.

Да би се одговорило на поменута питања, формулисан је тзв. ЛХЦ програм, који има неколико задатака, од којих су најзначајнији:

- Тражење Хигсовог бозона у целом домену масе; ако Хигсов бозон буде пронађен, вршиће се мерење његових параметара.
- Потрага за суперсиметричним честицама и другим честица изван

Стандардног модела (суперсиметричне честице, лепто кваркови, нови лептони и кваркови...

- Прецизна мерења: маса W-бозона, топ кварка, константа јаке интеракције...
- Фазни прелаз из хадронске материје у кварк-глуонску плазму.

Закључак

У закључку, или уместо њега, покушаћемо да одговоримо на питање да ли почетак рада ЛХЦ представља и почетак краја физике. Најбољи одговор нам пружа изјава Макса Борна са Седмог Солвејевог конгреса физике који је одржан 1933. године и на коме су између осталих били присутни: П. Дирак, Е. Лоренц, В. Хајзенберг, М. Кири, Е. Радерфорд, Л. Мајтнер, Л. де Брољ и многи други, без чијих открића се не би могао замислити наш свакодневни живот. Понесен успесима науке на почетку прошлог века, а подсетимо да се тада већ знало за електрон, фотон, протон, неутрон, позитрон, теорију релативности, квантну механику, радиоактивност, Борн је изјавио: „Физика ће, као што знамо, бити завршена за шест месеци.“ Данас, више од седамдесет година касније, тешко да би се ико усудио да да овако смелу изјаву.

Бранислав Цветковић (Београд)

373

9) Чувени британски научник Стивен Хокинг је открио да су и црне рупе термодинамички објекти, да и оне губе енергију путем зрачења које носи његово име.