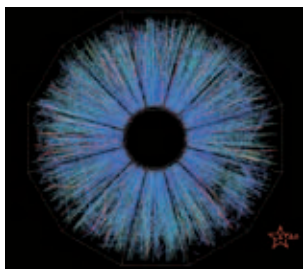


HORKÁ A HUSTÁ JADERNÁ PRAPOLÉVKA V LABORATOŘI

Jádro-jaderné srážky umožňují unikátní studium základních vlastností jaderné hmoty a její struktury. Na Katedře fyziky Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské (FJFI) Českého vysokého učení technického v Praze pracuje výzkumný tým, který se v rámci experimentu STAR v Brookhavenské národní laboratoři v USA komplexně zabývá problematikou produkce těžkých kvarků a jejich interakci s hustou a horkou jadernou hmotou.



Již po staletí se lidé snaží pochopit základní principy a fyzikální zákony světa, který nás obklopuje. Navzdory tomu, jak se svět a procesy v něm probíhající jeví složité a rozmanité, postupně jsme dospěli k poznání, že na úplně elementární úrovni je všechna hmota složena z několika málo elementárních částic,

kteří na sebe působí různými silami. Tyto základní částičky hmoty jsou kvarky a leptony. Na popis běžné hmoty kolem nás si vystačíme se dvěma nejjednoduššími kvarky: u (up – horní) a d (down – dolní) a elektronem. Z těchto dvou kvarků se skládají protony (uud) a neutrony (ddu), které tvoří jádra prvků. Atomové obaly jsou tvořeny elektrony. Příroda se však ukazuje být mnohem pestřejší.

Při experimentech s kosmickým zářením, pozorováním částic, které k nám přilétají z vesmíru, a poté také na experimentech na urychlovačích částic, se ukázalo, že existují i další typy mnohem těžších kvarků s (strange – podivný), c (charm – půvabný), b (bottom – spodní) a t (top – svrchtní). Nejtěžší kvark t má hmotnost jako 170 protonů. Kromě elektronů také dále existují jim podobné, ale těžší leptony – miony a tauony. Ke všem leptonům existují neutrina, která mají velmi malou hmotnost. Všechny tyto částice mají také své antičástice. Částice a antičástice mohou navzájem anihilovat a uvolnit při tom energii odpovídající jejich klidové hmotnosti. Také je možné analogicky vytvořit z energie hmotu ve formě párů částic a antičástic.

Známe čtyři druhy sil: gravitační, elektromagnetickou, silnou a slabou. Na kvantové úrovni jsou zprostředkovány pomocí intermedialních částic. Podobně jako fotony souvisí s elektromagnetickou silou, tak je silná síla přenášena gluony a slabá síla částicemi W a Z.

Silná interakce, která váže kvarky do protonů, neutronů a dalších částic, má však podivuhodný charakter. Na krátké vzdálenosti necítí kvarky žádnou silnou sílu. Když kvarky začneme od sebe vzdalovat, silná síla, podobně jako pružina, jim nedovolí se od sebe oddělit. Při dalším zvyšování energie se začnou tvořit páry kvarků-antikvarků, avšak kvarky není možné z jejich vazby osvobodit. Tento neobvyčejný charakter silné síly způsobuje, že kvarky není možno pozorovat přímo, protože zůstávají uvězněny v částicích, které jsou z nich složeny.

Krátce po Velkém třesku panovaly ve vesmíru takové podmínky (vysoké teploty a hustoty), že všechna hmota byla ve formě prapolevky volných kvarků a gluonů. Vesmír se rozpínal a ochlazoval

a přibližně po několika mikrosekundách nastal fázový přechod do stavu, kdy byly kvarky a gluony uvězněny ve složitějších částicích. V tomto uvěznění setrvaly zbylých 14 miliard let. V ultrarelativistických jádro-jaderných srážkách v urychlovačích je možné v laboratoři dosáhnout podobných podmínek, jaké byly na počátku vesmíru a kvarky z této vazby na malý okamžik uvolnit.

