

# Farebný svet slobodných a uväznených kvarkov

**D. Gross, D. Politzer a F. Wilczek získali Nobelovu cenu 2004 za výpočet sily medzi najmenšími čiastočkami hmoty vo vnútri protónov a neutrónov**

September 1980. Na zámku v Smoleniciach sa schádzajú vedci na konferencii, ktorú od 70. rokov každoročne organizujú bratislavskí fyzici. Železná opona stále rozdeľuje svet. Tieto konferencie sú jedným z mála fór, kde sa teoretickí fyzici z USA a západnej Európy stretávajú s kolegami zo sovietskeho bloku.

Medzi účastníkmi je aj sotva tridsaťročný David Politzer z USA. Pricestoval s otcom, ktorý sa ešte dohovori po slovensky. Starší pán Politzer strávil časť života v predvojnovnej Bratislave, syn David sa však už narodil v New Yorku.

## Princíp matrjošky

Ak sa v článku objavia slová *sloboda* a *uväznenie*, čitateľ si predstaví text o situácii v nejakom nedemokratickom kúte sveta, sotva ho však očakáva na stránkach, ktoré sa venujú výsledkom vedy. S tohoročnou Nobelovou cenou za fyziku však obe slová súvisia.

Oficiálna správa hovorí: “Kráľovská švédska akadémia vied sa rozhodla udeliť Nobelovu cenu za fyziku za rok 2004 za *objav asymptotickej slobody v teórii silnej interakcie* spoločne Davidovi J. Grossovi, H. Davidovi Politzerovi a Frankovi Wilczekovi z USA.”

Kde sa berie slovo *sloboda* v exaktnej vede, ako do hry vstupuje *uväznenie*? Veda si pomáha analógiami a pojmami z každodenného života. Cieľom fyziky od dávnych čias bolo identifikovať základné stavebné kamene hmoty a vysvetliť prírodné javy a procesy pomocou čo najmenšieho počtu zákonitostí. Látky, ktoré okolo seba vidíme, sa skladajú z molekúl – molekuly obsahujú atómy – každý z atómov sa skladá z atómového jadra, okolo ktorého obiehajú elektróny – atómové jadrá sa skladajú z protónov a neutrónov.

Nateraz posledná figúrka do tejto fyzikálnej matrjošky pribudla v 60. rokoch, keď M. Gell-Mann a G. Zweig navrhli nepovažovať za elementárne častice ani protóny a neutróny, pretože tie obsahujú ešte menšie častice, *kvarky*.

## Matematické bytosti? Nie, fyzikálne objekty!

V mikrosvete vládnu zákony kvantovej fyziky. Sila medzi dvoma elementárnymi časticami vzniká tak, že si neustále vymieňajú, “prehadzujú” isté kvantá energie. Sily medzi elektricky nabitými časticami sú dôsledkom výmeny elektricky neutrálnych kvánt svetla, “fotónov”. Jadrové sily vznikajú v dôsledku toho, že si kvarky “prehadzujú” iné kvantá, tzv. *gluóny*.

Ústredným pojmom pri vysvetlení síl medzi kvarkami je pojem “farby”. Každý kvark existuje v troch rôznych farbách. Slovu farba však neslobodno pripisovať doslovný význam. Tak ako častice hmoty nesú elektrický náboj, kvarky majú navyše silný náboj, ktorý fyzici nazvali poeticky farbou. Kým fotóny, ktoré prenášajú vzájomné sily medzi elektricky nabitými časticami, sú neutrálne, farebný (či silný) náboj majú aj gluóny, vyskytujú sa v ôsmich farbách.

Gell-Mann a Zweig kvarky pôvodne navrhli iba ako pomôcky na matematický opis zloženia protónov, neutrónov a ďalších častíc. V r. 1969 však na urýchľovači v Stanforde v USA prebehol experiment, ktorého výsledky sa dali vysvetliť iba tak, že vo vnútri protónov *naozaj* existujú bodové štruktúry, avšak

pomerne slabo viazané. Kvarky sa odrazu zmenili z imaginárnych matematických bytostí v reálne fyzikálne objekty.

