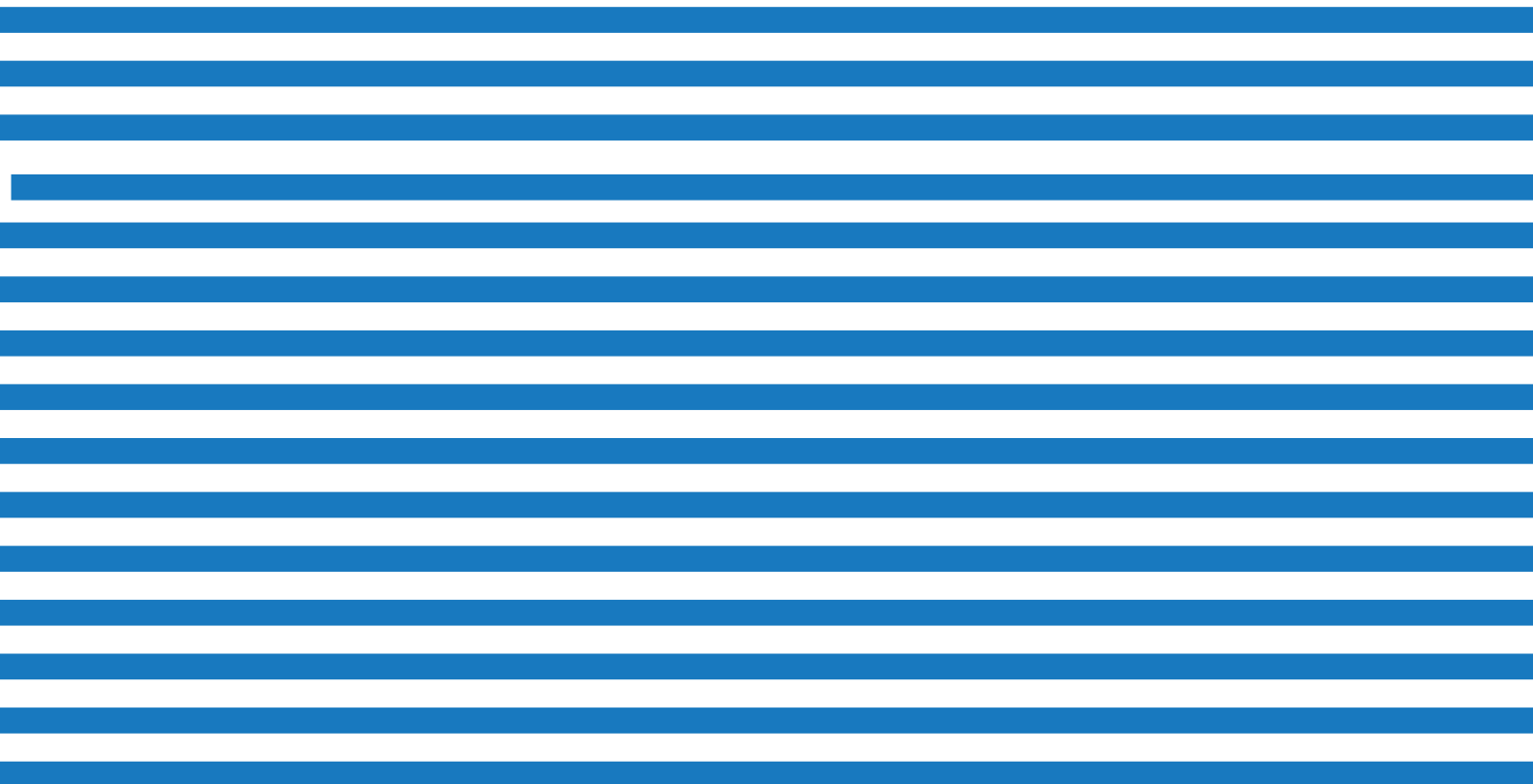




ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA JADERNÁ A FYZIKÁLNĚ INŽENÝRSKÁ



Navazující profesně orientovaný magisterský program
Učitelství (matematiky, fyziky, chemie) pro střední školy



