

Hledání zrcadlové hmoty pomocí přesného měření doby života pozitronia

Typ práce;	bakalářská práce
Jazyk práce	česky / anglicky
Vedoucí	prof. Mgr. Jakub Čížek, Ph.D.
Kontakt	jakub.cizek@mff.cuni.cz
Pracoviště	Laboratoř pozitronové anihilace (KFNT MFF Troja)
Klíčová slova	zrcadlová hmota, pozitronium
Časová náročnost	2 semestry

Kosmologická pozorování ukazují, že běžná (baryonická) hmota tvoří přibližně 5 % celkové hustoty energie vesmíru. Zbylých přibližně 27 % připadá na temnou hmotu (DM) a přibližně 68 % na temnou energii. Potřeba zavést DM vyplývá ze skutečnosti, že viditelné baryony samy o sobě nedokážou vysvětlit gravitační efekty pozorované na škálách velkých struktur, jako jsou shluky galaxií. Zrcadlová hmota (*mirror matter*) představuje elegantní rozšíření Standardního modelu (SM), které současně řeší dva fundamentální problémy: pozorované porušení parity ve slabých interakcích a kosmologické důkazy pro existenci DM. Teorie zrcadlové hmoty předpokládá existenci přesně paritně symetrického „zrcadlového“ sektoru — chirálního duplikátu standardní hmoty s opačnou chiralitou — který interaguje s běžnou hmotou primárně prostřednictvím gravitace a potenciálně i prostřednictvím zanedbatelného kinetického míchání fotonů obou sektorů. Tato slabá vazba znemožňuje přímou detekci zrcadlových částic současnými urychlovači, avšak projevuje se nepřímo prostřednictvím astrofyzikálních anomálií, kde se zrcadlová DM chová odlišně od modelů založených na slabě interagujících masivních částicích.

Pozitronium (Ps) je jednoduchý vázaný stav dvou leptonů — elektronu a pozitronu — a představuje ideální systém pro precizní testy kvantové elektrodynamiky (QED). Ps existuje ve dvou základních stavech: parapozitronium (p-Ps), ve kterém jsou spiny elektronu a pozitronu antiparalelní, a ortopozitronium (o-Ps), ve kterém jsou spiny paralelní. Ve vakuu se p-Ps rozpadá na dva fotony s dobou života 125 ps, zatímco o-Ps se rozpadá na tři fotony a jeho doba života je o tři řády delší, 142 ns.

V rámci teorie zrcadlové hmoty existuje možnost, že o-Ps osciluje do svého zrcadlového ekvivalentu o-Ps'. Tento zrcadlový stav by se následně rozpadl na zrcadlové fotony, což by vedlo k „neviditelným“ rozpadům $o\text{-Ps} \rightarrow o\text{-Ps}' \rightarrow 3\gamma'$, neboť zrcadlové fotony jsou nedetekovatelné v detektorech SM. Pokud k takové oscilaci dochází, měla by zkrátit pozorovanou dobu života o-Ps oproti predikci QED. Jakákoli statisticky významná odchylka naměřené doby života o-Ps od teoretické hodnoty by proto mohla naznačovat existenci procesů nad rámec SM.

Teoretická hodnota doby života o-Ps byla v rámci QED vypočtena s vysokou přesností (relativní chyba 1.5 ppm) a činí (142.0459 ± 0.0002) ns. Nejpřesnější experimentální hodnota (142.04 ± 0.01) ns se v rámci experimentální nejistoty shoduje s teoretickou predikcí, avšak její relativní přesnost (140 ppm) je přibližně stokrát nižší. Je možné, že zkrácení doby života o-Ps vlivem oscilací do zrcadlového sektoru se nachází na úrovni desítek či jednotek ppm. Nalezení takového efektu však vyžaduje podstatné zpřesnění experimentální hodnoty doby života o-Ps.

Cíl práce

V této práci bude provedeno precizní měření doby života o-Ps vznikajícího v nanoskopických pórech mezoporézního SiO₂. Měření bude realizováno na spektrometru dob života pozitronů s vysokým časovým rozlišením v laboratoři pozitronové anihilace na KFNT MFFK UK. Očekáváme dosažení relativní přesnosti alespoň 10 ppm.

Postup řešení projektu

- * Příprava vzorků SiO₂ a naměření spekter dob života Ps
- * analýza a zpracování dat
- * srovnání naměřené doby života o-Ps s teoretickou hodnotou. Statisticky významné zkrácení doby života o-Ps vzhledem k teoretické hodnotě by bylo přímým potvrzením existence zrcadlové hmoty.