

Prvních pár mikrosekund

O. Faltys

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

o.faltys@seznam.cz

Abstrakt

Experiment v laboratoři RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) s největší pravděpodobností prokázal existenci nového stavu hmoty tzv. kvark – gluonového plazmatu. Podal naprosto překvapující informace ohledně chování tohoto média. Z naměřených údajů vyplývá, že toto médium vykazuje známky chování kapaliny a nikoliv teorií předpokládaného plazmatu.

1 Úvod

Fyzici se domnívají, že v nejranějších fázích vývoje našeho vesmíru (v prvních mikrosekundách po Velkém třesku) se veškerá hmota nacházela ve stavu, který označujeme jako tzv. kvark – gluonové plazma. Tento stav hmoty (a jeho fázové přechody) fyziky nesmírně zajímá, protože v jeho chování se zřejmě nalézá klíč k pochopení těch nejelementárnějších sil či raného stádia vývoje vesmíru. Je ale námi označované

kvark – gluonové plazma skutečně novým stavem hmoty? A jestli ano, tak jaké má vlastnosti? Tato práce je zaměřena na experiment prováděný v laboratoři RHIC v Brookhavenu v Americe, který měl potvrdit (či vyvrátit) existenci kvark – gluonového plazmatu. Experiment prováděný v RHIC navazuje na experiment provedený v roce 2000 na urychlovači SPS (Super Proton Synchrotron) v CERNU.

Při tomto pokusu (SPS) jádro olova o energie až 160 GeV (na každý svůj nukleon) narazilo do terče, kde se srazilo s dalším jádrem olova, které ovšem bylo v klidu. Z naměřených údajů vyplývalo, že zde na velice krátkou dobu vznikl zatím nepozorovaný stav hmoty a to již zmíněné kvark – gluonové plazma.

V urychlovači RHIC se má při srážce dvou těžkých jader uvolnit ještě podstatně více energie než na urychlovači SPS. Hlavní rozdíl spočívá v tom, že v RHIC (na rozdíl od SPS) byly proti sobě urychleny těžká jádra, která se čelně srazila.

2 RHIC



Obr. 1 Laboratoř RHIC

Urychlovač RHIC se primárně skládá ze dvou prstenců dlouhých 3,8 km, kde se proti sobě urychlená těžká jádra srazí téměř rychlostí světla (99,99% rychlosti světla). Dráhy prstenců se křížují celkem v šesti místech. Ve čtyřech z nich se jádra srazí čelně a vyvolají miniaturní velké třesky. Částice vylétující z místa srážek jsou analyzovány citlivými detektory.

3 Průběh srážky

- Dva svazky proti sobě letících jader jsou urychleny až na 99,99% rychlosti světla. Při této rychlosti připadá v RHIC na každý proton a neutron energie 100-200 GeV.
- V důsledku relativity dojde ke zploštění atomových jader na takovou úroveň, že se každý jeden nukleon (proton nebo neutron) z jednoho jádra srazí právě s jedním nukleonem z druhého jádra.

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

- Všechny protony a neutrony se doslova roztaví a vznikne neuvěřitelně malá ohnivá koule.
- V okamžiku srážky dosahuje tlak generovaný srážkou až 10^{30} násobek atmosférického tlaku; teploty uvnitř koule dosahují až bilionů stupňů Celsia.
- Při tomto třesku se osvobozuje a interaguje pochopitelně velice mnoho částic (až 5000). Jsou to různé druhy kvarků, antikvarků, fotonů, elektronů a celá řada dalších částic.
- Celá soustava se ale velice rychle (až téměř rychlostí světla) rozpíná, tím se ochlazuje kvark - gluonové médium a teploty již klesnou na teplotu, kdy spolu mohou kvarky, antikvarky a gluony opět rekombinovat do hadronů. Vzniká tzv. hadronový plyn.
- Tyto hadrony (a další částice vzniklé při srážce jader) vlétají do detektorů, kde se provádějí různá měření.

