

ZÁKLADNÁ ŠKOLA, ŠMERALOVA 25, PREŠOV

ROČNÍKOVÁ PRÁCA

## **PÁTRANIE PO ČASTICIACH**

Autor: Martin Fedorko

Trieda: IX. C

Školský rok: 2017/2018

## Obsah

<b>Úvod .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Čo je urýchľovač častíc? .....</b>	<b>4</b>
<b>2 Princíp fungovania urýchľovača .....</b>	<b>4</b>
<b>3 Druhy urýchľovačov .....</b>	<b>5</b>
3.1 Lineárny urýchľovač .....	5
3.2 Cyklický urýchľovač .....	5
<b>4 Čo je LHC? .....</b>	<b>7</b>
4.1 História LHC.....	7
4.2 Experimenty LHC a detektory.....	8
4.2.1 ALICE.....	8
4.2.2 ATLAS.....	9
4.2.3 CMS.....	9
4.2.4 LHCb.....	10
4.2.5 TOTEM.....	10
4.2.6 LHCf.....	10
4.3 Ako pracuje LHC?.....	11
4.4 Čo skúma LHC? .....	13
4.4.1 Štandardný model .....	13
4.4.2 "Božská častica" .....	17
<b>5 Budúcnosť LHC .....</b>	<b>18</b>
<b>Záver .....</b>	<b>20</b>
<b>Zoznam použitej literatúry .....</b>	<b>21</b>
<b>Prílohy.....</b>	<b>22</b>
Príloha A .....	23
Príloha B .....	26
Príloha C .....	30

## Úvod

*„Všetko, čo je, muselo hádam mať nejaký začiatok. Tak teda aj vesmír musel raz vzniknúť z niečoho. Lenže ak vesmír vznikol z niečoho iného, tak potom to iné sa zasa niekedy muselo vytvoriť z niečoho ešte ďalšieho.“*

*(Jostein Gaarder: Sofiin svet)*

Ľudia neustále pátrali po tom, čo tvorí vesmír a svet. Kládli si otázky: „Možno považovať za prazáklad sveta hmotu? Je hmota deliteľná? Z čoho sa skladá?“ Z vlastnej skúsenosti vieme, že hmota je deliteľná. Ale aká je však najmenšia časť hmoty? To je otázka, na ktorú vedci stále hľadajú odpoveď, a ktorá zaujíma aj mňa. Už grécky filozof Demokritos sa domnieval, že všetko sa musí skladať z malých neviditeľných stavebných častí a tieto časti nazval atómami. Demokritos nemal prístup k elektronickým prístrojom našich čias a jeho jediným skutočným náradím bol jeho vlastný rozum. Dnes už veda objavila, že atómy možno deliť na ešte menšie „elementárne častice“. Takéto elementárne častice nazývame protóny, neutróny a elektróny a tie sa dajú rozdeliť na ešte menšie čiastočky, na kvarky. Fyzici sa však zhodujú v tom, že niekde musí existovať hranica. Musia existovať najmenšie časti, z ktorých pozostáva náš svet a vesmír. Pri pátraní po najmenšej častici hmoty a pri hlbšom štúdiu fyziky som sa stretol s Veľkým hadrónovým zrážacom (LHC), pretože práve on je doposiaľ najefektívnejší spôsob hľadania nových častíc a skúmania ich vlastností a parametrov.

Vo svojej práci sa vám pokúsim vysvetliť, čo je urýchľovač častíc a opíšem princíp jeho fungovania. Zároveň vám priblížim základné typy urýchľovačov a osobitne sa budem venovať LHC pri Ženeve. V ďalšej kapitole sa venujem tzv. štandardnému modelu, ktorý popisuje z čoho sa skladá náš svet, a teda aj vesmír. A práve experimenty v LHC majú potvrdiť správnosť tohto modelu, prípadne vyvrátiť. Prácu uzatvára zamyslenie sa nad budúcnosťou a významom LHC.

## 1 Čo je urýchľovač?

Urychľovač častíc je zariadenie, ktoré pomocou elektrického poľa udeľuje elektricky nabitým časticiam vysokú rýchlosť. Jeho úlohou je vyvolať zrážku elektricky nabitej častice, ktorá sa pohybuje vysokou rýchlosťou, s inou časticou. Pri silnej zrážke sa môžu pôvodné častice rozpadnúť a vzniknúť iné častice – jednak dobre známe, ale aj nové, ktoré vo vesmíre neexistujú v stabilnej podobe. Čím silnejšiu zrážku častíc vedci vyvolajú, tým k prekvapivejším záverom prichádzajú. Prostredníctvom zrážok častíc s vysokou energiou dokážu vedci simulovať procesy prebiehajúce krátko po veľkom tresku (Big Bang), a tak pochopiť vznik častíc a hmoty.

Prvé urýchľovače boli postavené na experimentálne účely a stále umožňujú spoznávať mikrosvet a prinášať nové objavy. Zároveň majú široké využitie. Keď sa urýchlený elektrón zrazí s kovovou platničkou, vyžiari sa fotón s vysokou energiou. Takéto fotóny tvoria známe röntgenové žiarenie, ktoré sa používa v medicíne. Keď urýchlený ión narazí do bunky, zničí ju. Takýmto spôsobom sa odstraňujú rakovinové nádorové bunky pri rádioterapii.

## 2 Princíp fungovania urýchľovača častíc

*„Predstavte si, že sa snažíte pochopiť, ako fungujú hodinky tak, že ich hodíte o seba a sledujete ako z nich vyletujú súčiastky.“*  
(Richard Feynman – o princípe fungovania urýchľovačov častíc)

Urychľovač funguje na podobnom princípe ako klasický starý televízor alebo CRT monitor, ktorý nájdeme ešte vždy v niektorých domácnostiach. Elektróny sú urýchľované elektrickým poľom medzi dvoma nabitými elektródami (kovovými platničkami) s vysokým napätím. Elektrón je záporne nabitá častica, ktorá vyráža z rozžeravenej katódy a smeruje k anóde. Takto vystrelený elektrón dopadá na obrazovku pokrytú fosforeskujúcou vrstvou a spôsobí malý záblesk, ktorý vnímame ako jeden farebný bod (pozri obrázok č. 1 v obrazovej prílohe). Na rovnakom princípe pracujú všetky urýchľovače: nabitým časticiam udeľujú vysokú rýchlosť pomocou elektrického poľa.

Rýchlosť častíc je veľmi blízka rýchlosti svetla, takže je zaužívané hovoriť o energii častíc. Čím väčšiu rýchlosť chceme dosiahnuť, tým viac energie jej musíme odovzdať. Energia sa zvyčajne udáva v elektrónvoltoch (eV). Jeden elektrónvolt je energia, ktorú získa elektrón

prechodom medzi elektródami s napätím jeden volt. V televízore je napätie rádovo tisíce voltov, a preto elektróny dosahujú energiu tisíce elektrónvoltov.

### 3 Druhy urýchľovačov

Podľa toho po akej dráhe sa častice pohybujú, rozlišujeme dva druhy urýchľovačov:

- a) **lineárny,**
- b) **cyklický.**

#### 3.1 Lineárny urýchľovač

V **lineárnom urýchľovači** sa urýchľované častice pohybujú po priamke v trubici, na ktorej konci je terčik. Jeho nevýhodou je, že v lineárnom urýchľovači je k dispozícii iba jeden prelet častice trubicou. Naopak jeho výhodou je, že častice nie je potrebné udržiavať na kruhovej dráhe.

Televízor je príkladom lineárneho urýchľovača, pretože častica dorazí do cieľa len jedným preletom trubicou (katódou). Ak chceme dosiahnuť vyššiu rýchlosť, potrebujeme viac elektród za sebou a dlhšiu rozbehovú dráhu. Najväčší lineárny urýchľovač SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) meria až 3,2 km a používa sa na experimenty na Stanfordskej univerzite v USA. Elektróny a pozitrony (antičastice elektrónov) sú v ňom urýchľované na energie do 50 GeV (obrázok č. 2 v obrazovej prílohe).

#### 3.2 Cyklický urýchľovač

Aby sa dosiahla vyššia rýchlosť bez dlhej trubice, bol postavený **cyklický urýchľovač**, v ktorom častica niekoľkokrát obehne po kružnici a získa mnohonásobnú rýchlosť v porovnaní s jedným preletom. Aby sa podarilo udržať časticu na kruhovej dráhe, využila sa zaujímavá vlastnosť, ktorá kedysi spojila dve na prvý pohľad nesúvisiace oblasti: elektrinu a magnetizmus. Hoci na nabitú časticu v pokoji nepôsobí magnetické pole, pri pohybe vytvára okolo seba vlastné magnetické pole a vo vonkajšom magnetickom poli mení smer pohybu. Aj na tomto princípe pracujú staré (teda nie LCD alebo LED) televízory a monitory: magnety postupne vychyľujú elektrón horizontálne a vertikálne, aby malé svetelné záblesky rýchlo poskladali požadovaný obraz po jednotlivých riadkoch.

Na každú pohybujúcu sa nabitú časticu v magnetickom poli pôsobí sila, ktorej orientáciu nám pomáha určiť pravidlo pravej ruky (pozri obrázok č. 3 v obrazovej prílohe). Ak siločiar magnetického poľa smerujú do dlane (na obrázku od vrchného magnetu k spodnému) a prsty sú v smere pohybu elektrónu, vychýlený palec ukáže orientáciu sily pôsobiacej na elektrón. Ak bude magnetické pole v celej oblasti, elektrón v každom okamihu zmení smer doprava a bude sa pohybovať po kružnici.

Prvým cyklickým urýchľovačom bol **cyklotrón** skonštruovaný na Kalifornskej univerzite v roku 1929. Elektrón sa vystrelí do magnetického poľa spôsobom známym z televízora. Potom sa začne jeho pôsobením otáčať po kružnici. Medzi nabitými elektródami v tvare polkruhu sa umelo vytvára elektrické pole urýchľujúce elektrón od zápornej elektródy ku kladnej. Keďže sa elektrón po pol otočke vracia späť, napätie na elektródach sa musí prevrátiť, aby urýchlilo elektrón v opačnom smere. Takto sa striedavým napätím dosahuje stále väčšia rýchlosť a po mnohých otáčkach sa môže jeho rýchlosť priblížiť rýchlosti svetla. Pri vyšších rýchlostiach však pôsobí aj silnejšia odstredivá sila, ktorá ťahá elektrón ďalej od stredu. Výsledkom je pohyb častice po špirále, kým neunikne von z okruhu (obrázok č. 4 v prílohe).

Technické obmedzenie cyklotrónov je v tom, že častice letia po špirále a zaberajú celý kruhový priestor. Navyše podľa teórie elektromagnetického poľa zrýchľujúca častica vyžaruje elektromagnetické žiarenie. Keďže sa v cyklotróne dosahujú vysoké otáčky, častica stráca energiu a spomaľuje. V lineárnom urýchľovači častica letela priamočiaro a tento efekt nerobil problém. Ak chceme dosiahnuť vyššiu rýchlosť, musíme narovnať dráhu častice a zmierniť zákruty. Je potrebné postaviť urýchľovač, v ktorom sa častica bude môcť pohybovať po kružniciach s väčším polomerom a tiež obehnúť viac cyklov, kým ho opustí. Kým lineárny urýchľovač dlhý niekoľko kilometrov nie je problém postaviť, gigantický cyklotrón v tvare kruhu s rozlohou mesta je nemysliteľný kvôli tomu, že magnety musia zaberat' celú plochu pod špirálou a gigantické magnety s rozmermi mesta a váhou niekoľko miliónov ton nie je možné postaviť.

