



CERN oslavuje 60 rokov svojho založenia

Marek Bombara¹, Ústav fyzikálnych vied, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach

Skratka CERN znamená „Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire“ (Európsky výbor pre jadrový výskum). Pôvodne išlo o výbor vytvorený v roku 1952 za účelom založenia svetovej fyzikálnej organizácie v Európe. Výsledkom práce výboru bolo založenie laboratória s rovnomeným názvom v blízkosti Ženevy 29. septembra 1954. Výskumné laboratórium CERN slávi v tomto roku 60-te výročie založenia. Okrúhle výročia nám ponúkajú príležitosť na bilancovanie. V tomto článku sa pokúsime uviesť najdôležitejšie mílniky v histórii laboratória (pôjde o subjektívny výber), ktoré prispeli k základnému fyzikálnemu výskumu, alebo z ktorých má ľudská spoločnosť priamy úžitok.

Základný fyzikálny výskum v CERN

Aby sme vedeli oceniť prínos laboratória k svetovej vede, pripomeňme si v krátkosti základné pojmy z fyziky mikrosveta. Z učebníc fyziky vieme, že hmota okolo nás sa skladá z atómov. Vezmime si najjednoduchší atóm – atóm vodíka: ten sa skladá z jedného elektrónu (atómový obal) a jedného protónu (atómové jadro). O štruktúre elektrónu nevieme nič, na základe dnešných experimentov sa nám javí ako bezštruktúrny, resp. elementárny. O protóne však na základe experimentov vieme, že má vnútornú štruktúru a skladá sa z tzv. kvarkov. Elektrón zase patrí do skupiny tzv. leptónov. Kvarky a leptóny sú v dnešnej dobe považované za naozaj bezštruktúrne alebo naozaj elementárne častice.

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

Tab. 1 – tabuľka elementárnych častíc; zdroj: http://en.wikipedia.org/wiki/Elementary_particle

V tabuľke 1 vidíme prehľad častíc, ktoré v súčasnej dobe považujeme za elementárne. Fialovou farbou sú zobrazené kvarky – tie sú charakteristické tým, že sú nosičmi nábojov všetkých troch interakcií, ktoré vieme popísať vo svete elementárnych častíc: silnej (drží pokope atómové jadro), elektromagnetickej (vďaka nej existujú atómy a molekuly) a slabej (zodpovedná za istý typ rádioaktívneho rozpadu). Častice označené zelenou farbou sú leptóny, tie sa líšia od kvarkov tým, že nedokážu interagovať prostredníctvom silnej interakcie. Kvarky a leptóny sa niekedy označujú ako „častice hmoty“. V červenom stĺpci máme tzv. prenášače interakcií. Sú to častice, ktoré sprostredkujú interakciu medzi časticami hmoty. V žltom štvorčeku je novoobjavený Higgsov bozón, ktorý sprostredkúva interakciu inak ako prenášače (preto je označený inou farbou).

¹ marek.bombara@upjs.sk



Časticová fyzika

Elementárne častice popísané v tabuľke 1 sú najmenšie čiastočky hmoty, aké v súčasnosti poznáme. Prístroje, ktoré skúmajú najmenšie čiastočky sa nazývajú urýchľovače. V procese urýchľovania získavajú častice (zvyčajne protóny, elektróny alebo atómové jadrá) obrovskú kinetickú energiu, ktorá sa neskôr v zrážkach s ďalšími podobnými časticami môže využiť na tvorbu nových elementárnych častíc. V CERN-e je urýchľovačov hneď niekoľko a každý sa spája s určitým fyzikálnym programom.

PS

Prvých 30 rokov sa v CERN-e nieslo v znamení budovania infraštruktúry a časticovej fyziky na urýchľovači PS (Proton Synchrotron) a neskôr aj SPS (Super Proton Synchrotron). Za zmienku stoja dva zaujímavé objavy spojené s urýchľovačom PS: objav prvého antijadra (antideutérium) v roku 1963 a pozorovanie tzv. neutrálnych prúdov (interakcie prenášané Z^0 bozónom) v roku 1973. Za teoretický príspevok k elektroslabej interakcii, s ktorou neutrálné prúdy hlboko súvisia, dostal Nobelovu cenu M. Veltman, ktorý svoju prácu rozvinul práve v CERN-e.

