

Hmotnost elementárních částic

J. Kubištová, Gymnázium Václava Hraběte, jankubia@post.cz

P. Zháňal, SPŠ Třebíč, pavel.zh@atlas.cz

K. Kolář, Gymnázium Špitálská 2, k.kolar@email.cz

Abstrakt:

Naším úkolem bylo zjistit co možná nejvíce informací o elementárních částicích, ze kterých se skládá látka. Některé částice, které byly ještě donedávna považovány za nedělitelné, chápeme dnes jako složené z jiných částic, dále máme i částice, které zprostředkovávají různé fyzikální interakce. Pokusili jsme se vytvořit základní přehled těchto částic.

1 Úvod do problematiky

Teorie částic, která se dnes považuje za obecně platnou, se nazývá standardní model. Z tohoto modelu jsme vycházeli také my. Hmotnost částice můžeme předpovědět na základě stávajícího modelu buď matematickým výpočtem nebo změřit experimentálně (pomocí urychlovačů). V současnosti se objevuje také superstrunová teorie, která předpokládá, že současné elementární částice se skládají ze strun, nebo preonová teorie, jejíž problematiku přiblížíme na konci.

2 Naše práce

2.1 Dělení částic podle statistického chování

2.1.1 Fermiony

Fermiony mají poločíselný spin, patří sem všechny leptony a kvarky a všechny baryony. Také pro ně platí Pauliho vylučovací princip: "Dvě částice nemohou být nikdy ve stejném kvantovém stavu". Právě proto různé elektrony v atomovém obalu zaujímají různé kvantové stavy a tím vytvářejí různorodé chování chemických prvků.

2.1.2 Bosony

Mají celočíselný spin, patří sem všechny skalární i vektorové mezony a foton. Nesplňují Pauliho vylučovací princip. Při nízkých teplotách má každý boson ze systému tendenci zaujmout nejnižší energetický stav. Vzniká tzv. bosonový kondenzát, který může mít supravodivé a supraterkuté vlastnosti. Soustava elektronů by nikdy nemohla být supravodivá - jde o fermiony splňující Pauliho vylučovací princip. Při snižování teploty dojde nejprve k pospojování elektronů do dvojic - Cooperových párů, které jako bosony již mohou mít supravodivé vlastnosti.

2.2 Dělení částic podle rodové příslušnosti

2.2.1 Leptony

Leptony jsou podle dnešních názorů pravé elementární částice bez vnitřní struktury, interagují slabou interakcí a neinteragují silně. Nabité leptony pak reagují navíc elektromagneticky, což způsobuje intenzivní interakci s hmotou.

- druhy leptonů:

2.2.1.1 Elektron e je první objevenou elementární částicí, jeho objev uskutečnil roku 1897 lord Thomson. Elektron je stabilní, jeho hmotnost je $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg (0,51 MeV), elektrický

náboj elektronu je $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$. Počet elektronů v atomu určuje jeho chem. vlastnosti. Makroskopický pohyb elektronů vnímáme jako elektrický proud. Antičástice elektronu - pozitron - teoreticky předpověděl P.A.M. Dirac v roce 1928.

2.2.1.2 Elektronové neutrino n_e je částice, která vždy doprovází elektron, vzniká při rozpadech, ve kterých vznikl elektron. Jeho existenci předpověděl W. Pauli v roce 1930. Název neutrino mu dal Enrico Fermi po objevu neutronu v roce 1932 (v italštině znamená neutrino malý neutron). Jeho existence byla potvrzena v roce 1956 v jaderné elektrárně Savannah River v Jižní Karolině (F. Reines, L. Cowan).

2.2.1.3 Mion m je těžký elektron, jeho hmotnost je $207 m_e$ (105,7 MeV) a doba života přibližně $2 \cdot 10^{-6}$ s. Potom se těžký elektron rozpadá na normální elektron a neutrino. Mion se vyskytuje v kosmickém záření a do zemské atmosféry vstupuje s relativistickými rychlostmi. Vzhledem ke své době života by neměl nikdy dopadnout na zemský povrch. Díky dilataci času však mion z hlediska pozorovatele na Zemi žije "déle" a má dosti času, aby dopadl na povrch Země. Z hlediska mionu se Země "přibližuje" relativistickou rychlostí a díky kontrakci vzdálenosti nemusí mion k povrchu Země uletět takovou vzdálenost. Vidíme, že z hlediska obou souřadnicových soustav (spojených se Zemí nebo s mionem) je výsledek stejný, mion dopadne na povrch Země.

2.2.1.4 Mionové neutrino n_m doprovází při slabých rozpadech mion, má podobné vlastnosti jako neutrino elektronové. Objevili ho T. D. Lee a C. N. Yang v roce 1962 na urychlovači v Brookhavenu (Long Island, USA). V roce 1998 byla zjištěna jeho nenulová hmotnost (0,07 eV).

