



Doc. RNDr. Tomáš Blažek, PhD
Tel: +421 2 6029 5762, Email: blazek@fmph.uniba.sk

Bratislava, 20. september 2013

Posudok na habilitačnú prácu Mgr. Karol Kovařík, PhD:

“Higher-Order Corrections to Dark Matter Relic Density”

Prakticky všetky urýchľovačové experimenty fyziky vysokých energií sú uspokojuivo popísané štandardným modelom elementárnych častíc.

Napriek tomu si nemyslíme, že je to finálna teória sveta, a už veľa rokov sa snažíme o nájdenie úplnejšej teórie, ktorá bude jeho rozšírením. Štandardný model predstavuje totiž v skutočnosti iba efektívny opis doposiaľ pozorovaných častíc, ktorý rešpektuje kalibračnú symetriu $SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$. Nevysvetľuje na dynamickom základe pôvod tejto symetrie, iné interakcie ako kalibračné sú v ňom len parametrizované a hodnoty parametrov iba vložené rukou na základe pozorovania. Príkladom parametrizovaných a nevysvetlených veličín v štandardnom modeli sú napr. elektrické náboje kvarkov a leptónov, početnosť ich rodín a konkrétne osadenie jednej rodiny fermiónov do multipletov, rádové rozdiely v hmotnostiach fermiónov, ich zvláštne miešanie - nepatrné u kvarkov a takmer maximálne u leptónov, atď.

Rozšírenie štandardného modelu si však vyžadujú kozmologické pozorovania. Štandardne akceptovaná teoretická kozmológia sa už dnes nezaobíde bez zavedenia tmavej hmoty vo forme neutrálnych slabo interagujúcich častíc, avšak vhodných kandidátov na tieto častice v štandardnom modeli niet.

Osobitnou výzvou štandardného modelu je pôvod spontánneho narušenia $SU(2)_L \times U(1)_Y$ na $U(1)_{em}$ symetriu pri energiách rádovo 100 GeV. Táto energetická škála v ňom vystupuje ako fundamentálna nezávislá škála nášho sveta. V narušení hrá podstatnú rolu skalárne Higgsovo pole. Od júla 2012 vieme, že pozorovaná hmotnosť častice, ktorá je jeho excitáciou nad vákuom, je 125 GeV/c². Teoreticky dostáva táto hodnota v najnižšom ráde poruchovej teórie kvantové radiačné korekcie vyšších rádov, ktoré kvadraticky divergujú a mali by túto hmotnosť prirodzene posadiť na Planckovu škálu o 17 rádov vyššie. Vzniká tak problém stability škály 100 GeV. Nová fyzikálna dynamika objasňujúca túto stabilitu a vôbec pôvod škály 100 GeV - 1 TeV by potenciálne mohla byť podrobne preskúmaná na urýchľovači LHC v laboratóriu CERN detektormi ATLAS a CMS, ktoré hľadajú jej explicitné prejavy.

Predložená habilitačná práca prispieva k teoretickému výskumu v tejto oblasti a je teda vysoko aktuálna.



Venuje sa rozvíjaniu idey, že na škále 100 GeV začínajú byť naše merania citlivé na prítomnosť supersymetrie (SUSY), novej symetrie priestoročasu. Pri nižších energiách ťažké supersymetrické častice nepozorujeme, nakoľko nie je k dispozícii energia na ich tvorbu a tie, ktoré by mohli byť stabilné, interagujú len veľmi slabo. Štandardný model je tak vhodnou efektívnou teóriou úplnejšej supersymetrickej teórie. Úvodná kapitola predloženej práce predstavuje veľmi dobrý pedagogický úvod do minimálneho SUSY rozšírenia (tzv. MSSM model).

V prípade zachovania tzv. R-parity sa SUSY častice tvoria v pároch a najľahšia z nich (tzv. LSP, "Lightest SUSY Particle") je stabilná. MSSM sa tak stáva vhodným kandidátom na vysvetlenie vesmírnej tmavej hmoty. Pedagogicky veľmi dobre spracované úvodné predstavy kvantitatívneho opisu tohto vysvetlenia autor podáva v druhej kapitole.