Takže riešením je prinútiť elektrón obiehať po kružnici a nie po špirále. Tento prístroj dostal názov **synchrotrón** a jeden z prvých bol skonštruovaný v roku 1954 v Lawrenceovom laboratóriu v Berkeley. Časticu udržiava na presnej kruhovej dráhe niekoľko magnetov umiestnených v tuneli (obrázok č. 5 v obrazovej prílohe). Po každom urýchlení elektrickým poľom sa špeciálne upravené magnety postarajú o to, aby sa častica nevychýlila z dráhy. Tento sofistikovanejší, ale aj technicky náročnejší princíp umožnil postaviť najvýkonnejší urýchľovač LHC.

## 4 Čo je LHC?

**LHC - Large Hadron Collider** alebo v preklade *Veľký hadrónový zrážač* prevádzkuje Európska organizácia pre jadrový výskum CERN a jeho celkové náklady sa odhadujú na 3 až 6 miliárd eur. Leží v 27 kilometrov dlhom tuneli vykopanom 50 až 175 metrov pod francúzsko-švajčiarskymi hranicami neďaleko Ženevy (pozri obrázok č. 6 v obrazovej prílohe). Pôvodne táto oblasť slúžila pre synchrotrón LEP (Veľký elektrón-pozitrónový zrážač) postavený v roku 1988 a dnes leží v pôvodnom tuneli 1624 magnetov LHC, ktoré dokážu usmerniť častice s presnosťou na hrúbku ľudského vlasu.

LHC je **synchrotrón**, v ktorom sa na rozdiel od elektrónových urýchľovačov, urýchľujú protóny a ióny olova. Protóny a neutróny, z ktorých sa skladá jadro atómu, patria medzi ťažšie častice hadróny, preto je v názve prívlastok hadrónový. Častice sú urýchľované v niekoľkých krokoch. Počnúc malým lineárnym urýchľovačom sa dostávajú do väčších okruhov v blízkosti hlavného tunela, až v poslednom 27-kilometrovom tuneli dosahujú rýchlosť 99,999 999 % rýchlosti svetla a energiu 7 TeV. Pri tejto rýchlosti obletia celý tunel desať tisíckrát za sekundu. Zaujímavé tiež je, že letiace častice zväčšia svoju hmotnosť 7 500-krát. Tento efekt pri vysokých rýchlostiach vyplýva z Einsteinovej teórie relativity. Dva husté zväzky hadrónov naraz prúdia v opačných smeroch a snahou je vyvolať ich vzájomnú zrážku. Zrážky sa pozorujú šiestimi detektormi na okruhu a každý z nich skúma niečo iné.

### 4. 1 História LHC

LHC je bol spustený do prevádzky 10. septembra 2008. Po prvýkrát v celom urýchľovači cirkulovali protóny. Keďže nečakane zlyhal transformátor dodávajúci elektrickú energiu pre chladiaci systém, spustenie prevádzky sa odložilo na 18. septembra 2008. V tento deň však nastala vážnejšia havária. Prerušilo sa elektrické spojenie medzi magnetmi a jeden z nich stratil supravodivosť, prehrial sa a z chladiča sa do tunela odparilo 6 ton kvapalného hélia. Bolo potrebné vymeniť magnet a preskúmať príčinu problému. Keďže magnety boli chladené na teplotu  $-271,25$  °C, bolo potrebné ich pomaly ohriať na izbovú teplotu. Takže 19. septembra musel byť odstavený a opätovne bol spustený 30. marca 2010 pri celkovej energii 7 TeV, čo predstavovalo dosiaľ najväčší výkon akéhokoľvek človekom postaveného urýchľovača častíc.

V novembri 2010 sa začala prvá fáza experimentov s jadrami olova a v decembri bola táto fáza ukončená. Urýchľovač bol uzatvorený až do prvej štvrtiny roku 2011, odkedy pokračujú experimenty ALICE a CMS. Koncom roka sa vedcom podarilo identifikovať Higgsov

bozón, ale tento objav ešte nebol oficiálne oznámený. 4. júla 2012 vedci v medzinárodnom laboratóriu časticovej fyziky CERN v Ženeve zverejnili objav novej častice v zrážkach protónov na LHC a to objav Higgsovho bozónu. Experimenty ATLAS CMS na urýchľovači LHC pozorovali novú časticu, ktorá je totožná s Higgsovým bozónom. V roku 2012 sa protóny zrážali s energiou 4 TeV na jeden zväzok, pričom išli rýchlosťou veľmi blízkou rýchlosti svetla.

V roku 2015 sa uskutočnili prvé zrážky dvoch protichodných lúčov protónov s rekordnou energiou zrážok 13 TeV. Od roku 2015 sa vedci pokúšajú experimentmi potvrdiť správnosť štandardného modelu, zbierajú a analyzujú informácie o parametroch častíc hmoty a antihmoty, energie a tmavej energie.

#### 4. 2 Experimenty LHC a detektory

LHC sa skladá z detektorov (pozri obrázok č. 7 a 8 v obrazovej prílohe), ktorých účelom je zaznamenávať a vizualizovať explóziu častíc, ktoré sú výsledkom zrážky. Detektory zaznamenávajú informácie o rýchlosti, hmotnosti a elektrickom náboji častice, a tak určujú identitu danej častice. Každý viacúčelový detektor v LHC sa skladá z týchto 3 hlavných sub-detektorov, ktoré sledujú určitý typ častice:

- a) sledovacie zariadenie, ktoré odhaľuje trajektóriu elektricky nabitej častice podľa stopy, ktorú za sebou zanechá (ak sú vo vhodnej zmesi),
- b) kalorimeter, ktorý meria stratu energie pri prechode. Obyčajne je navrhnutý tak, aby zastavil a absorboval väčšinu častíc prichádzajúcich z kolízie. Kalorimetre sú skonštruované z vrstiev hustých materiálov (olovo) a medzi nimi sa nachádzajú vrstvy aktívneho média (tekutý argón). Kalorimetre zastaví väčšinu známych častíc okrem miónov a neutrín (tie sa môžu iba vychýliť napr. rádioaktívne látky),
- c) časticový identifikačný detektor – identifikuje časticu podľa žiarenia vysielaného nabitou časticou.

##### 4.2.1 ALICE

Pre experiment ALICE sa v LHC zrážajú ióny olova, aby sa tak vytvorili podmienky zhodné s tými po veľkom tresku. Získané dáta umožňujú fyzikom študovať stav hmoty nazývaný kvark-gluónová plazma, ktorá pravdepodobne existovala po veľkom tresku. Protóny a neutróny sú tvorené kvarkami (protón: 2 kvarky up a 1 kvark down, neutrón: 2 kvarky down a 1 kvark up), ktoré držia pohromade vďaka iným časticiam, ktoré nazývame gluóny (od



anglického slova glue – lepidlo). Kolízia v LHC vytvára teploty vyššie než 100 tisíc násobok teploty v jadre Slnka. Pri týchto podmienkach sa protóny a neutróny roztavia a uvoľnia tak kvarky, a tým vzniká kvark-gluónová plazma. Experiment ALICE je zameraný na štúdium kvark-gluónovej plazmy a jej vznik.

#### 4.2.2 ATLAS

ATLAS je jedným z viacúčelových detektorov v LHC. Ide o veľký a komplexný súbor detektorov v tvare valca s priemerom 25 m a dĺžkou 45 m (pozri obrázok č. 10 a 11 v obrazovej prílohe). Je umiestnený v podzemnej hale približne 100 m pod povrchom zeme. Skúma fyzikálne procesy vo väčšom rozsahu než napríklad ALICE. Výskumný program ATLASu je orientovaný na časticovú fyziku, vrátane pátrania po Higgsovom bozóne. Ďalej je výskum orientovaný na pátranie po extra dimenziách a časticiach, ktoré by mohli tvoriť temnú hmotu.

ATLAS zaznamenáva trajektórie pri kolíziách. Tvorí ho 8 obrovských magnetov, poskladaných na dĺžku do kruhu tak, aby magnetické pole bolo najsilnejšie v strede detektora. Každý z týchto magnetov meria 25 metrov a je zložený zo supravodivých cievok. ATLAS váži 7 000 ton – rovnako ako Eiffelova veža v Paríži.

Na konštrukcii detektora ATLAS sa podieľala aj Slovenská republika zastúpená košickými vedcami a inžiniermi. V pracovnej skupine doc. RNDr. Dušana Bruncka, CSc. sa sústredili na príspevok ku kalorimetrickému detektoru, ktorým sa merajú energie častíc. Prispeli tiež ku elektronickej kalibrácii kalorimetra na báze kvapalného argónu. V spolupráci so zahraničnými pracoviskami vyvinuli špeciálne, veľmi rýchle elektronické zosilňovače, ktoré pracujú pri teplote kvapalného argónu. Tieto snímače slúžia na snímanie signálov z kalorimetra. Košická skupina prispela aj dodávkami komponentov detektora a podieľala sa na inštalácii aparatúry experimentu ATLAS pod povrchom zeme.

#### 4.2.3 CMS

Podobne ako ATLAS aj CMS skúma väčšiu časť časticovej fyziky, vrátane Higgsovho bozónu, extra dimenzií a častíc, ktoré by mohli tvoriť temnú hmotu. Je zrejmé, že CMS skúma rovnaké problémy ako ATLAS, rozdiel je ale v spôsobe, akým to robí. Na rozdiel od ATLASu použije CMS (pozri obrázok č. 12 a 13 v obrazovej prílohe) iba jeden obri elektromagnet cylindrického tvaru (solenoid). Solenoid je zložený z cylindrickej cievky supravodivých káblov. Tento gigantický magnet je schopný vytvoriť magnetické pole veľkosti 4 tesla (zhruba 100 tisíckrát väčšie ako magnetické pole Zeme). Toto pole musí byť

uchytené oceľovými výstuhami, ktoré tvoria značnú časť celej hmotnosti detektoru (12 500 ton). Zaujímavosťou detektora je, že ako jediný bol najskôr postavený na povrchu a až potom spustený do podzemia.

#### 4.2.4 LHCb

LHCb sa špecializuje na preskúmanie drobných rozdielov medzi hmotnou a antihmotou študovaním častíc zvaných kvark b (b znamená bottom – spodný alebo beauty - krásny). Detektor by mal zodpovedať, prečo sa zdá, že vesmír je zložený takmer výhradne z hmoty a nie z antihmoty.

#### 4.2.5 TOTEM

Experiment TOTEM sa zameria na skúmanie javov, pre ktoré neboli vhodné viacúčelové detektory ATLAS a CMS. TOTEM meria veľkosť častíc a presne monitoruje luminozitu LHC. Zároveň musí byť schopný detegovať častice produkované veľmi blízko lúčov obiehajúcich v LHC. Na to sú potrebné detektory v špeciálne navrhnutých vákuových komorách zvaných rímske hrnce (Roman pots), pripojených k rúrkam s lúčmi.