Současné trendy ve vývoji a aplikaci přírodních věd

prof. Dr. Boris Tomášik

www.fjfi.cvut.cz

INFOGRAFIKA

	Cíle kapitoly
	Časová náročnost
	Klíčové pojmy
	Definice
	Výzva / Soutěž
	Skupinová práce
	Příklad / Případová studie
	Úkol
	Didaktický test / Diagnostika
	Termínovaný úkol
	K zamyšlení / Upozornění
	Otázky, k diskuzi
	Námět pro praxi
	Literatura
	Klíč / Řešení úloh
	Zdroj (odkaz)
	Shrnutí / Zopakování

OBSAH

MOTIVACE.....	3
Kapitola 1 – Částicová a jaderná fyzika.....	4
DALŠÍ TÉMATA.....	8

MOTIVACE

Učitel musí ve své praxi čelit několika výzvám. Jednou z nich je, že může být konfrontován s dotazy ohledně moderních výsledků výzkumu, které jsou často na hranici poznání. Tato výzva je aktuální spíše pro učitele na střední škole.

Mohli bychom namítat, že v dnešní informační době klesá důležitost této informativní role učitele, který byl v minulosti častokrát jediným, kdo v podobných případech dokázal a mohl takové poznatky žákům zprostředkovat. Žáci mají dneska být vedeni k dovednostem, aby si různé informace dokázali vyhledat sami a posoudit věrohodnost zdrojů. Právě ta se však dneska stává problematickou. Kromě toho, existuje množství zdrojů v jakési „šedé zóně“, které sice nejsou nepravdivé, ale častokrát podávají fakta a myšlenky povrchně či nepřesně.

Proto zůstává role učitele neméně důležitá, jak tomu bylo v minulosti. Měl by být autoritou, která dokáže informace nejenom třídit, ale má základní orientaci, která mu umožňuje další zdroje úspěšně vyhledávat a posuzovat jejich kvalitu a věrohodnost.

FJFI je výzkumně a aplikačně zaměřená fakulta, na které se v mnoha ohledech pěstuje mezinárodně špičkový výzkum. Toho využívá tento předmět, ve kterém budou studentům zprostředkovány výsledky a stav poznání zejména v oborech, které jsou důležité a zajímavé z hlediska budoucnosti a ve kterých je fakulta aktivní.

Předmět bude realizován často formou přednášek od lidí, kteří se danými tématy aktivně zabývají. Kromě toho využijeme možnost exkurzí k technickým a experimentálním zařízením, kdy to bude možné. V několika případech budou exkurze organizovány ve spolupráci s jinými institucemi, například s ústavem Akademie věd.

Úlohou studentů bude, kromě účasti na přednáškách a exkurzích, vybrat si některé téma a na základě přednášky či exkurze o něm zpracovat seminární práci.

KAPITOLA 1 – ČÁSTICOVÁ A JADERNÁ FYZIKA



Cíle kapitoly

Tato kapitola má za cíl seznámit studenty s výzkumem v oblasti částicové a jaderné fyziky ve světovém kontextu a s přihlédnutím na aktivity FJFI v této oblasti.



Časová náročnost

1 blok, téma bude plně odpřednášeno



Klíčové pojmy

Standardní model, Higgsův boson, Srážky těžkých iontů, Kvark-gluonové plazma



Příklad

Vybrané směry výzkumu v částicové fyzice

doc. Mgr. Jaroslav Bielčík, Ph.D.,
FJFI ČVUT

Přestože lidé už od nepaměti přemýšleli nad základní stavbou světa, až s rozvojem jaderné fyziky jsme se přiblížili k poznání, že svět kolem nás se skládá z relativně malé skupiny základních částic, které mezi sebou vzájemně interagují pomocí čtyř typů sil: gravitační, elektromagnetické, slabé a silné. Dějiny jaderné fyziky se začaly psát před více než sto lety. V roce 1895 objevil Wilhelm Roentgen záření „X“, o rok později objevil Henry Becquerel radioaktivitu uranu a v roce 1911 Ernest Rutherford malé a kladně nabitě jádro. Doba, kdy se fyzici museli spoléhat při produkci nových částic jen na kosmické záření, skončila s nástupem urychlovačů a se zlepšením detekčních metod. Urychlovač Cosmotron v Brookhavenské národní laboratoři, který byl uveden do provozu v roce 1953, byl schopen produkovat pomocí protonů urychlených na energii 3,3 GeV všechny částice tehdy známé z kosmického záření a rovněž umožnil objevit částice do té doby nepozorované. Éra elementárních částic mohla začít.