### **Slobodné, či uväznené?**

Teoretická fyzika elementárnych častíc tak stála na začiatku 70. rokov 20. storočia pred zdanlivo neriešiteľným paradoxom: Na jednej strane protóny, neutróny a ďalšie častice nie sú elementárne, ale skladajú sa z kvarkov, ktoré na seba pôsobia pomerne slabo. Na druhej strane sa farebné kvarky v prírode nevyskytujú ako voľné častice, v experimentoch neboli nikdy objavené. Zdá sa, že “vyslobodiť” ich si vyžaduje nepredstaviteľnú silu. V prírode sa kvarky vyskytujú iba v bezfarebných kombináciách, napríklad v protónoch alebo neutrónoch.

Za tejto situácie na scénu vstupujú tohoroční laureáti. Gross so študentom Wilczekom na Univerzite v Princetone a nezávisle Politzer na Harvardovej univerzite uskutočnili výpočet sily, ktorou na seba pôsobia kvarky v závislosti od ich vzdialenosti. Ich prelomový objav vyšiel v dvoch po sebe nasledujúcich článkoch v renomovanom časopise *Physical Review Letters* 25. júna 1973. Stručne ho možno zhrnúť jednoducho: Ak sú kvarky veľmi blízko, nepôsobia na seba takmer žiadnou silou – sú “*asymptoticky slobodné*”. Ak sa ich však snažíme od seba vzdialiť, potom sila medzi nimi rastie a nikdy ich nedokážeme úplne oddeliť – sú akoby “*uväznené*”.

Také správanie hmotných častíc zdanlivo protirečí každodennej skúsenosti. Sme zvyknutí, že telesá na seba pôsobia tým slabšie, čím ďalej sa od seba nachádzajú. Analogickú situáciu ako medzi kvarkami si však každý môže ľahko predstaviť: Spojme dve guľôčky silnou pružinou. Ak ich od seba odťahujeme, musíme na to vyvinúť tým väčšiu silu, čím viac pružinu natiahneme. Nedokážeme ich od seba oddeliť, iba ak by sme pružinu pretrhli. Podobné struny, vytvorené z gluónov, existujú aj medzi kvarkami.

### **Sen o konečnej teórii**

Objav Grossa, Politzera a Wilczeka, akokoľvek môže čitateľovi pripadať jednoduchý, má ďalekosiahle dôsledky pre dnešné chápanie fyziky mikrosveta. Teória jadrových síl (nazýva sa *kvantová chromodynamika*) je dnes pevnou súčasťou obrazu prírody. Všetky jej predpovede sú v zhode s výsledkami experimentov. Ako pred pár rokmi napísal Gross: “*Príbeh kvantovej chromodynamiky je nádherným príkladom cesty od frašky k triumfu. Vo veľmi krátkom čase sa uskutočnil prechod od experimentálnych objavov a teoretického zmätku k teoretickému triumfu a experimentálnemu potvrdeniu teórie.*”

Výsledky tohoročných laureátov nezasahujú len oblasť neviditeľných častíc, z ktorých sa skladá jadrová hmota. Teória predpovedá, že pri veľmi vysokých teplotách a vysokých hustotách hmoty sa kvarky a gluóny “vyslobodia”, vznikne nová fáza hmoty, tzv. kvarkovo-gluónová plazma. Také podmienky existovali v ranom období nášho vesmíru a budú vytvorené aj v experimentoch na zariadení LHC v Európskom centre pre výskum častíc (CERN) pri Ženeve. Chápanie síl medzi kvarkami prináša aj lepšie pochopenie vesmíru, v ktorom žijeme.