SPS

Prvý zásadný príspevok do fyziky elementárnych častíc sa podaril v roku 1983, keď sa na urýchľovači SPS v zrážkach protónov s antiprotónmi podarilo objaviť tzv. intermediárne bozóny W a Z (viď tabuľka 1) známe ako prenášače slabej interakcie. Za tento objav bola neskôr udelená Nobelova cena C. Rubbioví a S. van der Meerovi.

Na SPS počas 90-tych rokov bežal fyzikálny program so zrážkami ťažkých iónov, zameraný na objav a štúdium nového stavu hmoty, tzv. kvarkovo-gluónovej plazmy. Ide o stav hmoty, v ktorom sa nachádzal vesmír tesne po Veľkom tresku, keď ešte neexistovali atómové jadrá. V roku 2000 CERN vyhlásil objav nového stavu hmoty svojimi vlastnosťami veľmi podobnou teoreticky predpovedanej kvarkovo-gluónovej plazme. Ako podklad pre toto vyhlásenie slúžili výsledky zo siedmich experimentov realizovaných na SPS.

LEP

Pár desiatok intermediárnych bozónov stačilo pozorovať, aby sa dokázala ich existencia, na štúdium ich vlastností však bolo potrebné postaviť „továreň na ich výrobu“. Objav bozónov si „vynútil“ postavenie ďalšieho obrieho urýchľovača – LEP (Large Electron–Positron Collider), na ktorom bolo registrovaných okolo 17 miliónov bozónov Z, čo stačilo na dostatočne presné určenie vlastností tejto častice. Z jej vlastností taktiež vyplynul ďalší veľmi zaujímavý objav – elementárne častice by mali existovať práve v troch generáciách (t.j. v tabuľke 1 by už nemal pribudnúť štvrtý stĺpec s kvarkami a leptónmi). LEP bol v prevádzke do roku 2000, potom sa tunel, v ktorom bol uložený, použil na umiestnenie ďalšieho superurýchľovača – LHC (Large Hadron Collider).

LHC

V novom tisícročí začala éra LHC (Large Hadron Collider – Veľký hadrónový zrážač). Ide o najväčší urýchľovač na svete, s obvodom 27 km a bezprecedentnou energiou zrážky dvoch protónov 8 TeV (stav k júnu 2014). Jeho fyzikálny program je veľmi bohatý a participuje na ňom 7 experimentov. Otázky, na ktoré sa snaží zrážač odpovedať, sú veľmi zaujímavé:

- Odkiaľ pochádza hmotnosť?
- Prečo je náboj protónu rovnako veľký a s opačným znamienkom ako náboj elektrónu?
- Existujú nové stavy hmoty pri extrémne vysokých teplotách a hustotách?
- Majú kvarky a leptóny vnútornú štruktúru, alebo sú naozaj elementárne?
- Prečo je vo vesmíre viac hmoty ako antihmoty?
- Aká je povaha záhadnej tmavej hmoty, ktorá tvorí 80 % všetkej hmoty vo vesmíre?

Tento zrážač funguje tak, že urýchli oproti sebe protóny (jadrá vodíka) a tie sa vo vzájomnej zrážke rozbijú. V tejto zrážke môžu vzniknúť nové častice. Prelomový objav sa už na LHC uskutočnil. V júli 2012 oznámil CERN



objav novej častice, ktorá je svojimi vlastnosťami podobná dlho predpovedanému Higgsovmu bozónu. Po nabratí ďalších dát je vysoko pravdepodobné, že to, čo bolo objavené na LHC, je naozaj Higgsov bozón (obr. 1).