V roce 1964 přišli fyzikové Murray Gell-Mann a George Zweig s nápadem, že elementární složkou hmoty jsou ve skutečnosti kvarky. Pro detailní poznání vlastností interakce mezi kvarky bylo nutné budovat další urychlovače, které by dokázaly urychlit částice jako proton na vyšší energie. Část kinetické energie získaná urychlením se při srážce s terčíkem nebo s jinou částicí urychlenou v opačném směru promění na nové částice. Čím více energie je k dispozici, tím hlouběji do mikrosvěta se můžeme podívat a tím neobvyklejší částice můžeme pozorovat. Stavba a provoz urychlovačů však stojí nemalé finanční prostředky a úsilí, proto probíhá formou velkých mezinárodních experimentů. Na FJFI je několik týmů vědeckých pracovníků a studentů, které jsou mimořádně aktivně zapojeny do výzkumu v oblasti fyziky elementárních částic. V USA dlouhodobě pracujeme na experimentu STAR na urychlovači RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) a experimentu ePIC na připravovaném urychlovači EIC (Electron-Ion Collider) v Brookhavenské národní laboratoři. Účastníme se taky na neutrinových experimentech NOVA a DUNE. V Evropě jsme aktivně zapojeni

v CERN na experimentech na urychlovači LHC (ALICE a ATLAS) a také na experimentech DIRAC a AEGIS. V rámci projektu FAIR v německém Darmstadtu připravujeme experiment CBM.

Higgsův boson

Objev Higgsova bosonu v roce 2013 experimenty ATLAS a CMS na urychlovači LHC v CERNu doplnil poslední chybějící částici do Standardního modelu částicové fyziky. Tento model popisuje všechny známé elementární částice a interakce mezi nimi. Higgsův boson je projevem mechanismu, díky kterému některé z těchto částic získávají hmotnost. Nicméně je podstatná část hmotnosti objektů kolem nás, včetně nás, způsobena jiným mechanismem, takzvaným spontánním narušením chirální symetrie. To studujeme při zkoumání jaderné hmoty v extrémních podmínkách.

Už v době objevu Higgsova bosonu bylo zřejmé, že Standardní model není konečnou teorií, která popisuje mikroskopickou strukturu našeho vesmíru. Na některé otevřené problémy nemá Standardní model odpovědi. Příkladem je existence temné hmoty, pro kterou zatím nemáme vysvětlení. Proto se nedá vyloučit, že na urychlovači LHC objevíme něco zcela nového a doposud nepozorovaného, co by mohlo objasnit i tuto záhadu.

Velká skupina odborníků Katedry fyziky FJFI, v úzké spolupráci s kolegy z Fyzikálního ústavu AV ČR, se věnuje této problematice v experimentu ATLAS na LHC.

Jaderná hmota v extrémních podmínkách

Charakter silné interakce je takový, že za normálních podmínek panujících v jádrech prvků jsou kvarky a gluony uvězněné. Nemůžeme je pozorovat jako volné částice – v kombinacích se skládají do pozorovatelných hadronů. Vesmír, který vznikl před přibližně 14 miliardami letů, krátce po Velkém třesku prošel stavem kvark-gluonového plazmatu, v němž byly kvarky a gluony volné. Teplota vesmíru v tomto okamžiku dosahovala biliardy stupňů. Vesmír se rychle rozpínal, po několika mikrosekundách se ochladil na několik bilionů stupňů a prošel fázovým přechodem do stavu, ve kterém se kvarky svázaly do jednotlivých protonů a neutronů. Stav raného vesmíru je možné vytvořit i v laboratorních podmínkách, pomocí srážek těžších jader urychlených na dostatečnou energii. Takové srážky studují experimenty i v rámci výzkumného programu urychlovače LHC v CERN. Srážky při nižších energiích se zkoumají pomocí urychlovače RHIC v BNL na Long Islandu nedaleko New Yorku. V případě čelní srážky jader olova na LHC anebo zlata na RHIC se jaderná hmota obsažená v urychlených jádrech na okamžik prudce zahřeje na teplotu několika bilionů stupňů a kvarky se mohou na chvíli uvolnit z protonů a neutronů. Při následném rozpínání a ochlazení kvarky opět zkombinují do hadronů, které v počtu několika tisíc pozorujeme v detektorech částic. Na základě analýzy naměřených údajů skládáme obrázek toho, jaké byly vlastnosti vytvořeného stavu hmoty. Ukazuje se, že jaderná hmota v těchto extrémních podmínkách má charakter kapaliny s velmi malou viskozitou. Urychlovače jako LHC v CERN a RHIC v BNL nám tak dovolují studovat hmotu z počátku našeho vesmíru.