#### 4.2.6 LHCf

LHCf má za úlohu simulovať kozmické žiarenie v laboratórnych podmienkach pomocou častíc vytvorených v LHC. Je to najmenší experiment aj podľa počtu (22). Kozmické žiarenie je spôsobené nabitými časticami z vesmíru, ktoré neustále bombardujú zemskú atmosféru. Narážajú do jadier vo vyššej atmosfére a spôsobujú kaskádu častíc, ktoré dosiahnu zemský povrch.

### 4.3 Ako pracuje LHC?

Na to, aby sme mohli skúmať zrážky protónov, je potrebné protóny nejakým spôsobom získať. Najjednoduchšie sa získavajú z vodíka, ktorý sa skladá z jedného protónu a jedného elektrónu. Ten okolo neho "obieha", a preto je potrebné ho od atómu odtrhnúť elektromagnetickou silou. Zostanú nám čisté jadrá vodíka, teda protóny, ktoré sa potom pomaly urýchľujú. Urýchľovanie je postupné. Prvým je malý, priamočiary urýchľovač, ktorý protóny urýchli na ešte nízke energie. Potom protóny prechádzajú do stále väčšieho a väčšieho urýchľovača, ktorý ich urýchli viac a viac. V komplexe sú tieto stupne štyri. Na konci protóny prejdú do veľkého urýchľovača LHC, ktorý má dĺžku 27 kilometrov a v ňom sa už urýchlia na finálnu energiu.

Po urýchlení sa protóny v LHC zrážajú na štyroch miestach, kde sú postavené detektory, ktoré zrážky sledujú. Ale samotný moment zrážky sa nedá vidieť. No keďže pri zrážkach vzniká veľké množstvo druhotných častíc, možno sledovať výsledky zrážok. Svet elementárnych častíc je podivný aj v tom, že protóny sa nerozpadnú len na ďalšie menšie protóny. Pokiaľ má zrážka dostatočnú energiu, pôvodné protóny zaniknú a vznikne z nich mnoho iných častíc. A práve tie potom zaujímajú vedcov, ktorý ich analyzujú.

Zo sledovania početnosti častíc, ktoré vzniknú, a ich parametrov vedia vedci spätne vypočítať, čo sa pri zrážke stalo a porovnať to s modelmi, ktoré teoretici o fungovaní častíc pripravili. Modely, ktoré najlepšie popisujú to, čo detektory merajú, sa potom pokladajú za tie správne.

Zväzok protónov tvoria akési obláčiky, nazývajú sa "bunch" (zväzok). Takto zoskupené protóny obiehajú v urýchľovači a vždy, keď sa stretnú dva obláčiky oproti sebe, s istou pravdepodobnosťou do seba nejaké protóny narazia. Podľa toho, aké husté sú tieto oblaky, sa pravdepodobnosť zvyšuje a počet zrážok sa pohybuje od niekoľko párov až po 80 či 90 protónov, ktoré sa naraz zrazia. Avšak frekvencia toho, ako často sa tieto oblaky stretávajú, je veľmi vysoká, presne 40 MHz, čo znamená, že sa stretnú 40 miliónov krát za sekundu. Pri každom tomto strete môže nastať niekoľko protónových zrážok. Všetky údaje spracúvajú elektronické zariadenia.

Hoci je v LHC veľmi veľa častíc, zrážkami vo zväzku ubúdajú a strácajú energiu. Zvyčajne jeden "run" trvá od piatich do ôsmich až desiatich hodín. Potom sa zvyšok zväzku vyvedie von, akoby zahodí a medzitým sa pripraví nový. Znova sa prichystajú jadrá vodíka, znova sa najskôr urýchlia na nižšie rýchlosti a následne „vstreknú“ do veľkého urýchľovača. Podľa toho, či sú komplikácie, trvá príprava niekoľko hodín, väčšinou dve až štyri. Potom je prestávka. Kým získajú protóny finálnu energiu, trvá to pol až trištvrte hodiny.

Magnety, ktoré urýchľovač potrebuje na udržanie častíc v kruhovej trajektórii, musia byť extrémne chladené. Ak by to boli klasické magnety, tak vzhľadom na to, že je ich tam veľmi veľa a sú veľmi silné, spotreba elektrického prúdu by bola taká veľká, že by ich prevádzka bola jednak technicky veľmi ťažko realizovateľná a jednak aj finančne neúnosná. Všetky magnety sú preto supravodivé, tým pádom sa nezohrievajú a nespotrebovávajú toľko prúdu (pozri obrázok č. 9 v obrazovej prílohe). Dostatočne výkonné supravodiče však pracujú len pri veľmi nízkych teplotách, preto musia byť chladené na teplotu blízku absolútnej nule, teda okolo 4 K. Chladia sa tekutým héliom, čo je najchladnejšia kvapalina, ktorú dokážeme vyrobiť za normálnych okolností.

Tunel je kruhový, ale v rámci každého jeho sektora sú aj rovné časti. V niektorých z nich sa urýchľujú častice. Na to potrebujeme elektrické pole. Častice majú náboj, za ktorý ich ako keby "chytíme" a urýchlime. Ďalšie rovné aj zakrivené časti tiež obsahujú magnety, ktoré zväzok stláčajú, aby bol hustejší a nasmerujú na správnu dráhu. Pri urýchľovaní má totiž zväzok častíc tendenciu sa trochu rozptýliť. Tým, že ich je veľa, reagujú aj medzi sebou. Všetky majú rovnaký náboj, preto sa odpudzujú. Magnetické pole sa používa na to, aby sa k sebe stlačili a udržali na tej dráhe, ktorá je potrebná.

Počas výstavby LHC sa hľadalo také nastavenie, ktoré by umožnilo dlhodobý obeh častíc bez nárazu do steny urýchľovača. Ak by častice do steny narazili, mohli by poškodiť časť zariadenia a uvoľniť pomerne veľkú tepelnú energiu. Pretože aj keď je protón veľmi malá a ľahká častica, v urýchľovači je protónov veľmi veľa a navyše urýchlených na veľmi vysokú energiu. Zabránenie nárazu je ale zabezpečené. Vnútoraná trubica, kde protóny obiehajú, je totiž vákuová, aby častice počas svojho obiehania nenarážali do iných atómov alebo molekúl plynu. Navyše, magnety musia zabezpečiť, že na každom kroku sú častice akoby pod kontrolou magnetického poľa a idú presne po dráhe, ktorá je naprojektovaná. Na to slúži pomerne komplikovaný riadiaci elektronický systém. Magnetické pole v každom magnetu sa totiž riadi tým, aký prúd doňho v tom-ktorom momente tečie a mnohé z magnetov sú neustále riadené drobnými korekciami.

LHC má aj bezpečnostnú poistku. Na niekoľkých miestach v kruhu sú špeciálne "kicker" magnety, ktoré vedú v prípade nestability zväzku alebo nejakých problémov protóny veľmi rýchlo vyextrahovať. Akoby ich "vykopnú" niekde mimo, do pripravených miest, kde sa zväzok pohltí, a tým sa protóny bezpečne zo zariadenia vyvedú.

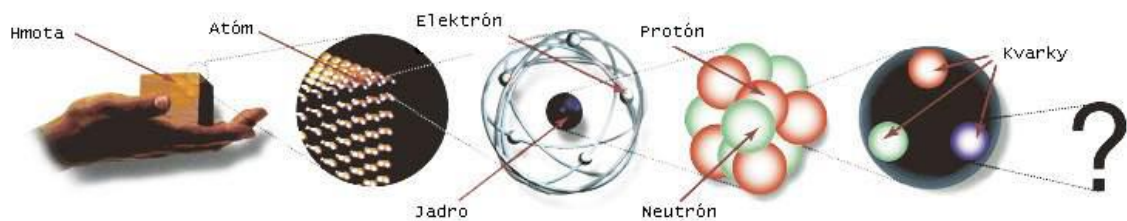
Pri experimente ALICE sa v LHC nezrážajú protóny, ale ióny olova alebo zlata, aby sa tak vytvorili podmienky zhodné s tými po Big Bangu. Vieme takto vyrobiť nielen rôzne antičastice, ale zložiť z nich aj antihmotu v tvare antiatómu. Keďže sa ale vyrába umelo, je

veľmi nepravdepodobné, že na tú výrobu by nám stačilo menej energie, ako by potom antihmota pri svojej anihilácii dokázala uvoľniť. Napríklad aj jadrové elektrárne fungujú na princípe rozpadu častíc, ale treba si uvedomiť, že v jadrových elektrárňach je palivom obohatený urán, teda prvok, ktorý sa prirodzene vyskytuje na Zemi. Na jeho obohatenie a prípravu je treba podstatne menej energie, než pri svojej reťazovej z neho dostaneme. Pri antihmote to tak nie je. Ak by sme ju aj dokázali v dostatočnom množstve vyrobiť a skladovať, potrebujeme na to ešte viac energie, ako by antihmota potom vyprodukovala ako potenciálne palivo. Preto „výroba“ antihmoty nemá technologický úžitok, ale len vedecký.

#### 4.4 Čo skúma LHC?

##### 4.4.1 Štandardný model

Cieľom experimentov v LHC je potvrdiť alebo vyvrátiť teóriu tzv. štandardného modelu, ktorá objasňuje z čoho pozostáva svet a čo tento svet drží pokope. Štandardný model je najlepším fyzikálnym opisom hmoty. Dokáže vysvetliť takmer všetko – látku, sily, žiarenie – a to prostredníctvom vzájomných interakcií častíc, ktoré si berú, alebo odovzdávajú energiu. Je to teória, ktorá opisuje stovky častíc a vysvetľuje ich vzájomné spolupôsobenie (interakciu) a vie predpovedať ako sa budú správať v určitých situáciách a čo vznikne po zrážke týchto častíc. Tieto situácie sú simulované v LHC a môžu byť potvrdiť alebo vyvrátiť predpovede na základe tejto teórie.



Zjednodušený („gulôčkový“) model štruktúry hmoty

Prvým krokom k vytvoreniu štandardného modelu, ktorý opisuje vlastnosti fundamentálnych častíc, bol Thomsonov objav elektrónu v roku 1897. Ďalšie častice (protón, neutrón, fotón, mión, mezón a neutríno) boli objavené v 20. storočí. Približne v polovici 60. rokov 20. storočia si fyzici uvedomili, že na vysvetlenie nových častíc a ich interakcií je potrebný nový model subatomárneho sveta. Toto viedlo ku vzniku novej teórie.

Popri vzniku modelu nazvaného neskôr štandardným modelom táto teória pomohla vysvetliť aj pôsobenie všetkých síl okrem gravitácie.

