# Pozorujeme fyziku mimo rámca Štandartného modelu?

**RNDr. Dušan Bruncko, CSc.**

Ústav experimentálnej fyziky SAV
Watsonova 47
Košice

Dňa 19. februára 1997 v nemeckom národnom laboratóriu pre výskum fyziky elementárnych častíc, v DESY (Deutches Elektronen-SYnchotron), Hamburg, kolaborácie H1 a ZEUS oznámili, že pozorujú javy, výskyt ktorých sa vymyká súčasným predstavám o fyzike elementárnych častíc, ktorých nosnú kostru predstavuje Štandartný model.

Nezasvätenému čitateľovi horné riadky iste málo hovoria. Z tohto dôvodu prikladám k vyššie zmenenej správe aspoň stručné objasnenie:
Najskôr sa v krátkosti zoznámime s urýchľovačom v DESY a s obidvoma zmienenými experimentami, ktoré sú na ňom realizované.
V 1984 sa začali v DESY Hamburg práce na konštrukcii dnes najväčšieho urýchľovača asymetrických protibežných zväzkov HERA (skratka je z anglické názvu: the Hadron-Electron Ring Accelerator facility), pričom v jednej trubici (o celkovej dĺžke 6 336 m) sa urýchľujú elektróny alebo pozitróny (na energiu cca 27 GeV) a v druhej protóny (na energiu 820 GeV). Urýchľovač HERA poskytuje rádovo väčšiu energiu zrážky, aká bola dovtedy dosiahnutá - jej hodnota zodpovedá energii 45 000 GeV, pokiaľ by sme skonštruovali urýchľovač, v ktorom by sa urýchľoval len elektrón, resp. pozitrón, pričom terč, protón, by bol v kľude. Prvá zrážka elektrónu s protónom bola zaregistrovaná v októbri 1991, výskumný program začal v júni 1992.

Na HERA urýchľovači, súbežne s jeho výstavbou, boli vybudované dva veľké detektory - H1 a ZEUS s cieľom analyzovať $e^{\pm}p$ zrážky. Tieto zariadenia sú dielom medzinárodných kolektívov, napr. experiment H1 vybudoval cca 400 členný kolektív fyzikov z 12-tich krajín, včítane bývalého Československa. Pre zaujímavosť - Ústav experimentálnej fyziky Slovenskej akadémie vied v Košiciach je ako jediné slovenské pracovisko riadnym členom tejto kolaborácie. Výstavba urýchľovača HERA, tak ak aj detektorov H1 a ZEUS nebola ľahká a lacná záležitosť - HERA stála cca 1,3 miliardy nemeckých mariek, detektor H1 (o rozmeroch $10 \times 10 \times 12\mathrm{m}^3$, váhe cca 8500 ton) stál zhruba 120 miliónov nemeckých mariek. Aj na týchto faktoch je vidieť akú cenu platíme za základné poznatky obklopujúceho nás sveta.
Fyzikálny výskum $e^{\pm}p$ procesov pokračuje od roku 1992 prakticky (až na nevyhnutné technické prestávky) nepretržite dodnes. Popri celému radu zaujímavých výsledkov bezosporu vynikajú nami už spomenuté javy, ktoré signalizujú, že by mohlo ísť o fyziku mimo našich dnešných predstáv, ktoré sa súhrne označujú Štandartným modelom.
Čo je teda Štandartný model a čo sa vlastne v DESY pozoruje?
Dnes poznáme štyri typy síl, resp. interakcií: gravitačnú, elektromagnetickú, slabú a silnú. Naša znalosť o tej-ktorej interakcii je premietnutá v matematicko-fyzikálnom modeli danej interakcie. V súčasnosti veríme (a empirické skúsenosti nás zatiaľ o tom presvedčujú), že napr. gravitačná interakcia je dobre popísaná všeobecnou teóriou relativity a elektromagnetická zas Maxwellovými rovnicami. Ak sa však už zaujímame o subštruktúry na úrovni $10^{-11-15}$ cm (jadro, protón), napr. pre elektromagnetickú interakciu neplatia Maxwellove rovnice, adekvátnou sa javí tzv. kvantová elektrodynamika. Podobne pre popis silnej interakcie (zodpovednou napr. za vznik atómových

jadier) sa ako najvhodnejšou teóriou javí kvantová chromodynamika. Slabá interakcia (je zodpovedná napr. za rozpad neutrónu) dlho odolávala snahe fyzikov o jej najvhodnejšiu matematicko-fyzikálnu abstrakciu. Výsledok, starý cca 30 rokov, však stojí za to - dnes vieme nielen adekvátne popísať slabú interakciu, vieme viac, vieme *súčasne* popri nej popísať aj elektromagnetickú interakciu (hovoríme, že vieme popísať elektroslabú interakciu). Jedná sa o tzv. Glashow-Weinerg-Salamov model (označený podľa autorov). Teda sumárne: na úrovni veľkostí elementárnych častíc dnes veríme, že (až na gravitačnú interakciu, ktorej prejavy sú v tejto oblasti zanedbateľné) vieme popísať ich rôzne formy správania sa. Tento obraz zodpovedá Štandartnému modelu - v rámci tohto modelu je silná interakcia popísaná pomocou kvantovej chromodynamiky a elektroslabá - pomocou elektroslabej Glashow-Weinberg-Salamovej teórie. K úplnému popisu (aj keď má 17 voľnych parametrov!) Štandartného modelu nám chýba empirické pozorovanie tzv. Higgsovho bozónu, existencia ktorého je predovšetkým podmienená mechanizmom "pripísania" hmotností základnym prvkom hadrónovej matérie - kvarkom (bližšie o kvarkoch viď článok dr. Antoša v marcovom čísle Quark). Na začiatku článku spomenuté javy sa javia o to dôležitejšie, že dnes sa v európskom centre pre výskum elementárnych častíc v CERN, vo Švajčiarsku, členom ktorého je aj Slovenská republika, začal konštruovať doposiaľ najväčší urýchľovač, základným cieľom ktorého je práve objaviť Higgsov bozón.