V problematice jádro-jaderných srážek pracujeme na KF FJFI na experimentech STAR na RHIC a ALICE na LHC. Podílíme se na zajištění jejich provozu při sběru dat a následné analýzy se zaměřením – mimo jiné – na určení energetických ztrát kvarků a gluonů při průchodu hustou a horkou jadernou hmotou. Také jsme zapojeni do vývoje a konstrukce dráhových detektorů pro rekonstrukci částic obsahujících půvabný (charm) kvark.

Připravovaný experiment CBM (Compressed Baryonic Matter) v budovaném výzkumném centru FAIR v Darmstadtu v Německu umožní v budoucnosti studovat jadernou hmotu při hustotách doposud experimentálně nedosažitelných. Měření v těchto podmínkách pomohou pochopit způsob, jak je přesně tvořena hmota pozorovaných hadronů.

Antihmota a exotické formy hmoty

Někdy je zajímavé studovat různé neobvyklé systémy, abychom se dozvěděli, jak nějaká teorie funguje v různých podmínkách. Jako příklad může sloužit produkce pion–pionových atomů, kde

jeden kladně nabitý pion obíhá kolem druhého záporně nabitého pionu. Přesné změření doby života takovéto soustavy je výborným testem teorie silných interakcí při nízkých energiích. Právě na tom se podílí skupina z Katedry dozimetrie a aplikace ionizujícího záření FJFI v rámci experimentu DIRAC (Dimension Relativistic Atom Complex) v CERN. V tomto experimentu nesou zodpovědnost za horizontální hodokopy a systém kalibrace scintilačních detektorů.

Experiment AEGIS v CERN, ve kterém má FJFI rovněž účast, je zaměřen na výrobu antivodíkového svazku a zkoumání jeho vlastností. První cíl experimentu je změření gravitačního zrychlení g pro antihmotu v poli Země. Jedná se o přímé měření gravitačního působení.

Literatura

- [1] M. Gell-Mann, *Symmetries of baryons and mesons*, Physical Review 125, 1067 (1962)
- [2] G. Zweig, *An SU3 model for strong interaction symmetry and its breaking II*, CERN preprint 8419/TH.412, [cit. 11. 1. 2024]. Dostupné online: https://cds.cern.ch/record/570209/files/CERN_Report_TH-412_corrected.pdf?version=1
- [3] ATLAS Experiment Resources, [cit. 11.1.2024]. Dostupné online: <https://atlas.cern/Resources>
- [4] ALICE Experiment Resources, [cit. 11.1.2024]. Dostupné online: <https://www.home.cern/science/experiments/alice>
- [5] Experiment CBM v Darmstadtu, [cit. 11.1.2024]. Dostupné online: <https://www.cbm.gsi.de>



Úkol

Absolvujte přednášku na téma částicové fyziky.



Termínovaný úkol

V průběhu semestru vypracujte seminární práce na zadané téma z těch, které budou probrány.



K diskusi, otázky

Pokuste se zformulovat odpovědi na následující otázky:

- Které jsou aktuálně zajímavé zkoumané problémy v částicové fyzice?
- Čím je částicová fyzika užitečná pro běžný život?



