

Mikrosvět

V následujícím seriálu se pokusíme přiblížit některá hlavní témata současné fyziky částic a práci českých institucí na problémech s nimi souvisejících. Tento článek představuje úvodní část a je věnován všeobecnému přehledu. V následujících pokračováních pak rozebereme jednotlivé experimenty a nastíníme si jejich teoretické pozadí.

Úvodem

Protože chceme popsat současný stav, historické aspekty ponecháme stranou. Čtenář je může nalézt například v knize J. Fischera - Průhledy do mikrokosmu¹.

Vzhledem k velké rozsáhlosti a složitosti oboru částicové fyziky se budeme dopouštět zjednodušení a vynechávat technické a výpočetní detaily. Velmi názorně jsou však některé z nich vysvětleny v knize M. Rojka a kol. - Fyzika kolem nás².

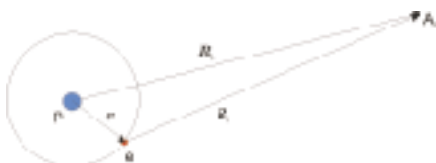
Druhy interakcí částic

V běžném životě se setkáváme s projevem pouze dvou silových působení (síla je efekt, kterým působí na těleso jiné těleso). Jedná se o sílu **gravitační**, díky které si vysvětlujeme např. (relativní) obíhání Země kolem Slunce nebo existenci přílivu a odlivu, a sílu **elektromagnetickou**, díky níž se elektromotor točí, tramvaj brzdí či látky drží pohromadě. Protože si však s pojmem síly v mikrosvětě nevystačíme, zavádíme pojem interakce, který je obecnější a zahrnuje nejen silové působení částic, ale i mechanismy jejich rozpadů.

Jako první si naši předkové nejspíše uvědomili **interakci gravitační** a patřičně ji využili například tím, že nechali mamuty padat do jam. Teprve pak si položili otázku, proč ebenová tyč, poté co ji třeli liščím ohonem, přitahuje malé kousky papíru. Postupem doby se však ukázalo, že si jen s gravitační a **elektromagnetickou interakcí** nevystačíme.

Projevilo se to na počátku 20. století, kdy se lidé začali zabývat strukturou atomu experimentálně. I když slovo „atom“ má v řečtině význam „nedělitelný“, E. Rutherfordovi se podařilo ukázat opak. Jeho experiment vyústil v představu, že atom se skládá z jádra a obalu. Později jsme tuto představu rozšířili: v jádru se nacházejí **neutrony** a **protony**, v obalu pak **elektrony**.

Jak je však možné, že mezi atomy, které jsou navenek elektricky neutrální, existují vazby?



Abychom si situaci zjednodušili, uvažujme atom složený z jednoho protonu a jednoho elektronu, který kolem něj obíhá.

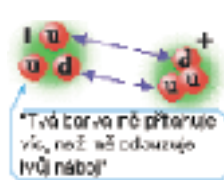
Zjistíme, že pro $|\vec{R}_e| \gg |\vec{r}|$ je výsledná elektrická síla působící na nabitě těleso v bodě A prakticky nulová a atom se bude skutečně jevit jako neutrální (přičemž není podstatné, kde se elektron na orbitě nachází). Pro malé hodnoty $|\vec{R}_e|$ to ale platit nebude. Výslednou sílu nazveme zbytkovou elektrickou interakcí a právě díky ní vznikají různé sloučeniny. I když náš model je velmi jednoduchý a ve skutečnosti je situace mnohem složitější, poskytuje nám jistou představu.

Další otázkou je soudržnost atomových jader, neboť neutrony jsou, jak již jejich název napovídá, částice elektricky neutrální a protony (jelikož mají shodný elektrický náboj) se vzájemně odpuzují. Gravitační interakce situaci „nezachrání“, protože je příliš slabá na to, aby udržela jádro pohromadě. Potřebujeme novou interakci! Ta byla nazvána „silnou“.

Silná interakce zodpovídá za soudržnost samotných neutronů a protonů, které se podle naší experimentálně ověřené představy skládají z dalších částic - **kvarků**.