KVARK-GLUONOVÉ PLAZMA

Stav husté a horké jaderné hmoty po srážce trvá velmi krátce a nedá se pozorovat přímo. Můžeme však studovat tisíce částic, které nakonec z místa srážky vyletí. K měření vlastností těchto částic je nutno použít systém detektorů, které umožní určit o jaký typ částic se jedná, jakou mají hybnost, náboj a jestli nevznikly rozpadem nějaké jiné zajímavé mateřské částice. Za tímto účelem na urychlovači RHIC v Brookhavenské národní laboratoři v USA pracují v současnosti dva velké mezinárodní experimenty STAR a PHENIX.

Hlavním objevem experimentálního programu na RHICu bylo poznání, že jaderná hmota ve stavu uvolněných kvarků a gluonů (tzv. kvark-gluonového plazmatu, kterého se podařilo dosáhnout), se chová jako ideální kapalina a ne jako plyn navzájem neinteragujících kvarků a gluonů. To se navenek projevuje kolektivním chováním – tokem částic. Tento tok je možné popsat rovnicemi hydrodynamiky pro kapalinu s téměř nulovou viskozitou. Dalším objevem bylo, že kvark-gluonové plazma je nepropustné pro energetické lehké kvarky a gluony.

[AUTOR]

Jaroslav Bielčík je vědeckým pracovníkem Katedry fyziky Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze, kde vede výzkumný tým zkoumající vlastnosti horké a husté jaderné hmoty na experimentu STAR. Je odborníkem na problematiku jádro-jaderných srážek. Vystudoval jadernou a částicovou fyziku na MFF UK v Praze a teoretickou fyziku na Univerzitě v Bergenu v Norsku. Doktorát získal na Technické univerzitě v Darmstadtu v Německu, na Yaleově Univerzitě v USA se zabýval studiem půvabných mezonů. V letech 2007-2012 vedl fyzikální skupinu těžkých kvarků experimentu STAR. Participuje také na experimentu ALICE v CERN.