Souhrn

Aktuální experimentální výsledky a potvrzené teoretické poznání ohledně mikroskopické struktury našeho světa jsou shrnuté ve Standardním modelu částicové fyziky. Podle něho:

- Základní částice hmoty jsou kvarky a leptony.
- Existují jenom čtyři typy interakcí: elektromagnetická, slabá jaderná, silná jaderná, gravitační. Elektromagnetickou interakci je možné sjednotit se slabou a výsledek nazýváme elektroslabou interakcí. Gravitační interakce je příliš slabá na to, aby hrála jakoukoliv roli na úrovni elementárních částic, v porovnání s ostatními třemi interakcemi.
- Na úrovni částic se projevují kvantové efekty. U interakcí se to projevuje tak, že jsou zprostředkované výměnou kvant, které se chovají jako částice.
 - o Kvantem elektromagnetické interakce je foton
 - o Kvantem slabé jaderné interakce jsou bosony W^+ , W^- a Z
 - o Kvantem silné jaderné interakce jsou gluony
 - o Kvantem gravitační interakce by byl graviton, ale pro gravitační interakci zatím nedokážeme kvantovou teorii zformulovat.
- Kvarky interagují prostřednictvím všech čtyř typů interakcí. Nemůžou existovat samostatně, ale jsou vždy vázané ve složených silně interagujících částicích, které nazýváme hadrony. Hadronů známe několik typů:
 - o Mezony mají celočíselný spin a v kvarkovém modelu se skládají z jednoho kvarku a jednoho antikvarku.
 - o Baryony mají poločíselný spin a v kvarkovém modelu se skládají ze tří kvarků. Nejznámějšími baryony jsou proton a neutron. Existují i antibaryony – ty se skládají ze tří antikvarků.
 - o Existují i jiné typy hadronů, o kterých prokazatelně víme, že se skládají z většího počtu kvarků. Pentakvarky jsou ze čtyř kvarků a jednoho antikvarku. Tetrakvarky jsou ze dvou kvarků a dvou antikvarků
- Existuje šest typů kvarků: up, down, charm, strange, top, bottom. Proton a neutron, a tím pádem celá stabilní hmota kolem nás, se v kvarkovém modelu skládají jenom z kvarků up a down.
- Leptony neinteragují silně, ale interagují prostřednictvím slabé a elektromagnetické (a gravitační) interakce.
 - o Mezi leptony patří elektron, mion a tau-lepton (seřazené podle hmotnosti)
 - o Těžší leptony se slabou interakcí proměňují na lehčí, takže stabilní je jenom elektron, který jediný se vyskytuje v atomech stabilní hmoty.
- Ke každému leptonu existuje i jeho typ neutrína, takže známe neutrína elektronové, mionové a tau-neutrína. Neutrína nemají elektrický náboj a interagují jenom prostřednictvím slabé jaderné interakce
- Higgsův boson je poslední částicí Standardního modelu, která byla objevena. Je to kvantum Higgsova pole. Higgsovo pole vyplňuje celý prostor a interakcí s ním získávají svoji hmotnost hlavně bosony W^+ , W^- a Z , ale i kvarky a leptony.

Už dnes však víme, že Standardní model nedokáže odpovědět na všechny otevřené otázky. Příkladem je existence tmavé hmoty, o které víme z pozorování rotace galaxií a která se nemůže skládat ze žádné z částic Standardního modelu. Dalším problémem, ve kterém Standardní model nedokáže dát uspokojivou odpověď je baryogeneze, teda vysvětlení nerovnováhy mezi hmotou a antihmotou v současném vesmíru – hmoty je více než antihmoty. To dnes vede ke hledání rozšíření Standardního modelu které by mělo oporu v experimentálních datech a otevřené problémy by vyřešilo.



Další zdroje – články dostupné online

[1] The Review of Particle Physics [cit. 11.1.2024], dostupné online: <https://pdg.lbl.gov>

DALŠÍ TÉMATA

1. Urychlovače a detektory, jejich aplikace v medicíně a průmyslu
2. Jaderné štěpení a jaderné reaktory
3. Fyzika plazmatu a termojaderná fúze
4. Radioaktivita, její aplikace a ochrana před zářením
5. Moderní chemie a její aplikace od průmyslu po medicínu
6. Kvantové technologie
7. Soudobé trendy v matematice a jejich aplikace v životě