Základom tejto teórie bol predpoklad, že niektoré častice, vrátane protónov a neutrónov, sú zložené z menších častí, ktoré dostali názov kvarky. Kvarky pôvodne predstavovali iba matematickú abstrakciu, ale vedci napokon zistili, že ide o skutočné – elementárne častice, ktoré sa spájajú, aby vytvárali zložené častice. V 70. rokoch 20. storočia sa zistilo, že sila, ktorá drží kvarky pohromade, je silná jadrová sila a že túto silu sprostredkujú iné nehmotné častice, ktoré sa nazývajú gluóny. Spočiatku panoval názor, že existujú tri typy („vône“) kvarkov – „horný“ (up), „dolný“ (down) a „podivný“ (strange), ale v súčasnosti sú známe tri ďalšie „vône“ kvarkov – „pôvabný“ (charming), „vrchný“ (top) a „spodný“ (bottom).

Takže súčasný štandardný model (pozri obrázok č. 14 v obrazovej prílohe) rozlišuje elementárne častice, ktoré nemajú vnútornú štruktúru a zložené častice (hadróny), ktorú sú zostavené z menších štruktúr. Elementárne častice rozdeľuje na :

- a) **fermióny**, ktoré tvoria stavebné bloky hmoty a na ktoré sily medzi fermiónmi pôsobia,
- b) **bozóny**, ktoré sú primárne častice prenášajúce silu (fotón, gluón, W<sup>+</sup>, W<sup>-</sup> a Z bozóny). Fyzici doteraz identifikovali šesť bozónov. **Gluón** sprostredkúva silnú interakciu, kým elektromagnetickú silu prenáša **fotón**. Slabá sila má tri bozóny. **W bozóny** sú dva, každý s opačným nábojom a sú zodpovedné za uvoľňovanie ťažších leptónov, akú sú elektróny, z jadra pri beta rozpade. **Z bozón** súvisí s emisiou ľahších neutrín. **Higgsov bozón** je považovaný za pôvodcu hmotnosti ostatných častíc a budem sa mu podrobnejšie v nasledujúcej podkapitole práce. Chýbajúcou silou je gravitácia, ktorá pôsobí na všetky fermióny bez výnimky. Predpokladá sa, že bozónom pre gravitáciu by mohol byť **gravitón**. Je však veľmi nepatrnou časticou, takže ho doteraz nikto neobjavil.

**Fermióny** sa ďalej delia na:

- a) **6 kvarkov** – tri s nábojom  $+2/3e$  (náboja elektrónu) a tri s nábojom  $-1/3e$
- b) **6 leptónov**- (tri druhy neutrín a tri s nimi súvisiace nabité častice ako sú elektrón, mión, tauón)

Všetky známe materiálne častice sú zložené z kvarkov a leptónov. Vzájomne na seba pôsobia prostredníctvom častíc, ktoré sprostredkujú silové pôsobenie.

Podobne ako pri kvarkoch boli objavené ďalšie dva typy elementárnych častíc: leptóny a kalibračné bozóny. Leptóny sú častice s nízkou hmotnosťou a nepôsobí na ne silná jadrová sila, ale reagujú na slabú nukleárnu interakciu. Je známych 6 typov leptónov –

elektróny, mióny a tauóny a k nim patriace neutrína. Pri neutrínach ide o elektricky neutrálne častice s veľmi malou hmotnosťou, často sa pohybujúce rýchlosťou svetla vznikajúce v procese rádioaktívneho rozpadu, pri nukleárnych reakciách a zrážkach pri kozmickom žiarení.

Bozóny sa líšia od všetkých ostatných subatomárnych častíc – označovaných spoločne ako fermióny – vlastnosťou, ktorá sa nazýva „spin“. Spin si možno predstaviť ako interný moment hybnosti častice, ktorý je tým väčší, čím je väčšia frekvencia „otáčania“ častice. Otáčanie však nesmieme chápať mechanicky. Bozóny majú spin s hodnotou rovnou 0 alebo celému číslu 1,2 atď., kde číslo predstavuje násobok Planckovej konštanty, ktorá udáva najmenšiu možnú hodnotu jedného kvanta energie ( $h = 6,626\ 070\ 040(81) \times 10^{-34}$  J·s). Fermióny, ktoré zahŕňajú všetky stavebné bloky hmoty, akými sú kvarky, elektróny a protóny, majú spin s hodnotou polovice celých čísel (napríklad  $\frac{1}{2}$  alebo  $1\ \frac{1}{2}$ ). Kalibračné bozóny sú „prenášacie“ častice pre štvoricu síl. Patria medzi ne fotóny prenášajúce elektromagnetickú silu, gluóny sú nosičmi silnej jadrovej sily a bozóny Z a W sprostredkujúce slabú nukleárnu interakciu. Gravitóny sú považované za prenášače gravitačnej sily.

Pre väčšinu subatomárnych častíc existujú zodpovedajúce častice antihmoty alebo antičastice. Tieto je možné získať počas rádioaktívneho rozpadu a v kolíziách pri kozmickom žiarení v zemskej atmosfére alebo umelo v urýchľovačoch častíc. Väčšina častíc a im zodpovedajúcich antičastíc je identická, odlišujú sa iba opačným elektrickým nábojom. Antičastice sú známe aj pre niektoré elektricky neutrálne častice. Pri stretnutí častice a antičastice zanikajú obidve, pričom vzniká energia vo forme žiarenia (fotónov). Dôležitou otázkou pri výskume veľkého tresku je, prečo vo vesmíre existuje prevaha častíc nad antičasticami.

Štandardný model je pokusom čo najúspornejšie vysvetliť náš svet tak, ako ho pozorujeme bežnými zmyslami, v laboratóriu, v zrážkach na urýchľovačoch či vo hviezdach. Štandardný model je dobrá teória, pretože je až nečakane úspešný a vo výbornej zhode s presnými meraniami, predovšetkým z urýchľovačov. Veľký počet experimentov uskutočnených prostredníctvom LHC potvrdil predpovede vedcov s neuveriteľnou presnosťou a všetky častice, ktoré boli touto teóriou dodnes predpovedané, boli tiež objavené. A predsa táto teória nedokáže všetko vysvetliť. V štandardnom modeli nie je zahrnutá napríklad gravitácia a jej vysvetlenie. Z pozorovania vesmíru vieme, že je len neúplným popisom sveta, pretože nedokáže vysvetliť vznik vesmírnej tmavej hmoty ani vesmírnej tmavej energie.

Takže naša predstava o tom, z čoho sa skladá vesmír a teda aj náš svet je zatiaľ neúplná. Štandardný model, síce popisuje náš svet, ale v tomto modeli veľa vecí ešte nie je vysvetlených, jednoducho zatiaľ “spadli z neba” a nikto nevie, prečo sú práve také, ako sú a práve k ich pochopeniu by nám mali pomôcť experimenty, ktoré sa uskutočňujú prostredníctvom LHC.

Pre lepšiu názornosť si elementárne častice štandardného modelu zobrazíme v tabuľke:

Častica	Prenášaná sila / výskyt	Hmotnosť (vyjadrená v $eV/c^2$ )	Náboj (elektrón = -1 = $1,602 \cdot 10^{-19}$ C)	Spin (násobok Planckovej konštanty)	Sila (pôsobiaca vo vzdialenosti $10^{-15}$ ) v N	Dosah (v metroch)	Bola už pozorovaná?
<b>BOZÓNY (sily)</b>							
gravitón	gravitácia	0	0	2	$10^{-38}$	nekonečný	nie
fotón	elektromagnetizmus	0	0	1	$10^{-2}$	nekonečný	áno
gluón	silná sila	0	0	1	1	$10^{-15}$	nepriamo
<b>BOZÓNY SLABEJ INTERAKCIE</b>							
$W^+$	slabá sila	80 000	1	1	$10^{-13}$	$10^{-16}$	áno
$W^-$	slabá sila	80 000	-1	1	$10^{-13}$	$10^{-16}$	áno
$Z^0$	slabá sila	91 000	0	0	$10^{-13}$	$10^{-16}$	áno
Higgsov bozón	slabá sila	cca 126 000	0	0	?	?	áno
<b>FERMIÓNY (hmota)</b>							
LEPTÓNY, GENERÁCIA 1							
elektrón	atómová štruktúra	0,51	-1	1/2	-	-	áno
elektrónové neutrino	rádioaktívny rozpad	0?	0	1/2	-	-	áno
KVARKY, GENERÁCIA 1							
up (horný)	atómové jadro	cca 2,5	2/3	1/2	-	-	nepriamo
down (dolný)	atómové jadro	cca 4,5	-1/3	1/2	-	-	nepriamo
LEPTÓNY, GENERÁCIA 2							
mión		106	-1	1/2	-	-	áno
miónové neutrino		0	0	1/2	-	-	áno
KVARKY, GENERÁCIA 2							



<b>charm</b> (pôvabný)		cca 1300	2/3	1/2	-	-	nepriamo
<b>strange</b> (podivný)		cca 100	-1/3	1/2	-	-	nepriamo
LEPTÓNY, GENERÁCIA 3							
<b>tauón</b>		1777	-1	1/2	-	-	áno
<b>tauónové</b> <b>neutrino</b>		>35	0	1/2	-	-	áno
KVARKY, GENERÁCIA 3							
<b>top (vrchný)</b>		cca 173 000	2/3	1/2	-	-	nepriamo
<b>bottom</b> (spodný)		cca 4200	-1/3	1/2	-	-	nepriamo

#### 4.4.2 „Božská častica“ – Higgsov bozón

Vrcholom experimentov LHC je experimentálne potvrdenie častice s menom *Higgsov bozón*<sup>1</sup>, ktorá je známa aj pod poetickou prezývkou „božská častica“. LHC po nej intenzívne pátral.

Higgsov bozón (pozri obrázok č. 15 a 16 v obrazovej prílohe) je akýmsi poslednou časticou do mozaiky štandardného modelu, ktorá odolávala doterajším snahám o dolapenie. Je to častica, ktorá je teoreticky predpovedaná v štandardnom modeli – takmer ucelenej teórii opisujúcej prírodné sily s výnimkou gravitácie. Bez nej by neexistovala ani taká základná vlastnosť sveta ako je hmotnosť. Dlhو bola strašiakom teoretických fyzikov. Podobná situácia sa odohrala v minulosti v roku 1968, keď traja fyzici Glashow, Salam a Weinberg zjednotili elektromagnetizmus a slabé jadrové sily. Hoci teória vyzerala elegantne a zodpovedala mnoho otázok, mlčky predpokladala existenciu vtedy neobjavenej častice. Hoci nebolo po nej ani chýru, už ju s istotou stihli pomenovať Z-bozón. Až keď ju pomocou urýchľovača v CERN-e skutočne našli, po jedenástich rokoch sa potvrdila správnosť teórie a jej autori dostali Nobelovu cenu.

<sup>1</sup> Higgsov bozón bol pomenovaný podľa fyzika Petra Higgsa, ktorý predpovedal jeho existenciu. Peter Higgs pochádzal z anglického Newcastleu. Študoval fyziku na Imperial College v Londýne. V roku 1960 nastúpil do práce na univerzite v Edinburghu, kde bol v rokoch 1980-1996 profesorom teoretickej fyziky. Higgs je najviac známy pre svoju teóriu, ktorá vysvetľuje pôvod hmoty elementárnych častíc, medzi nimi bozónov W a Z. Podľa jeho teórie častice získavajú svoju hmotu interakciou s energetickým poľom, ktoré preniká priestorom a bolo nazvané Higgsovým poľom. Higgs takisto predpovedal, že toto pole by malo vytvárať vlastný typ častice, ktorá sa stala známa ako Higgsov bozón.