Antihmota

Tabuľka 1 obsahuje len časť elementárnych častíc. V skutočnosti všetky častice hmoty (kvarky a leptóny) majú v prírode svoje náprotivky, ktoré majú niektoré vlastnosti rovnaké (napr. hmotnosť), a niektoré zase opačné (napr. elektrický náboj). Tak ako častice hmoty, aj častice antihmoty môžu vytvárať zložitejšie systémy ako atómy alebo molekuly.

Na výskum antihmoty sa v CERN nepoužíva urýchľovač, ako je to v prípade elementárnych častíc, ale spomaľovač, ktorý spomaľuje antiprotony, aby sa mohli viazať s pozitronmi (antičastice elektrónu) a aby takto mohli vzniknúť antiatómy. Experimenty študujúce antihmotu (AEGIS, ALPHA, ATRAP, ASACUSA) študujú interakciu hmoty s antihmotou, porovnávajú vlastnosti antiatómov a atómov alebo skúmajú gravitačné pôsobenie na antiatómy.

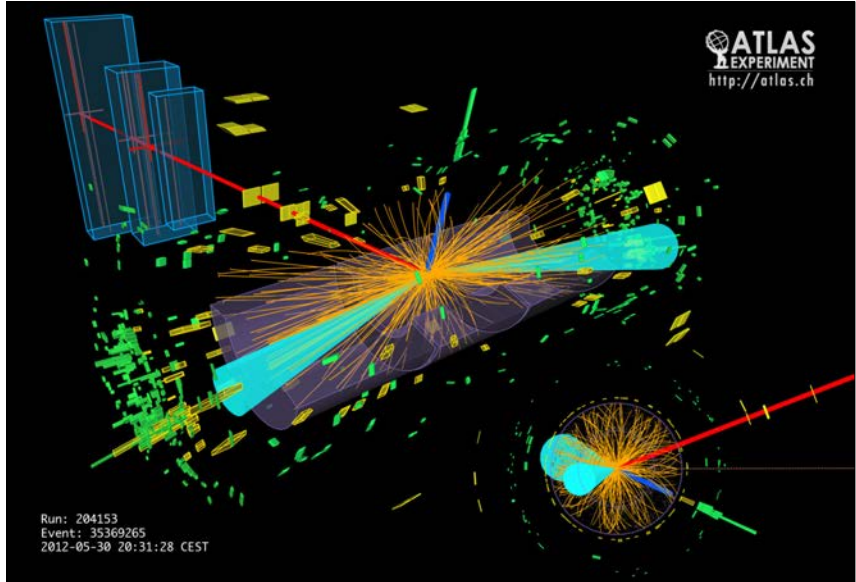
Jadrová fyzika

Projekt ISOLDE (Isotope mass Separator On-Line facility) predstavuje príspevok CERN-u ku klasickej jadrovej fyzike. Na tomto zariadení sa študujú vlastnosti atómových jadier a ich využitie v základnom výskume, astrofyzike a materiálových vedách. Výskum je realizovaný 50 aktívnymi malými experimentmi.

Tmavá hmota

Viditeľný vesmír tvorí len približne 5 % celkovej hmoty vo vesmíre. Ďalšiu časť, okolo 20 %, tvorí tmavá hmota a zvyšok 75 % je vo forme tmavej energie. Predpokladá sa, že tmavú hmotu by mohli tvoriť elementárne častice, ktoré sú ťažké a interagujú veľmi slabo v porovnaní s časticami hmoty, aké momentálne poznáme.

CERN-ský výskum v tomto smere expanduje aj do vesmíru v podobe experimentu AMS (Alpha Magnetic Spectrometer). Ide vlastne o detektor umiestnený na medzinárodnej vesmírnej stanici ISS (obr. 2). Tento detektor študuje počty pozitronov a antiprotonov a na ich základe chce objaviť zdroj tmavej hmoty. Objav tmavej hmoty má v pláne aj LHC, ten ju však nehľadá vo vesmíre, ale v zrážkach protónov.