Keď už teda vieme, čo je Štandartný model, môžeme okomentovať aj to, čo vlastne experimenty H1 a ZEUS pozorujú. Ako sme už povedali, obidva experimenty študujú zrážku elektrónov (resp. pozitrónov) [1] s protónami. Z pohľadu na možnosti sa čo najviac priblížiť k najmenším elementom prírody (ku kvarkom) najzaujímavejšie z týchto zrážok sú hlboko-nepružné procesy, keď elektrón doslovne "mapuje" vnútro protónu. Tieto procesy sa obvykle popisujú pomocou dvoch nezávislých premenných - najčastejšie sa používa Bjorkenove $x$ a $Q^2$. Vznik týchto premených je spätý s veľmi jednoduchou predstavou zrážky elektrónu s protónom - elektrón protón "vidí" ako zhluk rovnakých častíc, zŕn, ktorým hovoríme partóny. Ak protón má hybnosť $P$ a partón $p$, potom $x = p/P$ predstavuje frakciu hybnosti, ktorú partón unáša. Veličina $Q^2$ zas zodpovedá kvadrátu veľkosti energie, ktorú nalietavajúci elektrón v procese zrážky odovzdá partónu, na ktorom dochádza k interakcii. Hlboko-nepružné zrážky v takomto modeli zodpovedajú prípadom, keď elektrón odovzdá partónu veľkú hodnotu $Q^2$ ($> 5$ GeV$^2$), pričom obvykle partón, na ktorom sa uskutočnila zrážka s nalietavajúcim elektrónom, vytvára (aspoň jeden) vysokoenergetický prúd častíc.

Experimenty H1 a ZEUS analyzovali také vzorky prípadov zrážok elektrónov s protónmi, ktoré zodpovedali jednak veľkým hodnotám $Q^2$ (nad 15 000 GeV$^2$) a jednak vzniku jedného vysokoenergetického prúdu častíc. V ďalšom sa vytvorili rozdelenia týchto prípadov podľa premenných $M = \sqrt{xs}$ (pre $M > 175$ GeV) a $Q^2$. Tu $s$ predstavuje štvorec celkovej energii zrážky. Tieto experimentálne rozdelenia sa porovnali s rozdeleniami, ktoré predpovedá Štandartný model. *Výsledok analýzy hovorí, že tieto rozdelenia sa dajú popísať v rámci Štandartného modelu s pravdepodobnosťou menšou ako 1 %!*

Ako interpretovať získané výsledky? V prvom rade treba povedať, že sa jedná o pozorované rozdiely doslovne na "chvostoch" spomínaných rozdelení. Znamená to, že práve v tejto oblasti dominujú štatistické fluktuácie, a preto oficiálny záver fyzikov z obidvoch experimentov je veľmi opatrný - definitívnu odpoveď, či sa skutočne nepozoruje len štatistická fluktuácia dá tento rok, keď sa plánuje podstatne zväčšiť analyzovaná vzorka prípadov. Napriek tomu pozastavme sa nad tým, čo sa vlastne na našich predstavách zmení, pokiaľ štatistika dnes pozorované javy potvrdí. Existuje niekoľko mechanizmov, ktoré ašpirujú na možné vysvetlenie. V prvom rade sa môže jednať o pozorovanú rezonanciu (časticu s krátkou dobou života), ktorá je vytvorená vďaka väzbe kvarku s elektrónom (to ale doteraz žiadna nám známa interakcia nedovoľuje!) a ktorá sa rozpadá na elektrón a kvark - v teórii sa označuje ako *leptokvark*. Jej existencia by teda dokazovala aj existen-

[1] V ďalšom nebudeme rozlišovať medzi elektrónom a pozitrónom, pretože pre náš účel rozdiel medzi nimi nebude dôležitý.

ciu ďalšej sily (interakcie). Myšlienka existencie leptokvarku nie je nová, práve leptokvarky by mali byť spojivom medzi zdanlivo v prírode oddelenými typmi častíc, medzi tzv. leptónmi (sem patrí elektrón, pozitrón, mión, $\tau$–leptón a k nim zodpovedajúce neutrína) a kvarkami. Ich existencia by mala tiež znamenať, že napr. protón nie je stabilnou časticou. To však aspoň doposiaľ naše experimenty vylučujú... Ďalšími kandidátmi na popis spomínaných efektov sú *leptogluóny* alebo *skvarky*, častice, ktoré predpovedajú niektoré varianty supersymetrických teórií, ktorých základným cieľom je vypracovať (a podľa možnosti v praxi aj overiť) takú predstavu o svete, v ktorom by vystupovala len jedna interakcia a nami dnes pozorované sily by boli len rôznou formou jej prejavu. Nechajme sa však prekvapiť.