A tak podobně, jako zbytková elektrická interakce zodpovídá za soudržnost molekul, zbytková silná interakce má na svědomí soudržnost jader.

Síla silné interakce je taková, že energie kterou by kvark potřeboval, aby se mohl vzdálit od svého kolegy, s rostoucí vzdáleností rychle narůstá. Proto také nemůžeme vidět jednotlivé kvarky a známe pouze částice z nich složené - **hadrony**. Ty se dále dělí na **mezony**, skládající se z páru kvark-antikvark a **baryony**, které obsahují kvarky tři. Přitom antikvark je objekt se stejnými fyzikálními charakteristikami, jako má kvark (např. hmotnost), kromě hodnot tzv. aditivních kvantových čísel (např. elektrický náboj), jež mají opačná znaménka.

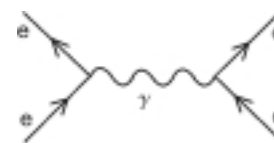


Aby ale situace nebyla tak jednoduchá, jsme nuceni přidat ještě další tzv. **slabou interakci**, vysvětlující rozpad neutronu na proton, elektron a elektronové antineutrino:

$$n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$$

Elektromagnetická a silná interakce zde nestačí, protože elektron neinteraguje silně a (anti)neutrino dokonce ani elektromagneticky.

Samotná představa o interakci spočívá v tom, že částice neinteragují přímo, ale prostřednictvím tzv. **virtuálních částic** - nosičů interakce. Jako příklad uvažujme elektromagnetickou interakci dvou elektronů:



Rozptyl elektronu na elektronu

Foton (γ), který se „vyměňuje“, však není běžným (reálným) fotonem. Obrázek, tzv. **Feynmanův diagram**, slouží pouze k názornému zobrazení vedoucího členu popisujícího zobrazený proces. Jedná se však o velmi užitečnou představu a později se k ní ještě vrátíme.

Stejnou úlohu, jakou má foton v elektromagnetické interakci, mají **intermediální bosony** (W^-, W^+, Z^0) pro slabou interakci a gluony pro interakci silnou. Jejich kolega graviton zatím nebyl nalezen.

Modelu komplexně popisujícímu elektromagnetickou, slabou a silnou interakci říkáme standardní model (SM). Naše dosavadní poznatky o něm jsou shrnuty v tabulce, do níž jsme přidali ještě několik dalších důležitých údajů.

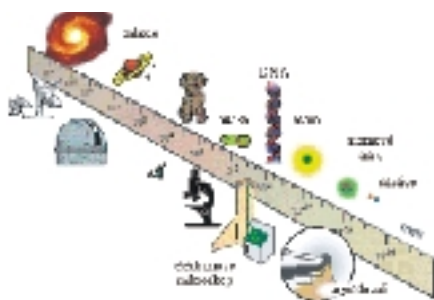
| INTERAKCE | gravitační | silná | elektromagnetická | slabá | celková |
|-------------------|------------|-------|-------------------|-------|---------|
| číslo na | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| mediální bosony | 1 | 8 | 1 | 3 | 13 |
| mediální kvarky | 0 | 6 | 2 | 0 | 8 |
| mediální lepton | 0 | 0 | 2 | 3 | 5 |
| mediální neutrino | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| mediální foton | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| mediální graviton | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| mediální gluon | 0 | 8 | 0 | 0 | 8 |
| mediální W boson | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| mediální Z boson | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| mediální H boson | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |

Duchovním otcům SM, teoretikům S. Weinbergovi, A. Salamovi a S. L. Glashowovi, byla udělena Nobelova cena v roce 1979, hlavním protagonistům objevu intermediálních bosonů, experimentátorům C. Rubbioví a S. van der Meerovi, se této pocty dostalo v roce 1984.

Jak prověřit naše představy ?

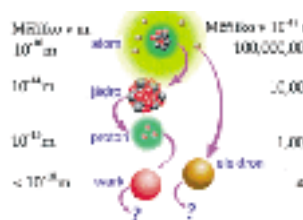
Zatím jsme si vyjmenovali interakce, o kterých si myslíme, že určují tvář našeho světa. Zůstává „drobnost“, prověřit naše představy experimentálně. Některé efekty gravitační interakce, jako jsou černé díry nebo gravitační čočky, musíme díky velmi slabému gravitačnímu působení studovat na skutečně velkém měřítku.