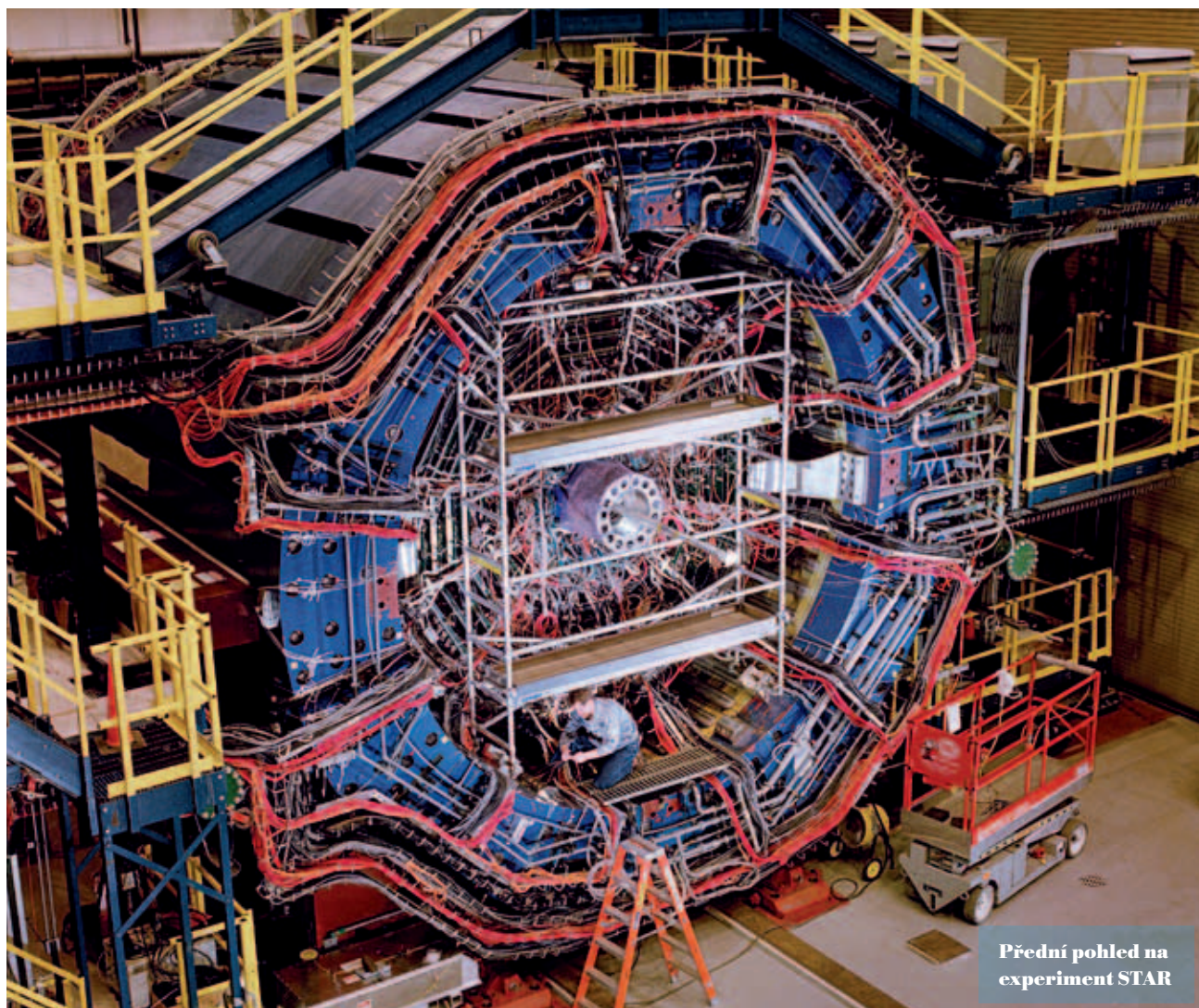
Výzkumný tým vědců a studentů katedry fyziky FJFI ČVUT se zaměřil na studium produkce těžkých kvarků v rámci experimentu STAR. Podařilo se nám provést první měření produkce mezonu D^0 (který obsahuje těžký půvabný kvark) v srážkách protonů s protony při dvou nejvyšších energiích 200 GeV a 500 GeV. Ukázalo se, že toto měření souhlasí s výpočty poruchové kvantové chromodynamiky a je proto vhodnou referencí pro studium produkce v jádro-jaderných srážkách. Měření ze srážek zlata se zlatem ukázalo, že kvark-gluonové plazma je nepropustné také pro těžké kvarky, což se původně neočekávalo. V spolupráci s Lawrence Berkeley národní laboratoří v Berkeley, USA se podílíme na přípravě detektoru Heavy Flavor Tracker, který umožní mnohem přesnější měření půvabných mezonů.

V září 2013 spolupřordáme v Praze 25. ročník letní školy Indian-Summer School of Physics, Understanding Hot & Dense QCD Matter, která se bude podrobně zabývat fyzikou jádro-jaderných srážek a poskytne vynikající příležitost seznámit se s aktuálními poznatky oboru studia horké a husté jaderné hmoty.

—Jaroslav Bieličk, KF FJFI ČVUT v Praze

Urychlovač RHIC

RHIC (angl. Relativistic Heavy Ion Collider) je urychlovač, který se nachází v Brookhavenské národní laboratoří na Long Islandu ve státě New York v USA. RHIC je prvním specializovaným urychlovačem na světě, který je schopen urychlovat těžké ionty, jádra atomů, na rychlosti blízké rychlosti světla a srážet je. Na urychlovači RHIC se typicky srážejí jádra zlata, ale je možné srážet různá jádra – od protonů až po jádra uranu. Při energetické srážce dvou iontů se z jejich kinetické energie může na velice krátkou dobu vytvořit velmi horká a hustá jaderná hmota. Dosažená teplota při srážce je asi 250 000 tisíckrát větší než teplota ve středu Slunce.



Přední pohled na experiment STAR