

SVĚT ZÁKLADNÍCH ČÁSTIC A INTERAKCÍ

Ke studiu základní struktury hmoty používají fyzici velká zařízení, pomocí kterých zkoumají nejdrobnější částice ve vesmíru a poznávají síly působící mezi nimi. Jedním z nástrojů je *urychlovač*, který urychluje nabitě částice, např. elektrony a protony, na vysoké energie. V některých případech narážejí svazky urychlených částic do pevného terče, druhou možností je srážka dvou vstřícných svazků. Délka lineárních nebo obvod kruhových urychlovačů je často několik kilometrů. Aby mohli fyzici studovat, co se děje při srážkách, staví zařízení zvaná *detektory*. Ty obklopují místo srážky a jsou často velké jako několika-patrová budova. Stále důležitější oblastí se dnes stává fyzika bez urychlovačů, kdy se pomocí velkých detektorů, často umístěných pod zemí, studují vysokoenergetické částice přilétající z vesmíru.

Kvarky

Během let, kdy fyzikové používali urychlovače ke studiu srážek neutronů a protonů, jež tvoří atomová jádra, objevili postupně více než stovku dosud neznámých částic. V roce 1964 vyslovili dva fyzici novou revoluční myšlenku, že téměř všechny částice jsou složeny z malého počtu druhů ještě menších objektů nazvaných *kvarky*, které musí mít elektrické náboje $+2/3$ a $-1/3$ náboje protonu. Pro takovéto zlomkové náboje nebyl tehdy znám žádný důkaz. Teprve na konci šedesátých a na začátku sedmdesátých let ukázaly experimenty na urychlovačích, že kvarky s předpokládanými vlastnostmi skutečně existují, avšak zůstávají uvězněny uvnitř částic s celočíselným nábojem. Důvěrně známý svět kolem nás je složen téměř jen z kvarků u a d . Existují i další čtyři kvarky – s , c , b a t . Ty mají větší hmotnost, jsou nestabilní a rodí se jen na urychlovačích nebo ve srážkách působených kosmickým zářením.

Rodiny kvarků a leptonů

Vedle kvarků existuje další třída šesti základních částic nazývaných *leptony*. Jejich nejznámějším příslušníkem je elektron. Další dva nabitě leptony, mion (μ) a lepton tau (τ), se liší od elektronu pouze tím, že mají mnohem větší hmotnost a jsou proto nestabilní. Další tři leptony jsou těžko polapitelná *neutrína*, která nemají elektrický náboj a mají velmi malou (jestli vůbec nějakou) hmotnost. Kvarky a leptony tvoří tři rodiny, vždy po dvou kvarcích a dvou leptonech (viz tabulka fermionů na druhé straně). Leptony mají menší hmotnost než odpovídající kvarky. Obyčejná hmota je složená jen z kvarků u a d a elektronů, členů první rodiny.

Síly a interakce

Kvarky a leptony jsou základní stavební kameny hmoty. Jaké síly je však drží pohromadě? Všechny síly jsou projevem interakcí částic. Existují čtyři základní typy interakcí: *gravitační*, *elektromagnetická*, *silná* a *slabá*. Síly jsou důsledkem výměny dalších fundamentálních částic nazývaných *bosony*. Pro každý typ síly existuje jeden nebo více „nosičů“, které zprostředkovávají interakci (viz bosony v tabulce na druhé straně). Dobře známý foton je například boson, který zprostředkovává elektromagnetickou sílu. Výzkum ukázal, že tato síla a slabá síla odpovídající za radioaktivitu beta jsou dva projevy jedné, sjednocené *elektroslabé interakce*.

Standardní model

Standardní model základních částic a interakcí je teorie, která popisuje všechny pozorované částice a procesy působené silnou, slabou a elektromagnetickou interakcí kvarků a leptonů. Vysvětluje síly, které drží atomy a jádra pohromadě nebo které vedou k jejich rozpadu. K vytvoření této teorie, kterou dnes fyzikové částic běžně používají, vedla více než tři desetiletí teoretického a experimentálního úsilí.

Co zbývá udělat?

I přes nesporné úspěchy nechává standardní model mnoho otázek nevysvětlených. Proč jsou tři a právě jen tři rodiny kvarků a leptonů? Co dodává těmto částicím jejich velmi různé hmotnosti? Dojde při extrémně vysokých energiích k úplnému sjednocení všech čtyř sil? Budou při vyšších energiích objeveny další částice a síly? Jsou kvarky a leptony skutečně základní částice, nebo mají také strukturu? Proč je vesmír tvořen skoro úplně hmotou a je v něm jen málo antihmoty? Jaké částice tvoří obrovské množství temné (neviditelné) hmoty ve vesmíru? Aby mohli fyzici odpovědět na tyto a další otázky, budou stavět nové urychlovače a detektory částic, které jim umožní studovat stále vzácnější procesy při stále vyšších energiích, takové, které doposud nikdo zkoumat nemohl. Následující odstavce popisují otázky, na které se nové výzkumy zaměřují.

