

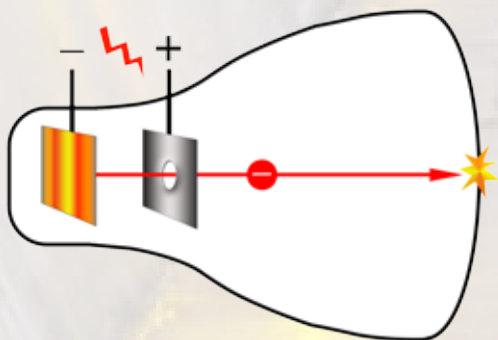
# URÝCHĽOVAČE ČASTÍC A VÝZVY

Cieľom urýchľovačov je udeliť častici vysokú rýchlosť a potom vyvolať jej zrážku 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. Prvé urýchľovače boli postavené na experimentálne účely a stále umožňujú spoznávať mikrosvet a prinášať nové objavy. Zároveň majú širokú aplikáciu. Keď sa urýchlený elektrón zrazí s kovovou platničkou, vyžiari sa fotón s vysokou energiou. Takéto fotóny tvoria známe röntgenové žiarenie s využitím v medicíne. Alebo keď urýchlený ión narazí do bunky, zničí ju. Takto sa odstraňujú rakovinové nádorové bunky rádioterapiou.

Vedci bojujú s výzvou obrovských urýchľovačov dosahujúcich vysoké rýchlosti. Čím silnejšiu zrážku častíc vyvoláme, tým k prekvapivejším záverom prichádzame. Zrážkami s vysokou energiou dokážeme simulovať procesy prebiehajúce krátko po veľkom tresku, a tak pochopiť vznik častíc a hmoty. Povieme si o základných typoch urýchľovačov a opíšeme ich princíp. Potom sa budeme podrobne venovať súčasnému fenoménu LHC pri Ženeve a najväčším nevyriešeným záhadám, ktoré môžu byť čoskoro rozlúsknuté.

## Urýchľovač vo vašej obývačke

Malý urýchľovač častíc nájdeme aj v domácnosti – je ním klasický televízor alebo CRT monitor. Elektróny sú urýchľované elektrickým poľom medzi dvoma nabitými elektródami (kovovými platničkami) s vysokým napätím. Elektrón je ako záporne nabitá častica vyrazený z rozžeravenej katódy a je unášaný smerom k anóde. Takto vystrelený elektrón dopadá na obrazovku pokrytú fosforeskujúcou vrstvou a spôsobí malý záblesk, ktorý vnímame ako jeden farebný bod. Na rovnakom princípe pracujú všetky urýchľovače: nabitým časticiam udeľujú vysokú rýchlosť pomocou elektrického poľa.



Televízor je príkladom *lineárneho urýchľovača*, pretože častica dorazí do cieľa len jedným preletom trubicou. Ak chceme dosiahnuť vyššiu rýchlosť, potrebujeme viac elektród za sebou a dlhšiu rozbehovú dráhu. Najväčší lineárny urýchľovač meria až 3,2 km a používa sa na experimenty na Stanfordskej univerzite v USA.



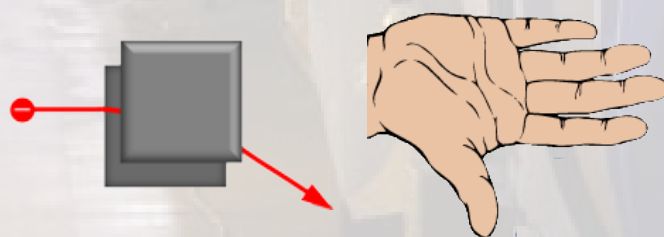
Letecká fotografia stanfordského lineárneho urýchľovača SLAC

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. Stanfordský urýchľovač umožňuje dosiahnuť energiu 50 GeV. V mikrosвете platí, že čím väčšiu energiu sa podarí dosiahnuť, tým viac sa posúvame k neprebádaným oblastiam. A tak sa stavba gigantických urýchľovačov stala výzvou pre experimentálnych fyzikov.

## Cyklotrón a synchrotrón

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 pracuje náš televízor: magnety postupne vychýľujú 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: 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.



Trajektória elektrónu v poli medzi dvoma magnetmi

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 polotočke 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.



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 priamočiara 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. Ani tu sme sa nevyhli výzve zostrojiť urýchľovač gigantických rozmerov. Kým lineárny urýchľovač dlhý niekoľko kilometrov nie je problém postaviť, cyklotrón v tvare kruhu s rozlohou mesta je nemysliteľný.