Obr. 1 – kandidát na Higgsov bozón v experimente ATLAS;
zdroj: <http://www.atlas.ch/HiggsResources/>



Obr. 2 – detektor AMS umiestnený na stanici ISS;
zdroj: <http://home.web.cern.ch/about/experiments/ams>



Meteorológia

Na prvý pohľad dosť nezvyčajná kombinácia – ako môže CERN prispieť ku poznatkom v meteorológii? V experimente CLOUD (Cosmics Leaving Outdoor Droplets) CERN využíva svoje know-how, aby zistil, aký je vplyv kozmických lúčov na tvorbu oblakov. V obrovskej hmlovej komore simuluje atmosféru pri istom tlaku a teplote (nadmorská výška) a do toho púšťa zväzok z urýchľovača PS (ten simuluje kozmické lúče s variabilnou energiou). Po ožiarení meria počty aerosólov, ktoré tvoria základ oblakov v atmosfére.

Antihadrónová terapia

V experimente ACE (Antiproton Cell Experiment) pôsobí medzinárodný tím fyzikov, biológov a lekárov, ktorí skúmajú účinok pôsobenia antiprotónov na biologický materiál. Ide o veľmi perspektívnu metódu ožarovania nádorov, ukazuje sa totiž, že na zničenie rovnakého množstva buniek je potrebných 4-krát menej antiprotónov ako protónov. Protóny sa už bežne v medicíne využívajú na ožarovanie (hadronová terapia). Príchod do praxe pre antihadrónovú terapiu sa odhaduje na 10 rokov.

Aplikácie z CERN s dopadom na ľudskú spoločnosť

Multivláknová proporcionálna komora

Tento vynález z roku 1968 znamenal revolúciu v detekcii častíc. Dovtedy sa na detekciu používali hmlové a bublinové komory a na analýzu fotografie z týchto zariadení. To bolo veľmi pomalé a prácne. S príchodom multivláknovej proporcionálnej komory sa 1000 násobne zvýšila rýchlosť registrácie častíc (elektronický detektor). Išlo vlastne o prechod od ručného merania k elektronickému vo fyzike elementárnych častíc. Za tento objav dostal Georges Charpak Nobelovu cenu. Táto technológia sa dnes využíva aj v biológii, rádiológii a nukleárnej medicíne.

Dotykový displej

Dnešný život si už pomaly ani nevieme predstaviť bez tabletov a smartfónov. Predchodca dotykových displejov z týchto zariadení sa narodil v CERN (obr. 3). Prvý (kapacitný) dotykový displej bol skonštruovaný inžiniermi Frankom Beckom a Bentom Stumpe z CERN na začiatku 70-tych rokov a v roku 1973 bol uvedený do prevádzky pre potreby urýchľovača SPS (fungoval až do spustenia LHC v roku 2009).



Obr. 3 – prvý kapacitný dotykový displej;
zdroj: <http://cerncourier.com/cws/article/cern/42092>

World Wide Web

Asi najznámejšia aplikácia, ktorá zmenila tvár sveta a pochádza z CERN-u, je World Wide Web (www). Jej tvorca Tim Berners-Lee z IT oddelenia v CERN vlastne spojil veci, ktoré boli známe už v 80-tych rokoch ako http, TCP/IP, a vytvoril systém prehliadania vzdialených dokumentov (www) a takisto jazyk používaný na vytvorenie stránok (html). Prvý webový server s prvou webovou stránkou v CERN bol spustený v roku 1989. V súčasnosti existuje okolo 60 miliárd webových stránok.



Medipix

Medipix je prístroj (a aj názov medzinárodnej kolaborácie, ktorá sa tým zaoberá) pre veľmi ostré medicínske zobrazovanie založené na kremíkovom detektore. V budúcnosti sa predpokladá, že bude mať široké pole pôsobnosti v oblastiach, kde je potrebné presné zobrazovanie, ako napr. v počítačovej tomografii, rádiografii, mamografii, zubnej rádiografii, angiografii a pozitronovej emisnej tomografii.