Až do jeho objavenia mali fyzici elegantnú teóriu, no nemali časticu, s ktorou táto teória ráta. Higgsov bozón môže vzniknúť len pri zrážkach veľmi vysokých energií a tie je schopný dosiahnuť iba urýchľovač LHC.

Podľa štandardného modelu musia mať sprostredkovatelia energie (napr. fotóny, gluóny) nulovú hmotnosť. Modelom, pri ktorom sprostredkovatelia majú nulovú hmotnosť sa dali zodpovedať takmer všetky otázky atómovej a jadrovej fyziky. Nezodpovedanými zostali len otázky týkajúce sa niektorých rozpadov rádioaktívnych jadier. Spomínané rozpady sa podarilo vysvetliť až pomocou ďalších sprostredkovateľov, ktoré dostali mená W a Z bozóny. Lenže bol tu jeden problém. Pri dosadení do rovníc dávala teória štandardného modelu výsledky v úplnom rozpore s experimentmi. Aby rovnice teórie štandardného modelu boli v súlade s experimentmi, mali mať sprostredkovatelia nielenže malú, ale dokonca veľmi veľkú hmotnosť. To ale bolo v rozpore s tézou o nulovej hmotnosti sprostredkovateľov a s rovnicami, ktoré to predpokladali. To však znamenalo, že W a Z bozóny museli mať dve navzájom úplne nezlučiteľné vlastnosti – zároveň aj nulovú hmotnosť aj veľmi veľkú hmotnosť. Na vyriešenie tejto zdanlivo neriešiteľnej situácie, sa využil zaujímavý fakt, ktorý si všimol Peter Higgs. Rovnice budú „fungovať“, t.j. sprostredkovatelia budú mať nulovú hmotnosť a zároveň budú mať aj veľkú hmotnosť, ak sa bude rátať s tým, že ku nehmotným W a Z bozónom sa pridajú ešte ďalšie častice, ktoré im „dodajú“ hmotnosť. Podmienka nulovej hmotnosti „prestane“ byť v rovnicach zjavná, ale zároveň zostane v hre, vďaka čomu dávajú rovnice tejto teórie výsledky, ktoré sú v súlade s experimentmi. Ale na základe ďalších rovníc si W a Z bozóny vyžadovali prídanie minimálne štyroch takýchto častíc. Tri z nich nemajú ani meno a tá štvrtá je Higgsov bozón. Ako to opisuje Martin Mojžiš: „Asi stojí za zdôraznenie, že samotný Higgsov bozón nijakú hmotnosť W a Z bozónom nedodáva. On len akosi zostal na ocot po tom, čo hmotnosť W a Z bozónom dodali jeho traja kamaráti (ktorí sa, chudáci, nevolajú nijako).“ (Mojžiš 2017, str. 196). Higgsov bozón je dôležitý pre hmotnosti kvarkov, elektrónov a neutrín.

## 5 Budúcnosť LHC

Do roku 2025 sa plánuje zvýšiť výkon Veľkého hadrónového urýchľovača v CERN-e a tím desaťnásobne zvýšiť hustotu zrážok častíc. Zvýšenie výkonu LHC závisí od dvoch parametrov: od energie, ktorá sa udeľuje časticiam v urýchľovači a od počtu zrážok častíc. Oba parametre sú rovnako dôležité.

Energia LHC sa nedá zvýšiť nad 14 TeV (po odstávke sa podarilo zvýšiť energiu z 8 na súčasných 13 TeV), ale až 10-násobne sa dá zvýšiť tzv. luminozita. Ide o parameter úmerný počtu zrážok v definovanom časovom intervale. Tak vedci budú môcť hľadať nové ťažké častice, ktoré (ak existujú) síce vznikajú aj v doterajších zrážkach na súčasnom LHC, ale nie sú viditeľné pre ich malý počet zrážok a nedajú sa odlišiť od pozadia tvoreného známymi časticami. Zvýšenie luminozity umožní fyzikom teda detailnejšie študovať nové javy objavené na LHC ako napr. Higgsov bozón, keďže bude možné vytvoriť až 15 miliónov Higgsových bozónov za rok v porovnaní s 1,2 miliónmi v minulých rokoch.

Vysokoluminozitný LHC zvýši luminozitu faktorom 10, čo znamená desaťnásobne viac zrážok v budúcnosti než dodáva terajší LHC za rovnaký čas. Takto umožní presnejšie merania elementárnych častíc a pozorovanie zriedkavých procesov, ktoré sa vyskytujú pod súčasnou hranicou citlivosti LHC. S novým vylepšením posunie urýchľovač v CERN-e hranice ľudského poznania tým, že fyzikom umožní nájsť nové častice (ak existujú), ktoré štandardný model nepozná a možno vzniknú nové alebo upravené teórie častíc.

Už terajší LHC produkuje protónové zrážky pri najvyššej energii, aká sa kedy dosiahla na urýchľovači. Vysokoluminozitný LHC rozšíri potenciál pre objavy a premení LHC na stroj vhodný na presné merania, čo je ďalší krok v oblasti výskumu vysokých energií.

Vylepšenie LHC je náročné a spočíva vo vývoji viacerých prelomových technológií. Vyvíjajú sa úplne nové technológie pre magnety, optiku urýchľovača, supravodivé rádiovfrekvenčné dutiny a supravodivé spoje. Nové supravodivé magnety silne skonzentrujú zväzok lúčov a zvýši sa pravdepodobnosť zrážok. Nové supravodivé rádiovfrekvenčné dutiny, tzv. krabie dutiny, sa využijú na orientáciu zväzku pred zrážkou, aby sa tak predĺžila oblasť, v ktorej sa zväzky prekrývajú. Nové prenosové linky elektrickej energie, založené na vysokoteplotných supravodičoch, povedú rekordne vysoké prúdy až do 100 000 ampérov na vzdialenosť viac ako 100 metrov. Tieto inovácie nielenže zvýšia potenciál pre ďalšie objavy, ale poslúžia pre zdokonalenie budúcich urýchľovačov. Všetky tieto technológie sa vyvíjajú v laboratóriách členských štátov CERNu, Ruska, Japonska a USA a sú veľmi finančne náročné.

## Záver

Pomocou urýchľovača častíc môžeme zmerať vlastnosti základných stavebných kameňov hmoty, z ktorých je vesmír poskladaný. Tým, že sa zrážajú so stále väčšou a väčšou energiou, fyzici študujú ich charakteristiky a snažia sa v zrážkach vidieť nové vlastnosti, nové javy. Z tohto štúdia by potom mali nejakým spôsobom pochopiť, ako hmota vo vesmíre funguje, akými zákonmi sa riadi a ako je poskladané všetko, čo okolo seba vidíme. Cieľom je teda pochopiť zákony usporiadania a fungovania hmoty okolo nás

Avšak pri výstavbe LHC sa objavili znepokojenia, že urýchľovač môže spôsobiť jednu z niekoľkých teoretických katastrof, zničiť Zem, vytvoriť čiernu diery. Je prirodzené, že ľudia majú strach z neznámych vecí. Ale názor, že by sa mohli vytvoriť čierne diery, ktoré nás zrazu všetkých pohltnú je nesprávny. Takýchto zrážok, ktoré v CERNe namodelovali alebo umelo vytvorili, sa vo vesmíre okolo nás deje neustále veľmi veľa. Ak by nejaká hrozba existovala, už dávno by sme ju predsa museli v našom okolitom vesmíre vidieť. Zatiaľ vedci nezaznamenali, že by nejaké také javy nastali, takže nikto reálne neverí, že môžu nastať pri experimentoch v CERNe.

Zámerom CERNu je vedecký výskum a rozširovanie nášho poznania. Všetky zariadenia, ktoré sa tu používajú, sú komplikované a je nutné vyvíjať veľké množstvo technológií len na to, aby bolo možné detektory postaviť a merať to, čo je potrebné. Mnoho nových lekárskejších diagnostických prístrojov, napríklad CT, vzniklo akoby popri vývoji technológií pre detektory na meranie častíc. Mnoho iných technologických vylepšení, ktoré tu CERN dosiahol pri snahe vybudovať urýchľovač či detektory, sa dnes používa ďalej v priemysle, a podobné je to aj s výpočtovou technikou. Mnoho vecí z CERNu sa tiež preniesli do bežného života, stačí pripomenúť web, ktorý už používajú snád všetci.

Je ťažké vyjadriť, čo znamená nový poznatok. Niekedy to totiž znamená len to, že sa vylepšilo čosi, čo o svete už vieme. A niekedy ten nový poznatok zase môže o 20 rokov znamenať úplnú zmenu v technológii. Drobný poznatok o tom, ako sa atómy rozpadajú, nás priviedol k jadrovým elektrárnám a jadrovým bombám. V momente, keď sa poznatok objaví, je veľmi ťažké odhadnúť, čo bude znamenať v budúcnosti. V súčasnosti do LHC sa vkladajú veľké peniaze a v budúcnosti to môže priniesť veľa dobrého. Aj keď možno momentálne nevieme povedať presne čo.