2.2.1.5 Tauon t je supertěžký elektron, má hmotnost $3\,484 m_e$ (1777 MeV). Je to nestabilní částice s dobou života $3 \cdot 10^{-13}$ s. Rozpadá se na své lehčí dvojníky (elektron nebo mion) a neutrina. Byl objeven v roce 1977 Martinem Perlem.

2.2.1.6 Tauonové neutrino n_t doprovází tauon při slabých procesech, bylo objeveno v laboratoři Fermilab v roce 1999.

- generace (pokolení) leptonů:

1. generace – elektron se svým neutrinem
2. generace – mion se svým neutrinem – na zemi se vyskytují zřídka, zpravidla pocházejí z kosmického záření.
3. generace – tauon se svým neutrinem – svou roli sehrála za vzniku Vesmíru.

Při svém letu se neutrina přeměňují z jedné formy na druhou. Neutrino je chvíli mionové, chvíli elektronové, možná i tauonové. (Tato proměna by například na slunečních neutrinech měla proběhnout každých 1000 km.)

2.2.2 Kvarky

Kvarky jsou částice, ze kterých jsou tvořeny hadrony, těžké částice s vnitřní strukturou - například proton, neutron a mezony (z řec. hadros – těžký, silný). Podléhají interakci silné, slabé i elektromagnetické. Kvarky mají bodovou strukturu až do rozměrů 10^{-18} m. Kvarkový model byl nezávisle navržen G. Zweigem a M. Gell-Mannem, který kvarky nazval podle románu Jamese Joyce. Sám Gell-Mann zavedl první čtveřici kvarků, vymyslel pro ně nejen jména, ale přiřadil jim i jejich „obrázky". Podle kvantové charakteristiky nazvané "vůně" je šest kvarků u, d, s, c, b, t . Toto označení kvarků vychází z anglických slov "up" (protonový), "down" (neutronový), "strange" (podivný), "charmed" (půvabný), "bottom" (spodní) a "top" (svrchní). Každá vůně se přitom vyskytuje ve třech "barvách", což je další kvantová charakteristika, a to červené, zelené a modré.

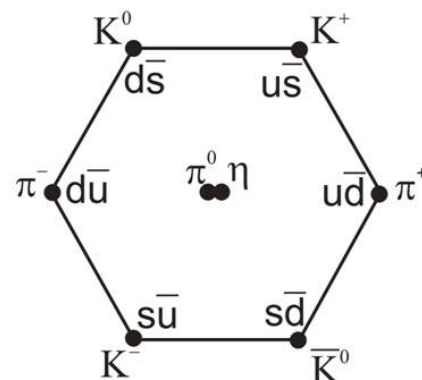
kvark	náboj	hmotnost
d	- 1/3	7 MeV
u	+ 2/3	5 MeV
s	- 1/3	150 MeV
c	+ 2/3	1,4 GeV
b	- 1/3	4,3 GeV
t	+ 2/3	176 GeV

2.2.2.1 Mezony

Mezony jsou složeny z kvarku a antikvarku téže barvy – jeví se jako bezbarvé. Dělí se na skalární mezony – spin kvarků je orientován opačně, výsledný spin je nulový. Existují i vektorové mezony – spin kvarků je orientovaný opačně, ale výsledný spin je roven 1. Dále můžeme rozlišit k-mezony a piony.

Kombinace kvarků se zakreslují do diagramů. Ve směru doprava roste elektromagnetický náboj částice, ve směru nahoru klesá počet podivných kvarků, neboli roste podivnost. Podivnost s kvarku je -1, podivnost antikvarku je +1. Kombinaci kvarků ve středu diagramu je třeba chápat jako kombinaci kvantových stavů.

Mezony vznikají při procesech ovlivňovaných silnou interakcí, rozpadají se slabou interakcí.



2.2.2.2 Baryony

Baryony jsou částice složeny ze tří kvarků z nichž každý musí mít jinou barvu. Tři kvarky lze kombinovat tak, že výsledný spin je roven 1/2 nebo 3/2.

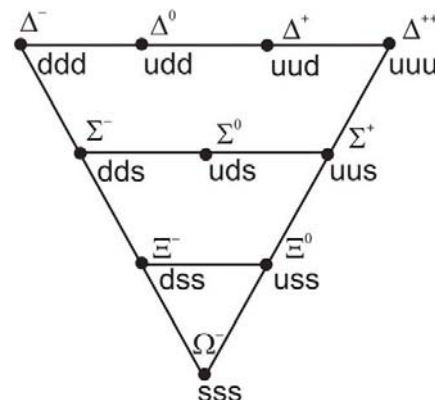
- rozdělení baryonů:

1. hyperony - částice obsahující s kvark
2. nukleony – jaderné částice: proton (těžká částice s hmotností $1,67 \cdot 10^{-27}$ kg, má kladný náboj) a neutron (o necelé 2 promile těžší než proton)

- generace kvarků:

1. generace – kvarky d, u a jejich antikvarky – běžně se vyskytují v přírodě
2. generace – kvarky s, c – v částicích kosmického záření (např. hyperony)
3. generace – kvarky b, t – dokážeme je připravit uměle na urychlovačích

Existuje také mnoho hadronů složených z kvarků, které nejsou v základním stavu. Známých hadronů je více než 200.