Existenci elektromagnetické interakce tes-



tujeme běžně, např. díky rádiu a televizi, a dá se říci, že se tak děje prakticky i naší přímou vzájemnou interakcí.

Pro studium vesmíru (přírody) používáme nástroje lidských rozměrů: dalekohledy, mikroskopové či naše smysly. Ke studiu slabé a silné interakce se však musíme přenést na velmi malou škálu, kde naše představivost může selhávat, a testovací nástroje musíme změnit také.



Používáme tzv. srážkové experimenty, při nichž zkoumaný objekt (částice) je ostřelován dalšími objekty (částicemi). Pokud při experimentu nedochází k rozbití zkoumaného objektu či vzniku dalších částic, hovoříme o **pružném rozptylu**. V opačném případě se jedná o **rozptyl nepružný**.

Právě ostřelováním jader atomů zlata (ve srovnání s elementárními částicemi obrovských objektů) částicemi α (heliová jádra) E. Rutherford zjišťoval jejich stavbu.

Pro rozptylové experimenty je podstatná energie. Abychom se dozvěděli něco o stavbě protonu pomocí jeho srážek s elektronem, musíme elektronu (a nejlépe i protonu) dodat energii 10-100 GeV. K tomuto účelu se používají urychlovače, a to buď **lineární** nebo **kruhové**.

Další možností jak studovat svět částic je využít **kosmického záření**. Tento způsob je také jediný, který umožňuje sledovat částice s energiemi, jakých nikdy na Zemi nedosáhneme. Navíc, vysvětlení vzniku a popis zdrojů těchto částic, např. vysokoenergetických fotonů či neutrin, je otevřený problém.

Urychlovače a detektory

Jako ukázkový příklad urychlovače použijeme **LEP** (zkratka anglického Large Electron-Positron Collider) v Evropské laboratoři pro fyziku částic **CERN** (Švýcarsko/Francie)³. Docházelo na něm k urychlování a srážkám svazků elektronů a jejich opačně nabitých partnerů (antičástic) - pozitronů. Celý urychlovač byl umístěn v tunelu zhruba 100 m pod zemským povrchem a jeho obvod činil téměř 27 kilometrů! Po dosažení požá-

dované energie obíhaly elektrony i pozitrony, vzájemně opačným směrem, po určitou dobu (v ideálním případě mnoho hodin) uvnitř prstence a na stanovených místech docházelo ke srážkám. Právě tam byly umístěny mohutné detektory, zařízení o objemu stovek krychlových metrů a hmotnosti tisíců tun, vyplněná elektronickou aparaturou, jež zaznamenávaly co nejvíce údajů o částicích vznikajících při srážkách. Údaje ze zapisovaly a dále vyhodnocovaly pomocí výkonných počítačů.

Na urychlovači LEP byly čtyři takové detektory, rovnoměrně rozmístěné po obvodu prstence. Dostaly jména ALEPH, DELPHI, OPAL a L3. Skupina českých fyziků se podílí na dobíhajícímu experimentu **DELPHI** (DEtector with Lepton, Photon and Hadron Identification).

I když experimenty na LEPu skončily v říjnu roku 2000, analýza jejich výsledků bude pokračovat ještě několik let. Celý urychlovač je postupně demontován a do stejného podzemního tunelu bude instalován urychlovač LHC (Large Hadronic Collider). Až kolem roku 2006 zahájí činnost, budou se v něm srážet vstříčné svazky protonů při celkové energii až 15 000 GeV. Čeští fyzikové při tom nebudou chybět.