## Zoznam použitej literatúry

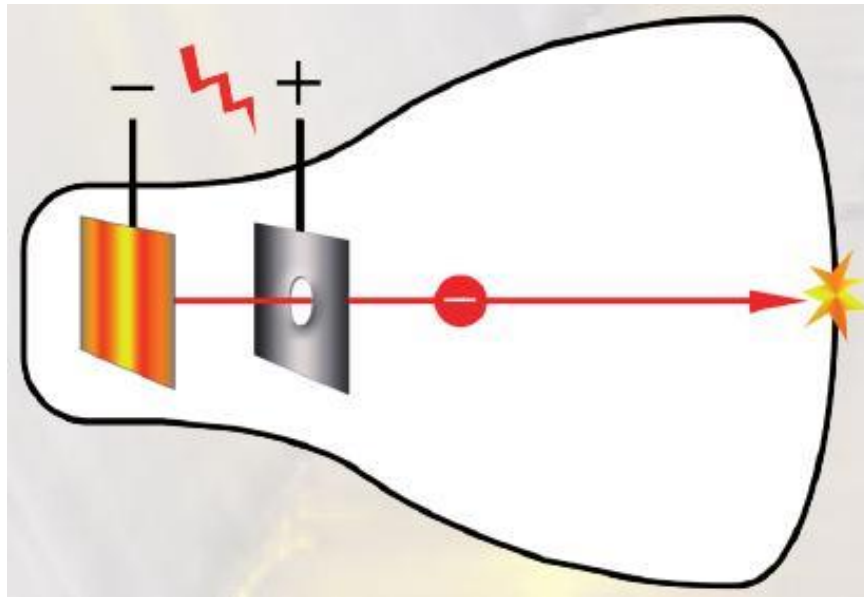
- [1]CABAN, Martin: *Kvantová fyzika*. Elist 2018. e-book
- [2]GAARDER, Jostein: *Sofiin svet*. Bratislava: SOFA, 1996. ISBN 8085752-13-1
- [3]HART-DAVIS, Adam: *Veda*. Bratislava: Ikar, 2011. ISBN 978-80-551-262-8
- [4]JACKSON, Tom: *Fyzika – 100 objavov, ktoré zmenili históriu*. Bratislava: Slovart, 2014. ISBN 978-80-556-1166-2
- [5]KAKU, Micho: *Fyzika nemožného*, Argo, Dokořán 2010. ISBN 978-80-2570-209-3
- [6]McPHEE, Isaac: *Fyzika bez (m)učení*. Praha: Grada 2012. ISBN 978-80-2474-124-6
- [7]MOJŽIŠ, Martin: *Štyri prsty tapíra*. Bratislava: W Press 2017. ISBN 978-80-8987-907-6
- [8]MOJŽIŠ, Martin: *Tri hlavy draka*. Bratislava: W Press 2014. ISBN 978-80-971196-4-5
- [9]TARÁBEK, Pavol: *Zmaturuj z fyziky*. Bratislava: Didaktis 2015. ISBN 978-80-8166-011-5
- [10][sk.wikipedia.org/wiki/Veľký\\_hadrónový\\_urýchľovač](https://sk.wikipedia.org/wiki/Veľký_hadrónový_urýchľovač)
- [11]<https://tech.sme.sk/c/7735465/cern-spustil-velky-urychlovac-vedci-mozu-riesit-dalsie-zahady.html>
- [12]<https://home.cern/about/accelerators>
- [13]<http://www.mladyvedec.sk/archiv/archiv-siesteho-cisla/128-urychlovace.html>
- [14]"Antihmota." *Wikipédia, Slobodná encyklopédia*. Dostupné na internete: <<https://sk.wikipedia.org/wiki/Antihmota>>.
- [15]"LHC." *Wikipédia, Slobodná encyklopédia*. Dostupné na internete: <[https://sk.wikipedia.org/wiki/Ve%C4%BEk%C3%BD\\_hadr%C3%B3nov%C3%BD\\_ur%C3%BDch%C4%BEova%C4%8D](https://sk.wikipedia.org/wiki/Ve%C4%BEk%C3%BD_hadr%C3%B3nov%C3%BD_ur%C3%BDch%C4%BEova%C4%8D)>.
- [16]„Hmota.“ *Wikipédia, Slobodná encyklopédia*. Dostupné na internete: <[https://sk.wikipedia.org/wiki/Hmota\\_\(fyzika\)](https://sk.wikipedia.org/wiki/Hmota_(fyzika))>.

## **Prílohy**

Zoznam príloh ročníkovej práce:

- Príloha A – Urýchľovače a princíp fungovania
- Príloha B – LHC
- Príloha C – Štandardný model

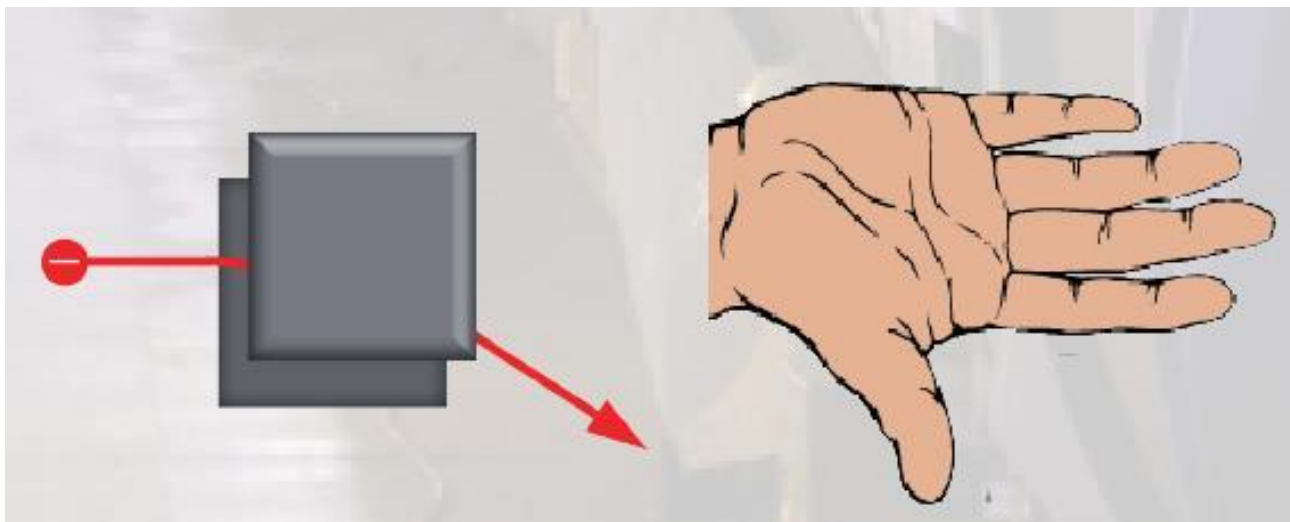
## Príloha A – Urýchľovače a princíp fungovania urýchľovačov



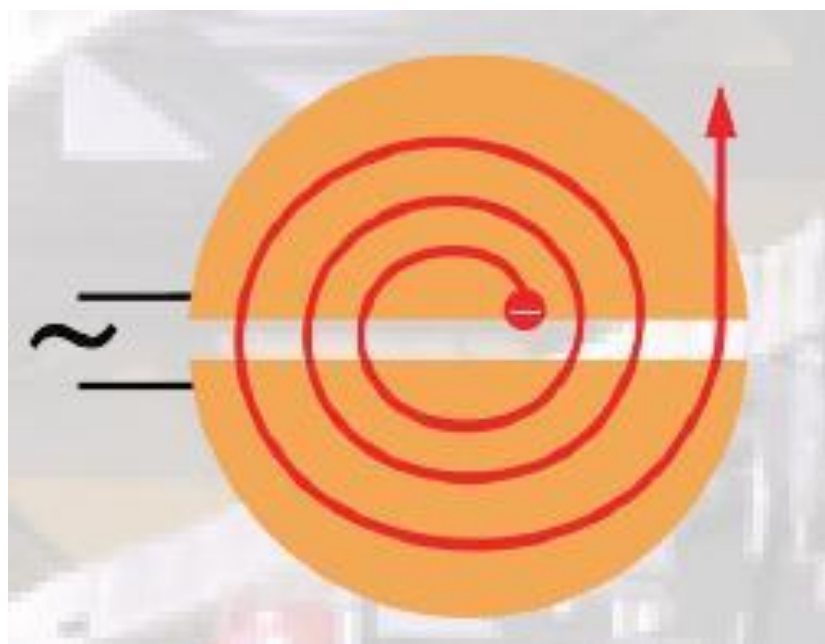
Obrázok č. 1: Dopad elektrónu na CRT obrazovku (katódu)