2.2.3 Intermediální částice

Intermediální částice obklopují částice podléhající interakci. Pojem pole (elektromagnetické, slabé, silné, gravitační) tak neznamená nic jiného než tento oblak intermediálních částic. Jde o tyto částice:

fotony – obklopují elektricky nabitě částice, jejich klidová hmotnost je nulová, pohybují se rychlostí světla.

gluony – obklopují kvarky a spojují je uvnitř nukleonu, několikanásobně přesahují hmotnost samotného kvarku

graviton – částice, která zprostředkuje gravitační interakci, dosud nebyl objeven.

intermediální bosony – W^+, W^-, Z^0 – zprostředkovávají slabou interakci

Podle představ kvantové teorie pole (P. A. M. Dirac, R. Feynman a další) probíhá interakce dvou částic tak, že si vymění tzv. intermediální (mezipůsobící, polní, výměnnou) částici.

V přírodě známe čtyři druhy interakcí:

Elektromagnetická interakce - působí jen na částice s elektromagnetickým nábojem (elektrony, protony, nabitě piony, ...), má nekonečný dosah, působí i na velké vzdálenosti

Slabá interakce - působí na leptony i hadrony, zodpovídá za relativně pomalé rozpady částic (například b rozpad neutronu, rozpad mionu), má krátký dosah zhruba do vzdálenosti atomového jádra

Silná interakce - působí jen na hadrony, je to síla, která spojuje kvarky v mezony a baryony; udržuje pohromadě neutrony a protony v atomovém jádře a síla, způsobuje některé rychlé rozpady elementárních částic, má krátký dosah do vzdáleností srovnatelných s rozměry atomového jádra.

Gravitační interakce - působí na všechny částice bez rozdílu, má nekonečný dosah, odpovídá za strukturu Vesmíru

Higgsovy částice

- zatím nenalezené částice, které by v přírodě měly způsobovat spontánní narušení symetrie elektroslabé interakce. Podstatnou úlohu hrají v teorii elektroslabé interakce, kde způsobují nenulovou hmotnost intermediálních částic slabé interakce a její konečný dosah. Tyto částice by také měly rozhodnou měrou ovlivnit počáteční fáze našeho Vesmíru. Spin částic je nulový. Po částicích se intenzivně pátrá a měly by být detekovatelné v současné době stavěnými urychlovači.

2.2.4 Preonový model

Rozptylové experimenty naznačují složení kvarků z tzv. preonů. První preonový model byl vytvořen Salamem a Patim již v roce 1974. Každý kvark či lepton by měl být tvořen ze tří částic: somonu (3 druhy, určuje generaci, nulový náboj), flavonu (2 druhy, určuje vůni "dolní" či "horní", náboj $\pm 1/2$) a chromonu (4 druhy, určuje barvu, náboj $\pm 1/6$). Dohromady získáme $3 \times 2 \times 4 = 24$ částic, 12 leptonů a 12 kvarků.

Problémy modelu - preony by musely zaujímat prostor menší než 10^{-18} m a z Heisenbergových relací pro ně vyplývá značná hybnost. Leptony a kvarky by měly větší hmotnost než mají. Nadsvětelné preony by ale přinesly zápornou hmotnost a za cenu ztráty kauzality bychom dostali správné hmotnosti.

3 Závěr

Vyhledali jsme si informace o elementárních částicích a seznámili jsme se s některými novými poznatky, které ještě nejsou vědecky ověřené. Pracovali jsme se standardním modelem, který je dnes považován za obecně platný a velmi dobře popisuje vlastnosti elementárních částic.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat FJFI, že nám umožnila práci tímto projektem, dále Nadaci pro podporu teoretické fyziky a KaFe na MU v Brně a našemu supervizorovi Jiřímu Hronovi.

Reference:

- [1] http://www.volny.cz/ifolber/psaci/fyzika/_/Image263.gif
- [2] <http://www.jan.curn.info>
- [3] <http://hp.ujf.cas.cz/~wagner/prednasky/subatom/castice/osnova.html>
- [4] http://cs.wikipedia.org/wiki/Element%C3%A1rn%C3%AD_%C4%8D%C3%A1stice
- [5] <http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/interakce/particles.html>
- [6] <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika5.htm>
- [7] http://ipnp00.troja.mff.cuni.cz/dolejsi/outreach/standardni_model_1.jpg