Fyzika částic v ČR

V České republice je několik pracovišť, zabývajících se fyzikou částic. Jedná se o Sekci fyziky elementárních částic Fyzikálního ústavu Akademie věd ČR v Praze, Ústav částicové a jaderné fyziky na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy v Praze, Ústav jaderné fyziky Akademie věd ČR v Řeži, Fakultu jadernou a fyzikálně inženýrskou na ČVUT v Praze a Přírodovědeckou fakultu UP v Olomouci. Každá z těchto institucí se podílí na některém z následujících významných experimentů probíhajících v současnosti na pracovištích v evropském CERN, v německém **DESY** (Deutsches Elektronen Synchrotron, Hamburg), americkém **Fermilab** (Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, Illinois) či francouzském **Themis** (Pyreneje): DELPHI, DIRAC, WA 97 a 98, NA57 (CERN), D0 (Fermilab), H1 (DESY), CELESTE (THEMIS) či připravujících se v nejbližší budoucnosti: ALICE, ATLAS (CERN), AUGER (Fermilab).

Na výzkumu v oblasti částicové fyziky pracují také jednotliví pracovníci z Astronomického ústavu v Ondřejově, Ústavu informatiky v Praze, Fakulty strojní ČVUT v Praze, Přírodovědecké fakulty MU v Brně, Elektrotechnické fakulty ZČU v Plzni a Filozoficko-přírodovědecké fakulty Slezské univerzity v Opavě.

Centrum částicové fyziky

Velkým úspěchem českých částicových fyziků se stalo založení „Centra částicové fyziky“, které je jedním z 21 výzkumných center (typu A) finančně podporovaných státem.

Základním posláním výzkumného centra je zajištění podmínek pro efektivní účast pracovních týmů Fyzikálního ústavu AV ČR a Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy ve spolupráci na experimentálním a teoretickém výzkumu v mezinárodních střediscích fyziky částic. Zdůrazňujeme, že v týmech, společně se zkušenými vědci, pracuje také řada studentů a doktorandů, kteří tak získávají cenné zkušenosti a kontakty na mezinárodní úrovni.

Informace a technologie

Vývoj a výroba materiálů, součástek a strojů, určených pro experimenty není ale jen záležitost akademických institucí. Je to lukrativní záležitost pro řadu firem, které tím, že se zúčastňují špičkových vědeckých experimentů, získávají nejen lukrativní zakázky, ale potvrzují svou vysokou úroveň a solidnost, což jim pomáhá při navazování dalších obchodních vztahů. Je proto v zájmu českých firem, aby se takových akcí účastnily a udržovaly kontakty s vědeckými institucemi.

Příkladem jim mohou být firmy ŽDAS (speciální ocelové nosníky pro detektor), Válcovny v Králově Dvoře u Berouna (ocelové absorbatory), Ferox Děčín (nádoby na kapalné helium) nebo Tesla Sezam (křemíkové detektory), které spolupracují s CERN. Z dalších firem jmenujme sklárny Cavalier v Sázavě (výroba skleněných prefabrikátů) a optické dílny v Turnově (broušení a pokovení zrcadel) pracující na zakázce zrcadel pro experimenty CAT a CELESTE ve Francii. Celkový návrh a realizaci pak zajistily Spojené laboratoře AV a UP v Olomouci.

A co dál?

Příště se nejprve vrátíme k potvrzení existence intermediálních bosonů. Pak spolu objevíme poslední z kvarků, následovat bude Higgsov boson a fyzika neutrin, která se dočkala v poslední době přelomového momentu. A na závěr nás čekají fotonové spršky.

Nashledanou příště.

Zdroje

Při přípravě úvodní části seriálu byly použity následující zdroje:

- www-hep.fzu.cz/~rames/outreach/castice.html
- www-hep.fzu.cz/adventure/
- www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/

Děkuji R. Leitnerovi, J. Dolejšimu, J. Hořejšimu, M. Malinskému (MFF UK), J. Ramešovi, J. Chýlvi a J. Niederlemu (FzÚ AV ČR) za cenné připomínky při přípravě tohoto příspěvku.

¹ J. Fischer, Průhledy do mikrokosmu, Mladá fronta, edice Kolumbus, 1986.

² M. Rojko a kol., Fyzika kolem nás IV, Scientia Praha, 1998, učebnice pro 9. tř. ZŠ.

³ J. Rameš, Fyzika na urychlovači LEP v CERN, www-hep.fzu.cz/~rames/outreach/text.html

TOMÁŠ SÝKORA ■