4 Nový stav hmoty

Ze získaných informací zřejmě skutečně vyplývá, že na velice krátkou dobu vznikl nový stav hmoty. Pro existenci nového stavu hmoty hovoří nejvíce potlačení produkce mezonu J/ψ. Mezon je částice, jenž se skládá z dvojice kvark – antikvark. Silovou interakci mezi kvarky zprostředkovávají gluony. V kvark – gluonovém plazmatu se mezi kvarky a antikvarky nalézá takový počet gluonů, že toto množství gluonů částečně odstíní silové působení mezi kvarky. Tím je znatelně snížena produkce mezonu J/ψ. Mezon J/ψ se skládá z dvojice kvark c – antikvark c.

Kvarky jsou základní stavební kameny našeho světa. Existuje šestice kvarků: d - down, u - up, s - strange, c – charm, b – beauty, t – truth. Z kvarků down a up jsou složeny běžné částice kolem nás, např. protony, neutrony. S kvarky typu strange a charm se setkáváme pouze při

vysoce energetických dějích. Kvarky typu beauty a truth umíme vytvořit pouze uměle na urychlovačích. Silová interakce mezi kvarky je zprostředkována osmicí gluonů. Všech šest kvarků po Velkém třesku utvářelo budoucí obraz vesmíru.

5 Obrovské překvapení

Teoretičtí fyzikové předpokládali, že směs volných kvarků a gluonů bude vykazovat známky chování plazmatu, tedy ultra horkého plynu nabitých částic. K obrovskému překvapení ale experimenty v RHIC ukazují, že kvark-gluonové medium vykazuje známky chování kapaliny a nikoliv plynu! Tento poznatek vyplývá především z následujících jevů.

Utlumení jetu

- Jakmile se dva proti sobě letící nukleony, urychlené téměř až na rychlost světla srazí, tak pozorujeme výstřiky párů kvarků (tzv. jety), které jsou vzájemně opačně orientované. Detektory v urychlovači RHIC zaznamenávají pouze jednu polovinu takového páru. Nabízí se otázka, kam zmizel druhý kvark (jet). Odpověď je taková, že se jeden kvark vřítí do právě zformovaného kvark – gluonového média. Svoji energii předal méně energetičtějším částicím (kvarkům, gluonům ...) při průletu médiem a nemůže tudíž proletět skrz naskrz.

Eliptický tok

- Srazí-li se dvě jádra nepřímo svými středy (což se stane téměř vždy), tak oblast, v níž se nachází kvark – gluonové medium, má eliptický tvar (ragbyový míč). Uvnitř tohoto média působí značné tlaky, které ho rozpínají. Podstatné je zde to, že hadrony s největší energií mají tendenci vylétávat v rovině srážky. V této rovině se médium rozpíná nejrychleji. Tato vlastnost dokazuje *kolektivní* chování částic v médiu (kapalina). V plynu by všechny částice vylétávaly rovnoměrně do všech stran.

Je to dokonce vůbec *nejdokonalejší kapalina*, která kdy byla pozorována. Její viskozita se odhaduje na pouhou jednu desetinu hodnoty viskozity supratekutého helia.

6 Závěr

Experiment v RHIC potvrdil existenci kvark – gluonového plazmatu a přinesl velice zajímavé výsledky, především co se vlastností tohoto média týče. Jestliže se i při dalších experimentech, a na ještě výkonnějších urychlovačích, potvrdí chování kapaliny, pak se zřejmě budou muset přepracovat některé teorie počítající s médiem ve formě plazmatu. Bude se ale ještě muset počkat na mnohé experimenty, kde se při srážkách těžkých jader bude uvolňovat podstatně více energie. Mnoho fyziků je totiž přesvědčeno, že při ještě vyšších energiích, než které byly dosaženy při srážkách v RHIC, se medium bude chovat jako předpokládané plazma. Další odpověď nám poskytne výkonnější urychlovač LHC (Large Hadron Collider) v CERNU, kde při srážkách jader olova bude uvolňována přibližně padesátkrát větší energie než v RHIC.

Reference

- [1] V. Wagner, http://www.ian.cz/detart_fr.php?id=14
- [2] M. Riordan, W. A. Zajc, *Prvních pár mikrosekund*, Scientific American, květen – červen 2007, str. 18-25
- [3] K. Bartuška, *Speciální teorie relativity, fyzika pro gymnázia*, Prométheus, Praha, 2007, str. 32-35
- [4] V. Wagner, <http://hp.ujf.cas.cz/~wagner/popclan/plazma/plazmanova.html>
- [5] J. Dušek, http://www.ian.cz/detart_fr.php?id=2