

Kvarky. A co bude dál?

T. Miler

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1
hooboork@seznam.cz

Abstrakt

V teoretické fyzice se setkáváme s pojmem kvark. Některé z věcí, o nichž bude následující článek jsou založeny na jen zčásti vypracovaných teoriích, další jsou čisté spekulace. Proto bude tento příspěvek v porovnání s ostatními poměrně zmatený. Nicméně se však ukazuje, že struktura teorie kvantové elektrodynamiky a kvantové chromodynamiky slouží jako výborný základ pro popis jevů z jiných oblastí fyziky.

1 Historie

Ještě před třiceti lety byly protony a neutrony považovány za základní, elementární částice. Avšak pokusy, při nichž se velkou rychlostí srážely protony s elektrony nebo s jinými protony, naznačovaly, že také protony jsou složeny z ještě menších částic. Takovéto částice dnes nazýváme kvarky.

Termín kvark má svůj původ v románu *Finnegans Wake* (1939), který napsal irský spisovatel James Joyce. Podivného pojmenování ještě podivnějších částic se ujal Murray Gell-Mann a za práce o kvarcích získal v roce 1969 Nobelovu cenu.

2 QED, QCD

QED je zkratka kvantové elektrodynamiky, QCD kvantové chromodynamiky. QED je nauka o pohybu elektrických nábojů v obecně proměnných elektromagnetických polích. Studuje interakce mezi mikroobjekty, což jsou atomární a subatomární částice. Tato interakce je popsána výměnou fotonů.

QCD je teorie silných interakcí, kde jsou hlavními aktéry právě kvarky. Všechny částice složené z kvarků se dělí na dvě skupiny: baryony a mezony. Baryony se vyznačují tím, že se skládají ze tří kvarků. Mezi baryony patří například protony a neutrony. Mezony jsou charakteristické tím, že jsou složeny z kvarku a antikvarku. Zástupcem mezonů je např. pion.

3 Záhada magnetického momentu

Proton má jistý magnetický moment. Pokud bychom jej chtěli spočítat stejně jako magnetický moment elektronu, mělo by vyjít číslo blízké jedničce. Ve skutečnosti však dává experiment hodnotu 2.79! A neutron, který by v případě, že je opravdu neutrální, neměl vůbec reagovat na magnetickou sílu, má magnetický moment asi 1.91! Je tedy jasné, že se v protonech i neutronech děje něco podivného.

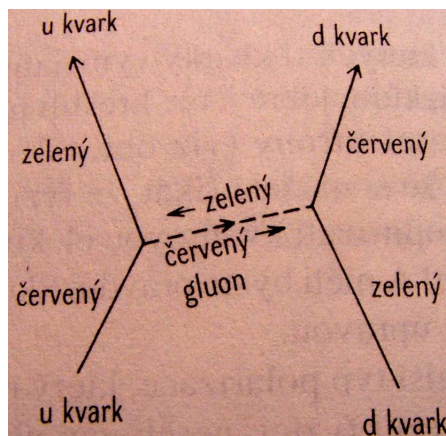
Je tu ještě jedna záhada, a sice co drží protony a neutrony pohromadě v atomových jádrech. Výměna fotonů to být nemůže, protože síly držící pohromadě jádro jsou mnohem větší než interakce s fotony.

4 Gluony

Gluony jsou částice, které si mezi sebou kvarky vyměňují a tím drží kvarky při sobě. Je možné si zavést analogii s elektrony, které si vyměňují foton. Gluony vytvářejí sílu mezi kvarky, která je mnohem větší než elektromagnetická síla.

Gluony se neskládají z kvarků. Kvarky mají typ polarizace, který nesouvisí s geometrií prostoru. Tento typ polarizace se nazývá barva. Nemá však nic společného s barvou v běžném slova smyslu, jedná se jen o fyzikální pojmenování. V daném okamžiku může být kvark v jednom ze tří barevných stavů, tzn. může mít jednu ze tří barev. Těmito barvami mohou být zelená, modrá a červená. Barva kvarku se mění, když vyzařuje nebo pohlcuje gluon. Gluony mají osm barevných stavů, podle toho, na jaké kvarky se váží. Gluony se tedy váží na barevné objekty. Když se například červený kvark změní na zelený, vyzařuje přitom červeno-antizelený gluon – takový gluon, který odnese z kvarku červený náboj a předá mu náboj zelený. Tento vyzařený gluon může být pohlcen zeleným kvarkem, který se tím změní na červený (obr. 1).

Obr. 1 Výměna gluonu mezi kvarky



Pokud je barva přenášena proti směru toku času, nese předponu anti. Gluony se mohou vázat také jeden na druhý. Když například zeleno-antimodrý gluon potká červeno-antizelený gluon, vznikne gluon červeno-antimodrý.