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. 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.

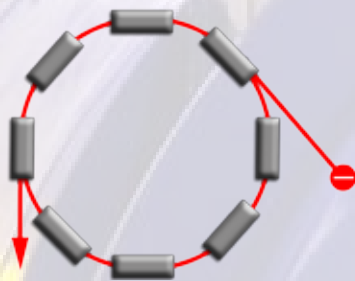


Schéma synchrotrónu s ôsmimi magnetmi

## LHC

*Large Hadron Collider* alebo v preklade *Veľký hadrónový zrážac* je synchrotrón (často sa nesprávne hovorí o cyklotróne), ktorý mal byť spustený do prevádzky 10. septembra tohto roku. Keďže nečakane zlyhal transformátor dodávajúci elektrickú energiu pre chladiaci systém, spustenie prevádzky sa odložilo na 18. septembra. 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 kvapalné hélium. Teraz je potrebné vymeniť magnet a preskúmať príčinu problému. Keďže magnety sú ochladené na teplotu  $-271,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , treba ich pomaly ohriať na izbovú teplotu. Prvých experimentov sa dočkáme pravdepodobne na jar 2009.

LHC 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. Pô-

vodne táto oblasť slúžila pre synchrotrón LEP (Veľký elektrón-pozitrónový zrážac) postavený v roku 1988 a dnes leží v pôvodnom tuneli 1624 magnetov LHC, ktoré dokážu usmerniť častice s presnosťou na hrúbku ľudského vlasu.



Veľký tunel LHC vyznačený na leteckej fotografii



Magnety uložené v tuneli (foto: CERN)

Na rozdiel od elektrónových urýchľovačov, v LHC sa budú urýchľovať 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 desaťtisíckrát 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 budú naraz prúdiť v opačných smeroch a snahou je vyvolať ich vzájomnú zrážku. Zrážky sa budú pozorovať šiestimi detektormi na okruhu a každý z nich je zameraný na špecifický výskum.

Pri zrážkach iónov olova by sme mali vidieť prvotnú hmotu, takzvanú kvarkovo-gluónovú plazmu, ktorá vznikla krátko po veľkom tresku. Taktiež sa možno priblížime k odpovedi na otázku o hmote a antihmote. Po veľkom tresku malo vzniknúť približne rovnako veľa hmoty a antihmoty. Keď sa stretli, zničili



Jeden z detektorov LHC (foto: CERN)

sa a premenili na žiarenie. Keďže sme zložení z hmoty, nejaká hmota vo vesmíre ostala, čo znamená, že sa nemohla všetka zničť s antihmotou. Otázkou zostáva, prečo je narušená táto zdánlivo dokonalá symetria.

Fyzici veria, že všetky sily, ako napríklad gravitácia alebo elektromagnetizmus, sú len rozdielnym prejavom jednej veľkej zjednotenej sily - tak, ako bola v minulosti zjednotená elektrina a magnetizmus. Uvidíme, či je to pravda. Moderné *teórie strún* snažia sa objasniť existenciu hmoty ako takej pracujú s viac-rozmerným priestorom. Skutočne obsahuje náš svet okrem troch viditeľných rozmerov ďalšie, ktoré sú pred našim zrakom ukryté? Vrcholom experimentov má byť častica s menom *Higgsov bozón*, ktorá je známa aj pod poetickou prezývku „božská častica“. LHC bude po nej intenzívne pátrať.

## „Božská častica“

Higgsov bozón je akýmsi posledným mohykánom odolávajúcim doterajším snahám o dolapenie. Je to častica, ktorá je teoreticky predpovedaná v *standardnom modeli* – takmer ucelenej teórii opisujúcej prírodné sily s výnimkou gravitácie. Bez nej by neexistovala ani taká základná vlastnosť sveta ako je hmotnosť. Dodnes však nebola objavená, a preto je 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. Odvtedy sme sa v opise sveta pohli o míľový krok ďalej a opäť máme podobný problém. Elegantnú teóriu a časticu nikde. Higgsov bozón môže vzniknúť len pri zrážkach veľmi vysokých energií a tie je schopný dosiahnuť práve urýchľovač LHC. Vedci sa zhodujú v tom, že objav ich neprekvapí, ale len utvrdí v správnosti doterajších pochodov v chápaní sveta. O to viac ich prekvapí, ak vôbec neexistuje a ukáže sa, že sa v histórii fyziky treba vrátiť späť, zahrnúť súčasné učebnice a od istého bodu začať bádať znovu. Existujú dokonca takí, ktorí na tento scenár uzavreli stávkku.