ROOT

Softvérová aplikácia, ktorú používajú fyzici v CERN na spracovanie dát, sa nazýva ROOT. Vďaka tomuto analyzačnému softvéru bolo napríklad možné objaviť Higgsov bozón. Táto aplikácia si už našla využitie aj v astronómii, biológii, medicíne a finančnom svete.

Fluka a Geant

Ide o softvér na simulovanie prechodu častice prostredím – t.j. tento softvér nám povie, ako bude častica interagovať s prostredím, cez ktoré prechádza, čo je využiteľné nielen vo fyzike elementárnych častíc, kde častica prechádza detektormi, ale aj v rádioterapii, kde častica prechádza biologickým materiálom.

Indico

Je užitočná webová aplikácia na vytváranie a organizovanie rôznych akcií, od tých najjednoduchších (prednáška) až po komplikované (medzinárodná konferencia). Hlavne v CERN-e, kde pracujú tisíce vedcov a stretávajú sa na dennej báze, predstavuje Indico výbornú pomôcku na organizáciu a archiváciu týchto stretnutí. Skvelá pomoc pre tých, ktorí nemajú skúsenosti s vytváraním webových stránok a potrebujú zorganizovať nejakú akciu.

Invenio

Invenio je softvér na vytvorenie a manažovanie digitálnej knižnice, široko používané aj mimo CERN (v skoro stovke ďalších inštitúcií a univerzít).

Grid

Grid je názov celosvetovej počítačovej siete dizajnovanej na analýzu 25 petabajtov ročne, ktoré produkuje LHC. Žiadny veľký objav na LHC sa nezaobíde bez Gridu. Gridové technológie sa používajú aj v iných oblastiach.

Plány do budúcnosti

Z fyzikálneho hľadiska bude nasledujúce desaťročia samozrejme diktovať smer fyzika na LHC. V (smelom) pláne je objav nových elementárnych tzv. supersymetrických častíc, ktoré by mohli tvoriť tmavú hmotu.

V pláne je aj výstavba ďalšieho urýchľovača: CLIC (lineárny 30 km dlhý urýchľovač), ktorý by mal slúžiť na presné určenie vlastností Higgsovho bozónu (niečo ako bol LEP pre SPS). V súčasnosti už sa začína hovoriť aj o „Lord of the rings“: FCC (Future Circular Collider), ktorého energia zrážky by mala byť 10-krát vyššia ako na LHC, a ktorý by mal mať obvod až 100 km.

CERN vyvíja iniciatívu aj v aplikačnej oblasti – plán na výstavbu atómových elektrární na báze tória. Pôjde o nový druh atómových elektrární, v ktorých sa neutróny potrebné pre reťazovú reakciu, budú získavať prostredníctvom urýchľovača vyrábaným v CERN. Táto iniciatíva už našla podporu v Číne a v Indii (EÚ zatiaľ tomuto nezelenému projektu nie je naklonená). Tento projekt má potenciál byť v budúcnosti jednou z najväčších služieb časticovej fyziky ľudstvu.

CERN je príkladom toho, že aj do základného výskumu vedy sa oplatí investovať. Spoločnosť síce z fyzikálnych objavov nemá okamžitý benefit, no prostriedky, ktoré sa na objav použijú, niekedy dokážu žiť aj vlastným životom a nájsť uplatnenie aj v aplikačnej oblasti pre spoločnosť.



Zdroje

<http://www.cern.ch>

<http://www.sciencekids.co.nz/pictures/chemistry/hydrogenatom.html>

http://en.wikipedia.org/wiki/Elementary_particle

<http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach>

<http://home.web.cern.ch/about/experiments/isolde>

<http://home.web.cern.ch/about/experiments/ams>

<http://home.web.cern.ch/about/experiments/cloud>

<http://home.web.cern.ch/about/experiments/ace>

<http://cerncourier.com/cws/article/cern/37861>

<http://cds.cern.ch/record/1248908>

<http://cerncourier.com/cws/article/cern/42092>

<http://cds.cern.ch/journal/CERNBulletin/2009/12/News%20Articles/1165312?ln=en>

http://cerncourier.com/cws/article/cern/28069/1/web2_9-99