Tajemný kvark top

Po dlouhých osmnáct let od objevu pátého kvarku (t) hledaly experimenty jeho partnera ve třetí

rodině, kvark top. Trvalo to tak dlouho, protože jeho hmotnost je nečekaných a neuvěřitelných $175 \text{ GeV}/c^2$, více než 40 hmotností kvarku b ! Proč je jeho hmotnost mnohem větší než hmotnost ostatních kvarků je záhadou.

Experimenty s B mesony

V nových experimentech se zkoumají rozpady mezonů obsahujících kvarky b (viz prostřední obrázek dole na plakátu). Jedním z cílů této snahy je lépe porozumět nepatrným rozdílům mezi interakcí hmoty a antihmoty, např. porovnáváním rozpadů B mezonů ($d\bar{b}$, $u\bar{b}$ a $s\bar{b}$) s odpovídajícími anti- B mezony ($\bar{d}b$, $\bar{u}b$ a $\bar{s}b$). Věří se, že zkoumání těchto rozdílů povede k lepšímu pochopení toho, že vesmír, který pravděpodobně začínal se stejným podílem hmoty a antihmoty, nyní obsahuje skoro jen hmotu, ale téměř žádnou antihmotu.

Teorie strun a supersymetrie

Sjednocení kvantové teorie a relativity ve dvacátých letech vedlo k překvapující předpovědi antihmoty. Nyní se teoretici snaží rozvíjet teorii nazývanou *strunová*, která sjednocuje relativistickou kvantovou teorii a gravitaci. Při sjednocování gravitace s ostatními základními silami se objevila další překvapivá předpověď - pro každou známou částici hmoty (fermion) existuje nový partner, který je bosonem, a pro každý známý nosič síly (boson) existuje nový partnerský fermion. Tato nová symetrie mezi částicemi se nazývá supersymetrie. Předpovězené partnerské částice nebyly ještě objeveny, ale jejich hmotnosti by mohly být tak velké, že existující urychlovače neposkytují dostatečné energie na jejich vytvoření.

Hmotnost neutrin

Mnoho fyziků předpokládalo, že neutrína mají nulovou hmotnost. Jeden způsob, jak zjistit hmotnost neutrin, je sledovat jejich identitu, respektive změny jednoho typu neutrin na jiný (v tomto kontextu se mluví o oscilaci neutrin). Jestliže neutrína mají různé hmotnosti, mohou se „navzájem měnit jedno v druhé“.

Oscilace neutrin byla zjištěna ve velkých podzemních experimentech, které mimo jiné mohou detekovat neutrína produkovaná při průletu kosmického záření atmosférou. Tato neutrína proniknou celou Zemí a proto je detektory „vidí“ přilétat ze všech směrů. Výsledky ukazují, že neutrína vznikla v atmosféře poblíž místa

experimentu přicházejí s očekávanou frekvencí, zatímco neutrin přilétajících z velké vzdálenosti je méně. Zdá se, že tato neutrína mizí (jinak řečeno, oscilují na jiné typy neutrin).

Protože je neutrin mnoho (okolo 600 milionů na metr krychlový jen jako pozůstatek velkého třesku), hmotnost odpovídající třeba jen jedné miliontině hmotnosti elektronu by znamenala, že neutrína tvoří významný podíl hmoty vesmíru. Neutrína by tak hrála důležitou roli v utváření galaxií a jejich shluků. Tak by hmotnost neutrin přispívala k existenci neznámé temné hmoty vedle zářící hmoty hvězd a jiných vesmírných objektů. A tak, ačkoli neutrína patří do mikrosvěta, sahá jejich vliv až do oblasti kosmologie.

Hmota a Higgsův boson

Co určuje hmotnosti částic? Fyzici věří, že existuje pole nazývané Higgsovo, které je odpovědné za vytváření hmotnosti. Higgsovo pole, stejně jako magnetické a gravitační, prostupuje celým prostorem. Při našem popisu mikrosvěta si vždy navzájem odpovídají pole a částice, a tak vede předpoklad existence Higgsova pole k předpovědi nové částice, Higgsova bosonu. Je to částice s nulovým spinem a pravděpodobně velmi velkou hmotností. Třetí obrázek v dolní části schématu ukazuje proces, ke kterému může přispívat produkce a rozpad Higgsova bosonu na dva bosony Z . Nalezení Higgsova bosonu, který je jednou z ingrediencí standardního modelu, je cílem mnoha experimentů.

Projekt vzdělávání v oboru současné fyziky

CPEP (Contemporary Physics Education Project) je nezisková organizace pedagogů a fyziků. Materiály CPEP prezentují současný stav porozumění podstatě hmoty a energie, včetně hlavních objevů v posledních desetiletích. CPEP také sponzoruje mnoho akcí pro učitele. Informace o produktech CPEP najdete na webové stránce: <http://www.cpepweb.org/>, e-mail: pdg@lbl.gov nebo telefon +1510 486-5885.

Český překlad tohoto plakátu vznikl za podpory projektu MŠMT 1P04LA211 „Spolupráce ČR s CERN“.

Mnoho dalších poznatků o fyzice částic najdete na webových stránkách: <http://www-hep.fzu.cz/castice/>