Obrázok č. 2: Letecká fotografia stanfordského lineárneho urýchľovača SLAC

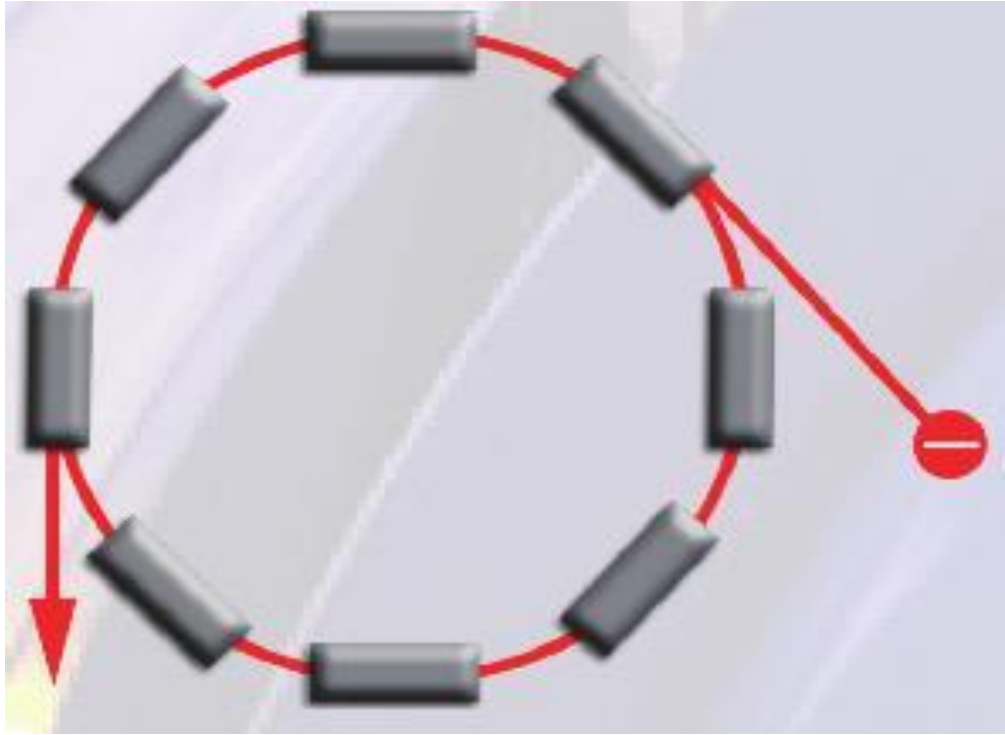


Obrázok č. 3: Trajektória elektrónu v poli medzi dvoma magnetmi



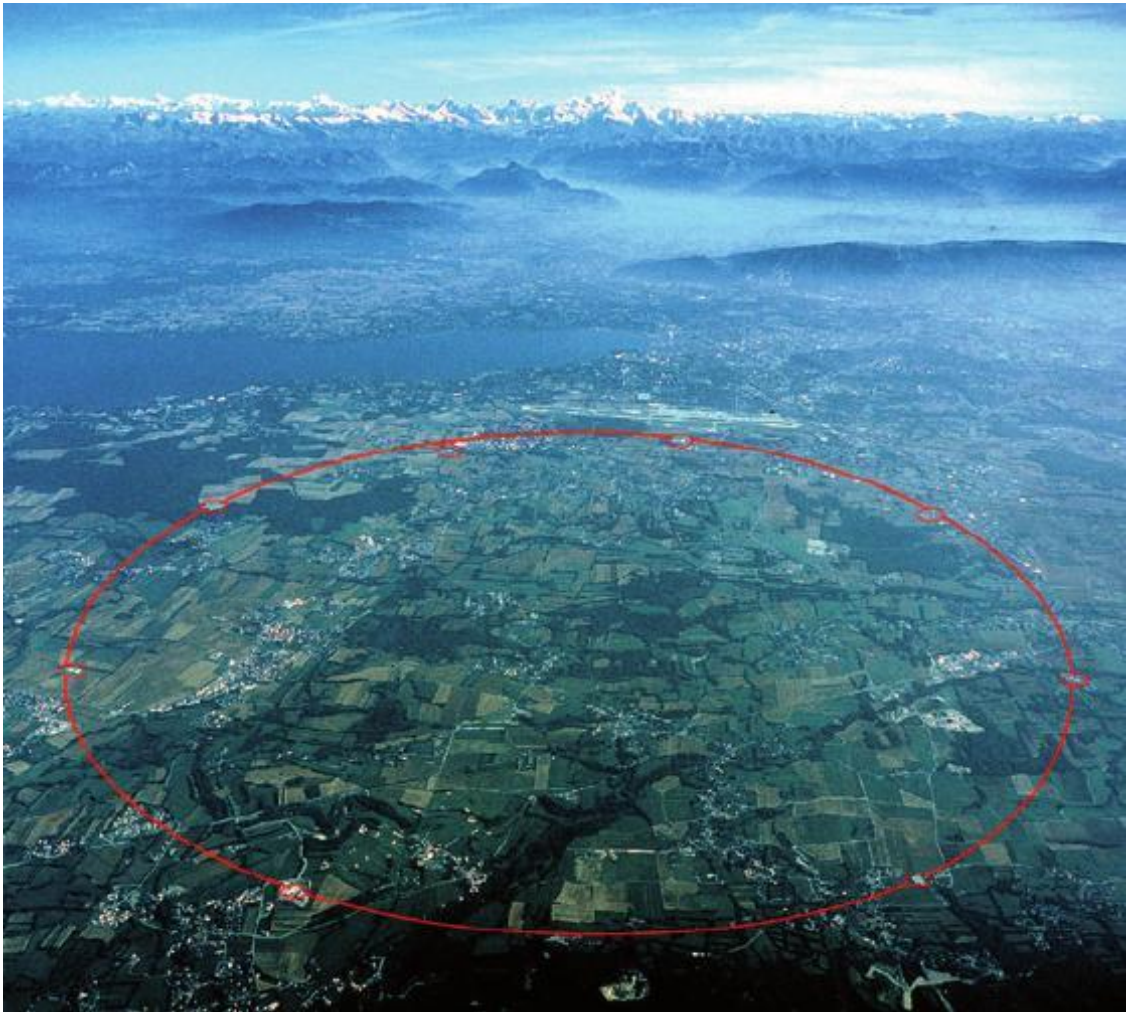
Obrázok č. 4: Pohyb elektrónu po špirále



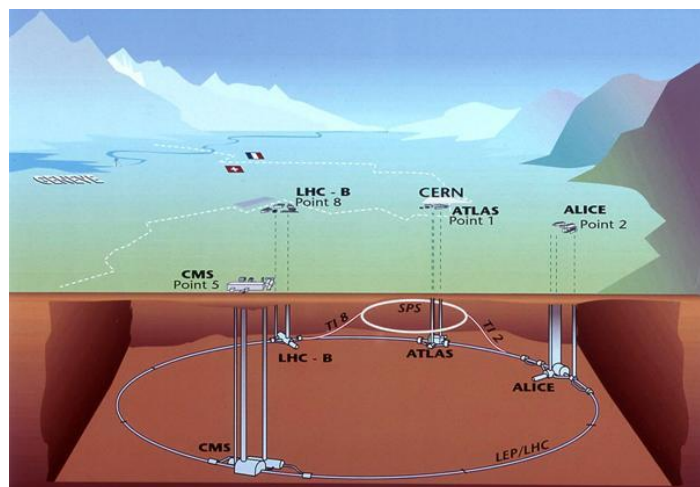


Obrázok č. 5: Schéma synchrotrónu s ôsmimi magnetmi

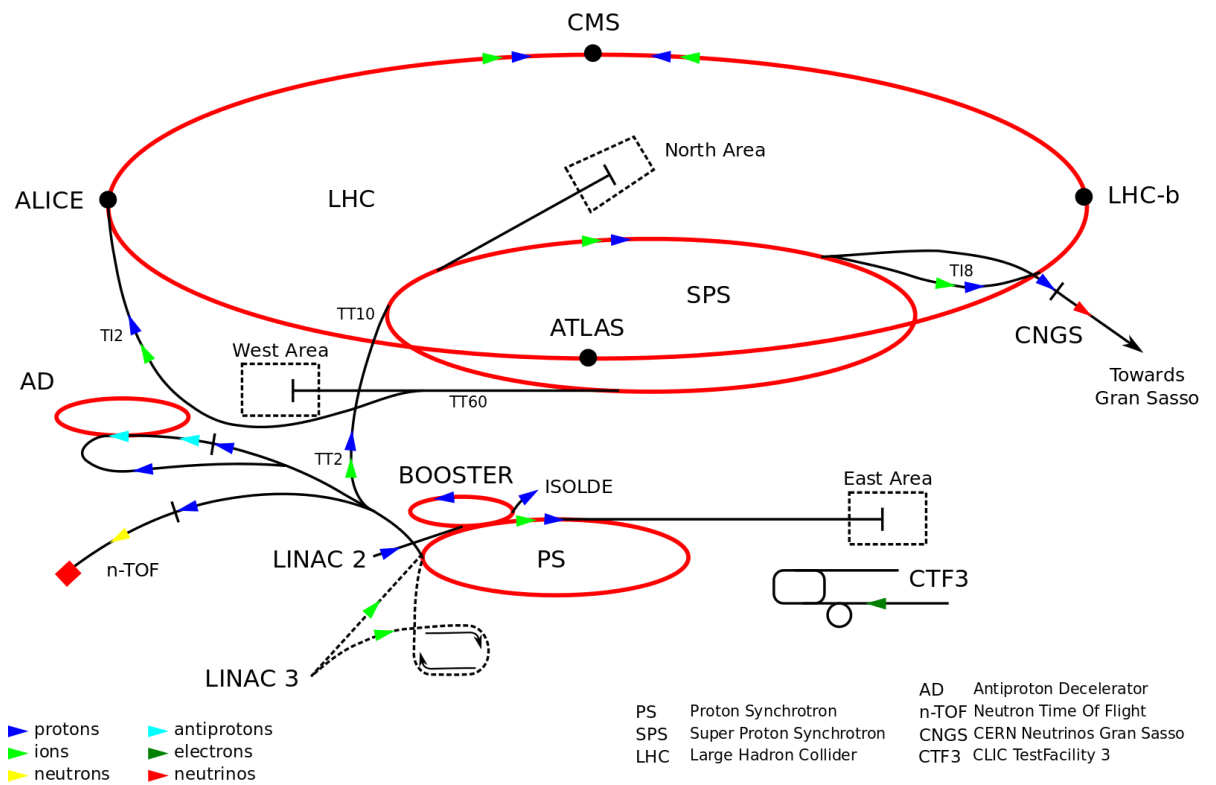
## Príloha B – LHC



Obrázok č. 6: Veľký tunel LHC vyznačený na leteckej fotografii



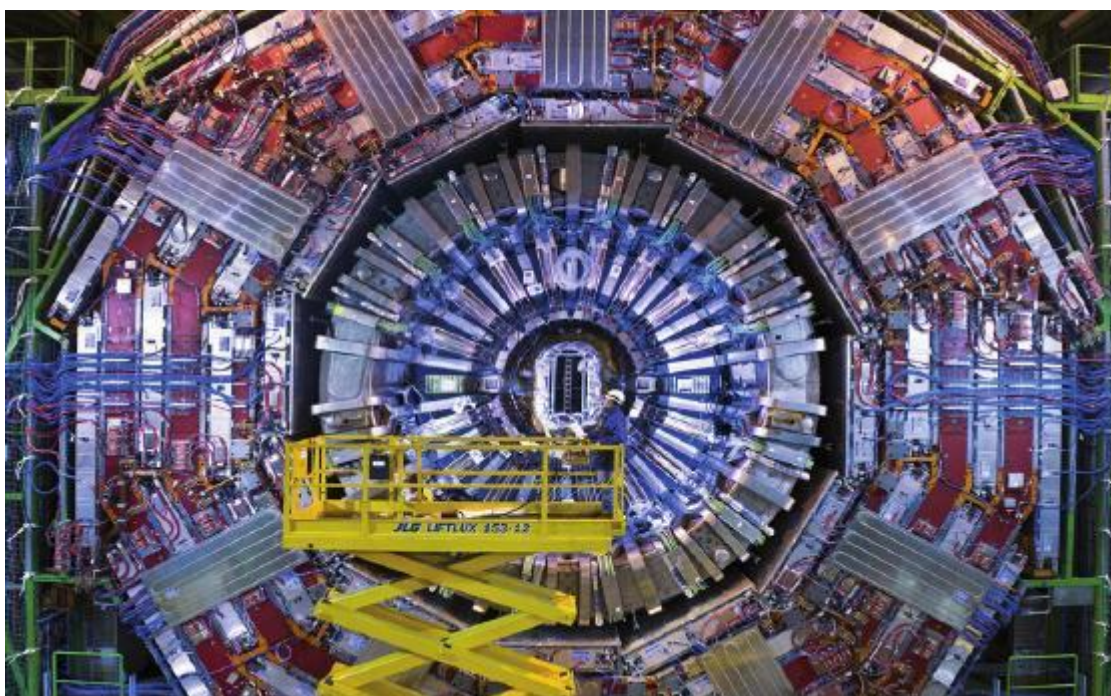
Obrázok č. 7: Rozmiestnenie detektorov v LHC



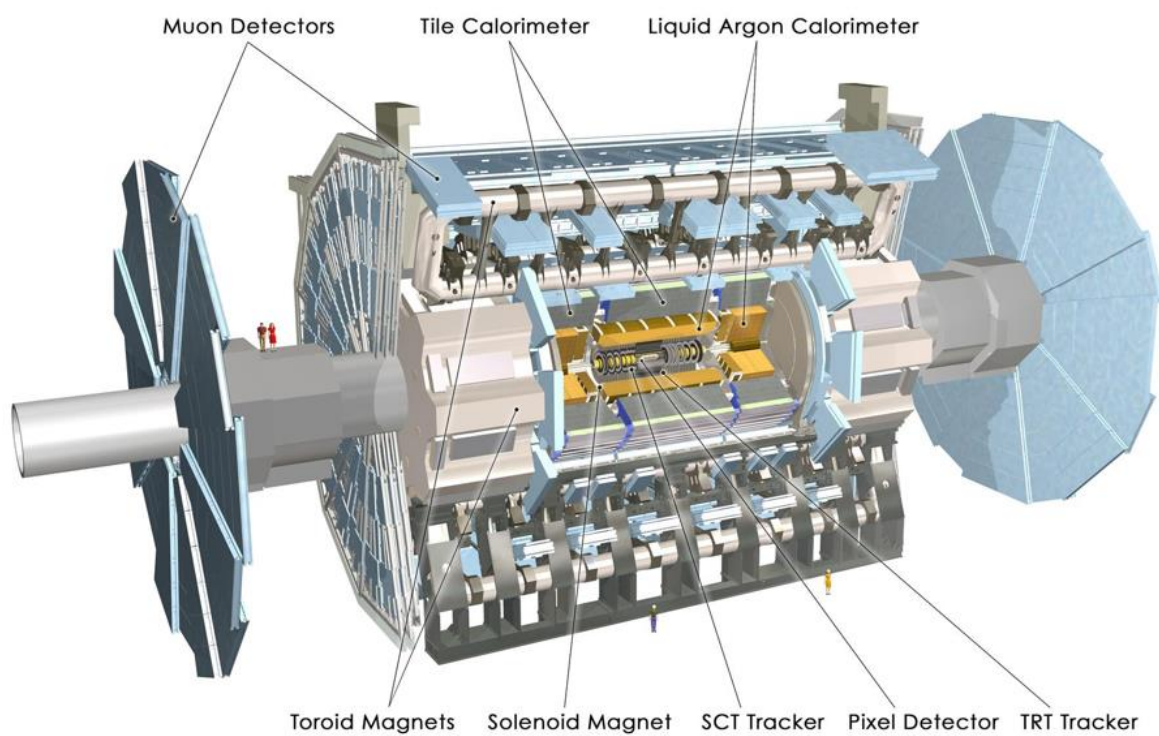
Obrázok č. 8: Štruktúra urýchľovačov a detektorov v CERNe