## Záhadná tmavá hmota

Čo je tmavá hmota, nevie nikto. S istotou vieme povedať len to, že buď existuje, alebo sme v chápaní gravitácie a nebodaj v celej klasickej fyzike celkom vedľa. Príbeh začal v šesťdesiatych

rokoch minulého storočia, keď americká astronómka Vera Rubinová spozorovala, že väčšina hviezd v špirálových galaxiách obieha okolo stredu galaxie približne rovnakou rýchlosťou. Táto rýchlosť jednoznačne odporovala výsledkom Newtonovej teórie gravitácie, pretože odhadovaná hmotnosť galaxie by nestačila na udržanie vzdialenejších hviezd a galaxia by sa rozpadla. Keď teória nesedí s experimentom v jednej galaxii, treba sa obzrieť, čím je daná galaxia výnimočná. Ale keď ide o všetky pozorované galaxie, problém bude inde. Ponúkali sa dve možnosti. Úplne sa vzdať Newtonovej teórie gravitácie na galaktickej úrovni (v takých veľkých rozmeroch nie je potrebné aplikovať Einsteinovu teóriu relativity), alebo pripustiť, že galaxia sa neskladá iba z hviezd a prachu, ale je tam ešte niečo, čo zatiaľ nevidíme. Prvá možnosť znie hrozivo a druhá mysticky. Preto sa stretla mladá astronómka s nepochopením publika a kvôli tomu zanechala vedu. V nasledujúcich desaťročiach čoraz viac pozorovaní potvrdilo legendárne slová Nielsa Bohra: „Táto teória vyzerá byť dostatočne šialená na to, aby mohla byť správna.“

Počítačové modely dokazujú, že galaxie sa skutočne správajú tak, akoby v nich bola nejaká neviditeľná hmota. Hmota, ktorá nevníma okolité svetlo a svetlo nevníma ju, a preto ju nemôžeme vidieť. Ak tmavá hmota existuje a je zložená z častíc, LHC umožní tieto častice nájsť. Na základe pozorovania poznáme vlastnosti hypotetických častíc, a teda približne vieme, čo hľadať (alebo skôr vieme, čo nemôže byť vhodným adeptom). Podľa odhadov tmavá hmota tvorí až 23 % vesmíru. Ďalších 73 % tvorí *tmavá energia* spôsobujúca jeho zrýchlené rozpínanie. O jej pôvode však nevieme vôbec nič.



## Čierne diery a obavy

Čierna diera vznikne, keď hmota skolabuje do takých malých rozmerov, že od istej vzdialenosti z nej neunikne ani svetlo. Každá častica, ktorá spadne do čiernej diery, uviazne dnu a stane sa jej súčasťou. Hmotnosť čiernej diery takto narastá, kým nevtiahne všetko v dosahu. Kritici argumentujú, že pri takých vysokoenergetických zrážkach, ktoré sa odohrajú v LHC, môžu vzniknúť mikroskopické čierne diery, ktoré sa môžu postupne spojiť a rozrásť v dostatočne ťažkú čiernu dieru, aby mohla pohltiť Zem. Hoci štandardný model nepripúšťa vznik čiernych dier pri energii zrážok, aké prebehnú v urýchľovači, existuje možnosť, že vzniknú v dodatočných neviditeľných rozmeroch priestoru.

Podľa výpočtov mikroskopické čierne diery môžu vznikáť v ďalších rozmeroch rýchlosťou približne jedna za sekundu. Ich hmotnosť by bola zrejme na úrovni hmotnosti mikročastíc. Nehrozí teda, že by sa náhle spojili v jednu ťažkú deštruktívnu čiernu dieru. Podľa predpovede Stephena Hawkinga by sa mala každá mikroskopická čierna diera vypariť v zlomku sekundy a premeniť na Hawkingovo žiarenie. Keďže v mikrosвете nič nie je čiernobiele, kozmológ Martin Rees si dal tú prácu a vypočítal hornú hranicu pravdepodobnosti, s akou by mohla vzniknúť katastrofická čierna diera: jedna k päťdesiatim miliónom. Každopádne, vďaka magickým čiernym dieram sa projekt dostal do pozornosti médií a teší sa záujmu širokej verejnosti.

Andrej Osuský