Tretia a štvrtá kapitola tvoria ťažisko predkladanej práce. Obsahujú prehľadne podávaný popis postupu a výsledkov dlhších autorových štúdií z posledných rokov. Obe sa venujú opravám k výsledkom podávaným na najnižšej úrovni presnosti v kapitolách 1 a 2. Výpočet v oboch týchto kapitolách zahŕňa slučkové korekcie vyššieho rádu. V tretej kapitole sa skúma anihilácia častíc tmavej hmoty (neutralín) na kvarky spolu s analýzou rôznych spôsobov narušenia supersymetrie (kapitola 3). V štvrtej kapitole ide o štúdium konkrétnych kanálov koanihilácie v troch rôznych scenároch (presnejšie by snád' bolo "režimoch") MSSM.

Z práce je zrejmé, že Karol Kovařík vynikajúcim spôsobom problematike porozumel a zvládol náročný výpočet kvantových slučkových korekcií, ktorý ďalej svojimi originálnymi výsledkami rozvinul pre aplikácie na výpočet množstva tmavej vesmírnej hmoty. Výsledky sú spracované veľmi prehľadným spôsobom. Autor typicky vyberá dvojice relevantných SUSY parametrov a výsledky prezentuje bez započítania a so započítaním ním explicitne spočítaných korekcií vyššieho rádu. Ukazuje, že v mnohých oblastiach táto odchýlka dominuje chybe, s akou určujeme množstvo tmavej vesmírnej hmoty z pozorovaní, a je preto dôležitý vplyv ním počítaných korekcií vyššieho rádu zahrnúť do celkovej analýzy.

Z tohto hodnotenia je zrejmé, že Mgr. Karol Kovařík PhD napísal veľmi pedagogickú zrozumiteľnú habilitačnú prácu a svojím doterajším výskumom významne prispel k rozvoju moderných analýz skúmajúcich pôvod tmavej hmoty.

Pokiaľ to môžem posúdiť práca nemá vážnejšie nedostatky. Dovolím si uviesť, že napriek inak vynikajúcej angličtine čitateľ občas natrafi na chybičky textu, ako napr. na str.21 v 4.riadku kapitoly 3.1 ("thee contribution" namiesto správneho "these contributions") alebo chýbajúce "Z" v prvom Feynmanovom diagrame na obr. 3.1. Po obsahovej stránke práca by ešte viac získala na kvalite, ak by bola aktualizovaná o výsledky družice Planck aspoň v úvodných prvých dvoch kapitolách. Tieto drobné výhrady však celkom určite neznižujú hodnotu predkladanej habilitačnej práce.

Otázky k obhajobe:

Obsahujú obrázky 4.11-14 aj príspevky od anihilácie?

Ako dôležitá je k anihilácii zarátaná aj koanihiláciu? Môže byť anihilácia voči koanihilácii zanedbateľná? Je toto prípad obr.4.11-14?

Pre zhruba aké podmienky je koanihilácia zanedbateľná voči anihilácii?



COMENIUS UNIVERSITY IN BRATISLAVA
FACULTY OF MATHEMATICS, PHYSICS AND INFORMATICS
Department Theoretical Physics and Physics Education
Mlynská dolina F2, 842 48 Bratislava, Slovakia



Vo všeobecnosti, ako závisí Ω_{DM} od hmotnosti LSP? Stúpa alebo klesá s rastúcou m_{LSP} ?
Z nadvhľadu: aké sú šance MSSM správne popísať potrebné množstvo tmavej hmoty s prihliadnutím na najnovšie limity z LHC?
V širšom kontexte sa otvára téma aktuálnosti MSSM modelu po ukončení "Run 1" na LHC nezávisle na kozmologických obmedzeniach.

Záverom zhrniem, že Karol Kovařík napísal kvalitnú habilitačnú prácu a splnil všetky predpoklady potrebné k habilitácii. Prácu jednoznačne doporučujem k obhajobe a odporúčam jeho žiadosti o habilitáciu vyhovieť.

Doc.RNDr. Tomáš Blažek, PhD