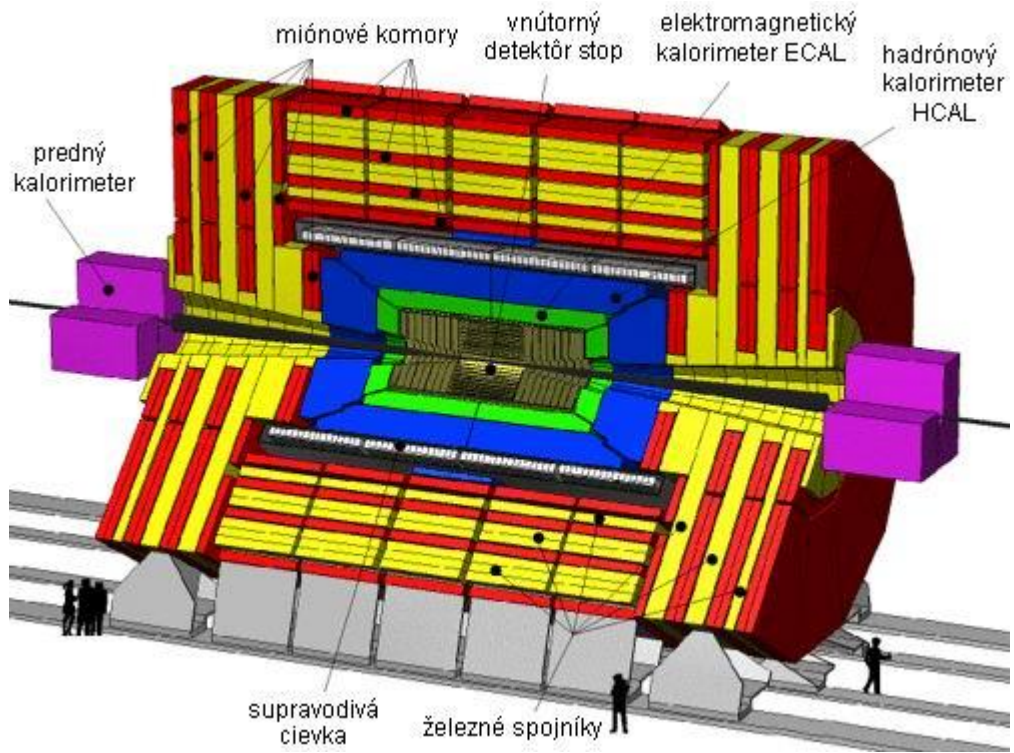
Obrázok č. 9: Magnety uložené v tuneli (foto: CERN)



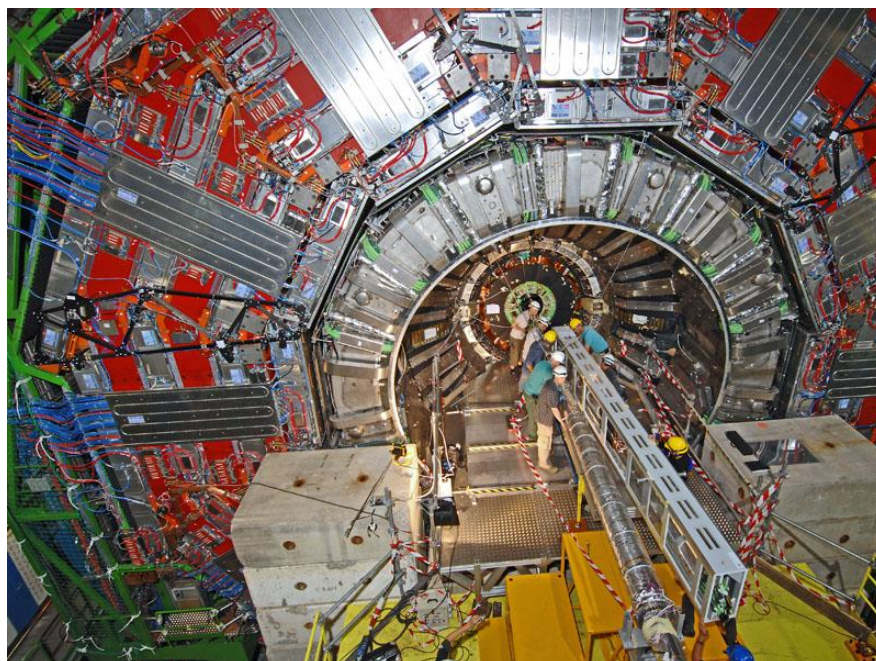
Obrázok č. 10: Detektor ATLAS v LHC (foto: CERN)



Obrázok č. 11: Detektor ATLAS



Obrázok č. 12 : Detektor CMS

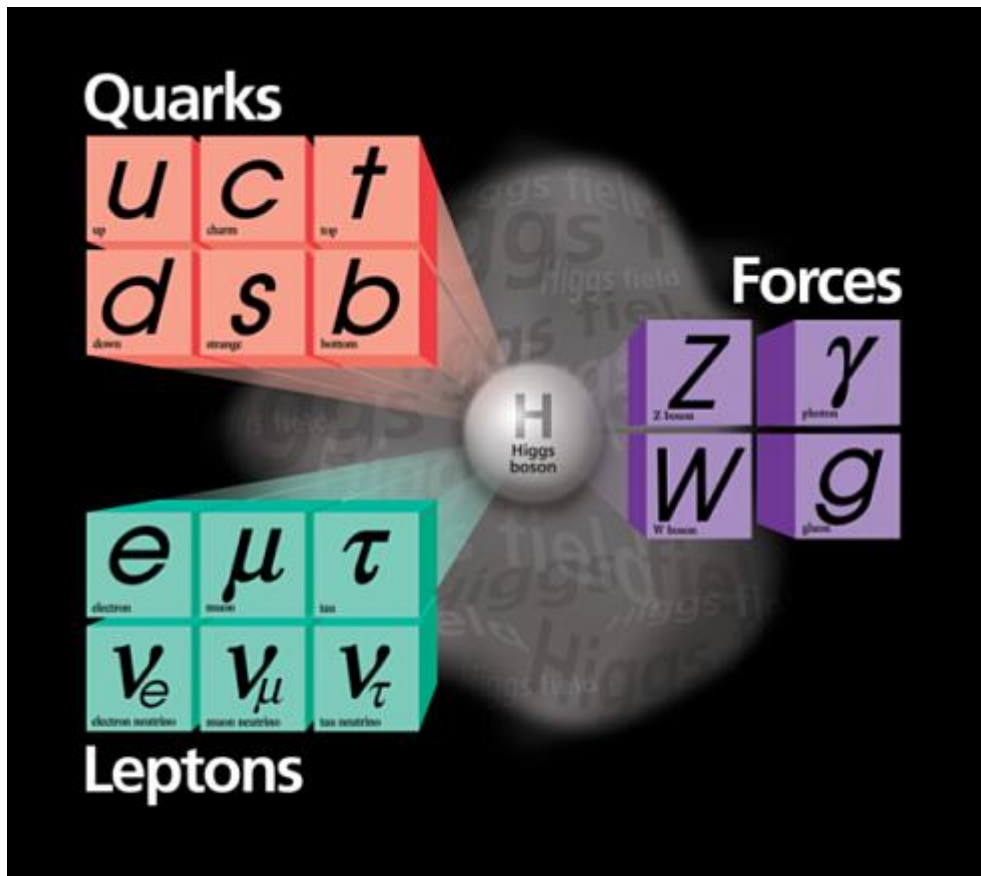


Obrázok č. 13 : Detektor CMS (foto Cern)

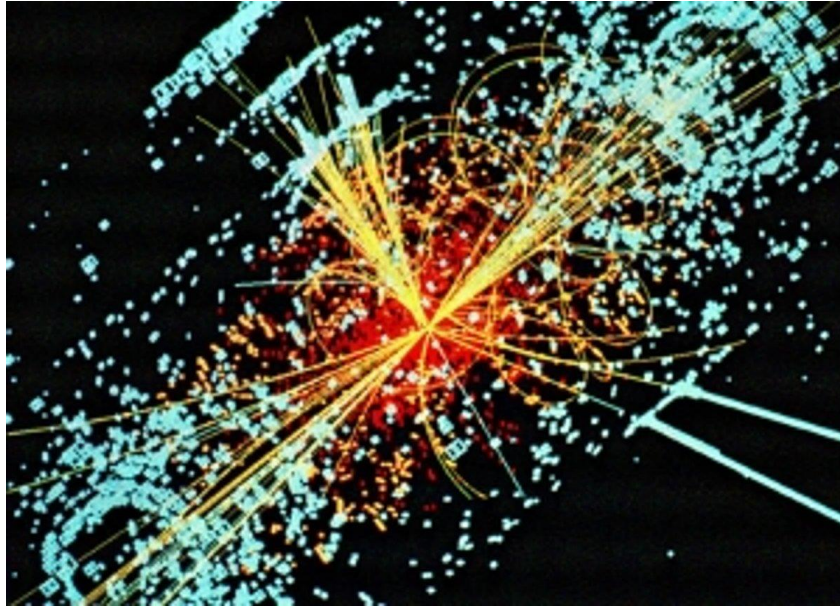
## Príloha C – štandardný model

mass →	≈2.3 MeV/c <sup>2</sup>	≈1.275 GeV/c <sup>2</sup>	≈173.07 GeV/c <sup>2</sup>	0	≈126 GeV/c <sup>2</sup>
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>g</b> gluon	<b>H</b> Higgs boson
<b>QUARKS</b>	≈4.8 MeV/c <sup>2</sup>	≈95 MeV/c <sup>2</sup>	≈4.18 GeV/c <sup>2</sup>	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>γ</b> photon	
	0.511 MeV/c <sup>2</sup>	105.7 MeV/c <sup>2</sup>	1.777 GeV/c <sup>2</sup>	91.2 GeV/c <sup>2</sup>	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	<b>e</b> electron	<b>μ</b> muon	<b>τ</b> tau	<b>Z</b> Z boson	
<b>LEPTONS</b>	<2.2 eV/c <sup>2</sup>	<0.17 MeV/c <sup>2</sup>	<15.5 MeV/c <sup>2</sup>	80.4 GeV/c <sup>2</sup>	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	<b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino	<b>W</b> W boson	
					<b>GAUGE BOSONS</b>

Obrázok č. 14: Elementárne častice štandardného modelu



Obrázok č. 15: Miesto Higgsovho bozónu v štandardnom modeli



Obrázok č. 16: Detektor zaznamenal Higgsov bozón