5 β -rozpad, W , Z^0

Existuje pomalý druh radioaktivity - ten, kterého se lidé nejvíce obávají v souvislosti s únikem z jaderného reaktoru - takzvaný beta-rozpad, při kterém se neutron mění na proton. Neutron je složen ze dvou „d“ kvarků a jednoho „u“ kvarku. Proton pak ze dvou „u“ kvarků a jednoho „d“ kvarku. Jediné co se děje při beta-rozpadu, je tedy přeměna z „d“ kvarku na „u“ kvark.

Dochází k tomu tak, že „d“ kvark vyzařuje nový druh částice: W , která se podobá fotonu a rozpadá se na elektron a antineutrino. Tento proces probíhá poměrně pomalu, proto má částice W (zvaná kalibrační boson W) velmi velkou hmotnost.

Existuje ještě další částice, které se říká Z^0 . Z^0 se váže na „d“ a „u“ kvarky, elektron a neutrino. Těmito interakcím se říká neutrální proudy. Pokud se náboj žádné z částice nemění, nemá ani částice W náboj a říkáme jí pak Z^0 . Z^0 je tedy něco jako neutrální W .

Je možné, že W , Z^0 a foton jsou jen různými projevy téhož. Stephan Weinberg a Abdus Salam se v roce 1967 pokusili sjednotit elektrodynamiku s tzv. slabou interakcí

(zprostředkovanou výměnami W a Z^0) do jediné kvantové teorie. Weinberg-Salamovo sjednocení je dnes nazýváno Standardním modelem a oba pánové za tuto práci dostali v roce 1979 Nobelovu cenu.

6 Nestabilní proton?

Zajímavá je předpověď, podle které se protony mohou rozpadnout. Tři kvarky v protonu nemají dostatek energie na to, aby se samovolně přeměnily. Občas může některý kvark získat potřebnou energii, protože podle principu neurčitosti energie kvarků v protonu není přesně fixována. V okamžiku, kdy k přeměně kvarku dojde, se proton rozpadne. Pravděpodobnost rozpadu je však malá, muselo by se na rozpad čekat asi 10^{30} let.

Byla podniknuta řada pokusů, ale rozpad protonu se nepodařilo potvrdit. Při jednom z pokusů sledovala složitá aparatura 8 000 tun vody. Uvedené množství vody obsahuje přes 10^{33} protonů. Během experimentu nebyla pozorována žádná reakce, kterou bychom mohli s jistotou interpretovat jako rozpad protonu. Lze vypočítat, že střední doba protonu je delší než 10^{31} let. To je mnohem déle, než čas uplynulý od velkého třesku (asi 10^{10} let).

7 Záhadná příroda

Při bombardování jader protony stále vyšších rychlostí se začaly objevovat nové částice. Jednou z nich je mion, který má všechny vlastnosti stejné jako elektron, až na hmotnost. Mion je totiž zhruba 206krát těžší než elektron. Elektron interaguje s částicí W . Když se „d“ kvark mění na „u“ kvark a vyzařuje částici W , může se W rozpadnout na mion místo na elektron. Pokud se W rozpadne na mion, vznikne také mionové neutrino, místo neutrina elektronového.

Objevily se i částice, o kterých bylo jasné, že obsahují těžší kvarky, než jsou kvarky „u“ a „d“. Jsou to kvarky „s“, „c“, „b“ a „t“. Existence částic se stejnými vlastnostmi a podstatně většími hmotnostmi je naprostá záhada. Známý je výrok, kdy profesor I. I. Rabi po objevu mionu poznamenal: „Kdo si tohle objednal?“

8 A co bude dál

Budoucnost kvarků jako elementárních částic je dnes nejasná. Co je tedy elementární částice? Jaké jsou základní kameny, ze kterých je vše postaveno? Podle kvantové mechaniky je částice v jistém slova smyslu vlnou a délka vlny se při rostoucí energii zkracuje. Tudiž přesnost měření, které jsme schopni dosáhnout, je závislá na tom, jaké energetické částice máme k dispozici. Tzn. energie částic určuje délkovou škálu, jež jsme schopni rozlišit.

V devatenáctém století uměli lidé využívat pouze částice s nízkými energiemi několika elektronvoltů, vznikajícími při chemických reakcích, jako je např. hoření. Při Rutherfordových pokusech s částicemi alfa se dosahovalo už milionu elektronvoltů. Potom jsme se naučili pomocí elektromagnetického pole udělovat částicím miliony, či dokonce miliardy elektronvoltů. Nynější urychlovače dokážou částici urychlit až na energii 6 000 GeV. Přesto i tak vysoká energie podle současné teorie neumožňuje objevit tu nejelementárnější částici. Je výzva pro následující generace fyziků tuto nejzákladnější formu hmoty hledat.

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za vedení fyzikálního semináře pro rok 2006/2007.

Reference

- [1] R. P. Feynman, *Neobyčejná teorie světla a látky*, AURORA, Praha, 2001
- [2] S. W. Hawking, *Stručná historie času*, Mladá fronta, Praha, 2003
- [3] J. Rameš, *Kvarky*, <http://www-hep2.fzu.cz/adventure/quarks.html>