Od čias antiky je snom filozofie prírody vysvetliť vlastnosti sveta na základe niekoľkých čísel, hodnôt základných fyzikálnych konštánt a matematických zákonov. Cieľom je “konečná teória”, “teória všetkého”. Tá by mala vysvetliť všetky štyri prírodné sily pomocou jediného univerzálneho princípu. Objav Grossa, Wilczeka a Politzera je príspevkom k naplneniu tohto sna: pôsobenie medzi elementárnymi časticami závisí od ich vzdialenosti a na určitej škále sa veľkosti rôznych síl vyrovnajú. Koniec teoretickej fyziky, ktorý by podľa britského fyzika S. Hawkinga mal nastať po objave “teórie všetkého”, však ešte nie je v dohľade.

Kvantovou chromodynamikou sa na Slovensku zaoberajú teoretickí fyzici vo Fyzikálnom ústave SAV a na Univerzite Komenského v Bratislave. Dôsledky teórie sa skúmajú napríklad v experimentoch v laboratóriách CERN pri Ženeve, DESY pri Hamburgu a FNAL pri Chicagu v USA. Na nich sa aktívne

podieľajú výskumné skupiny z UK v Bratislave a z Ústavu experimentálnej fyziky SAV a Univerzity P. J. Šafárika v Košiciach.

## **Dovetok**

Prof. David J. Gross má 63 rokov, narodil sa vo Washingtone. V súčasnosti je riaditeľom Kavliho ústavu pre teoretickú fyziku Kalifornskej univerzity v Santa Barbare. Získal veľa prestížnych ocenení, napr. cenu Americkej fyzikálnej spoločnosti a Diracovu medailu.

Prof. Frank Wilczek (nar. v New Yorku, 53-ročný) je profesorom teoretickej fyziky na Massachusettskom technickom inštitúte v Cambridge, USA. Spolu s Grossom a Politzerom získali v roku 2003 aj cenu Európskej fyzikálnej spoločnosti, je držiteľom o. i. pamätnej medaily Karlovej univerzity v Prahe.

Prof. H. David Politzer má 55 rokov. Je profesorom na Kalifornskom technickom inštitúte v Pasadene. Objavil sa aj na striebornom plátne, vo filme režiséra R. Joffého *Fat Man and Little Boy* (1989) o tzv. Projekte Manhattan, budovaní prvej atómovej bomby, s P. Newmanom v hlavnej úlohe. Politzer v ňom stvárnil postavu fyzika Roberta Serbera.

## **Do rámčeka**

### **Štyri základné sily a tri teórie**

Základné časti hmoty medzi sebou pôsobia štyrmi elementárnymi silami. Každý z nás neustále vníma účinky najslabšej z nich, sily gravitačnej. Elektricky nabitú časticu hmoty zas na seba pôsobia elektromagnetickou silou; s jej prejavmi sa tiež stretávame každý deň. Menej známou silou je tzv. slabá sila. V jej dôsledku sa rozpadajú napríklad niektoré rádioaktívne látky. Konečne, najmocnejšou v prírode je silná sila (akokoľvek znie táto veta krkolomne, slovenčina lepšiu výraz nepozná). Silnej sile vdčíme za to, že väčšina atómových jadier prvkov v prírode je stabilná. Bez nej by neexistovali ani tieto noviny, ani ich čitatelia.

Pre každú zo štyroch síl naši fyzici teóriu, ktorá ju vysvetlí. Základný zákon gravitácie je známy vďaka I. Newtonovi už od 17. storočia. Zákony elektromagnetizmu sú dielom J. C. Maxwella, objavil ich v 19. storočí. Objavy zo 70. rokov 20. storočia ukázali, že elektromagnetická a slabá sila sú prejavom jedinej, tzv. elektroslabej sily. Jej kvantovú teóriu vytvorili S. Glashow, A. Salam a S. Weinberg, nositelia Nobelovej ceny (1979). Nuž a za teóriu silnej jadrovej sily putuje cena k tohoročným laureátom.

## **ŠTEFAN OLEJNÍK**

*(autor je vedeckým pracovníkom  
vo Fyzikálnom ústave SAV v Bratislave)*