

Oponentský posudek na disertaci

Adam Smetana:

Electroweak symmetry breaking by dynamically generated masses of quarks and leptons

Narušení elektroslabé symetrie a s tím související generování hmot elementárních částic je ústředním problémem současné teoretické částicové fyziky. Standardní model (SM) elektroslabých interakcí, který zatím úspěšně prošel všemi experimentálními testy, je zároveň minimálním schématem, jehož úspornost a efektivita je všobecně známa. Kromě koncepční jednoduchosti je předností SM jeho poruchová renormalizovatelnost a tato okolnost umožňuje aplikovat zde v plném rozsahu techniky Feynmanových diagramů, jež se v rámci kvantové teorie pole rozvíjely posledních zhruba 65 let. SM ovšem pracuje s elementárními skalárními poli a pro příznivce analogií mezi spontánním narušením symetrie v relativistické částicové fyzice a v nerelativistické fyzice kondenzovaného stavu je to důvodem k námitce, že Higgs–Goldstoneův potenciál SM připomíná spíše efektivní teorii supravodivosti Ginzburg–Landauova typu a je proto žádoucí usilovat o hlubší popis, ideově blízký např. BCS teorii. Jinými slovy, od samého vzniku teorie elektroslabých interakcí jsou na scéně v zásadě dva teoretické směry – jeden je založen na představě Higgsova mechanismu realizovaného pomocí elementárních skalárních polí a druhý dává přednost „dynamickému narušení symetrie“, kde fundamentální roli hrají pouze fermiony se spinem $\frac{1}{2}$ a kalibrační pole. Nedávný objev částice, která svými vlastnostmi velmi připomíná dlouho hledaný Higgsovův boson SM, nepochybně zvýšil důvěru ve scénář prvního typu a zároveň výrazně zúžil prostor pro konstrukci alternativních modelů.

Předložená disertace je ideově založena na konceptu dynamického narušení symetrie a studují se zde tři modely, především schéma kondenzátu top kvarků a hypotetických těžkých neutrin, dále model silné Yukawovy interakce (jenž tedy vyžaduje neporuchové zpracování) a konečně model kalibrační dynamiky „vůně“ (flavour). Pokud jde o první téma, jeho základní myšlenka byla formulována v pracích jiných autorů už na začátku 90. let, ale v této disertaci se uvažované schéma dále rozvíjí, především s ohledem na přirozeně vznikající efektivní skalární dublety (zde se pro jednoduchost uvažují pouze dva). V této části se autor poctivě věnuje konfrontaci uvažovaného modelu s faktem existence Higgsova skaláru s hmotou okolo 125 GeV a dochází k závěru, že dané schéma je stále ještě fenomenologicky přijatelné. Model silné Yukawovy interakce je vlastně „hybridním“ schématem, jelikož se zde pracuje s elementárními skalárními poli. Předností této části práce je dosti podrobná analýza Schwinger–Dysonových rovnic a demonstrace kýženého efektu vzniku výrazné hierarchie hmot elementárních fermionů bez apriorní hierarchie yukawovských vazbových konstant. Nejambicióznější je evidentně třetí model, popsáný v kapitole 5. Zde se jako agent narušení elektroslabé symetrie bere „horizontální“ kalibrační interakce mezi různými vůněmi, přičemž tato interakce je předpokládaným zdrojem narušení i své vlastní symetrie. Největším vlastním přínosem autora je zde podrobná analýza reprezentačního obsahu kondenzujících pravotočivých neutrin a dále specifických efektů narušené symetrie, mimo jiné spektra

pseudo-goldstoneovských částic typu axionů a majoronů. V této části mi ale poněkud chybí diskuse možných „efektivních Higgsových bosonů“, právě s ohledem na nedávný experimentální průlom v daném směru.

Je zřejmé, že předložená práce tématicky jasně vybočuje z „hlavního proudu“ současné částicové fyziky, ale to nepovažuji za nedostatek; spíše to svědčí o odvaze autora pustit se do neortodoxního směru bádání a pracovat na teorii, která má jistě své atraktivní rysy, ale také některé dodatečné těžkosti. Já sám zde nejvíce postrádám jasně formulovaný efektivní Lagrangian, který by sumarizoval relevantní stupně volnosti a byl by použitelný pro realistické aproximativní výpočty charakteristik konkrétních fyzikálních procesů. S ohledem na dosavadní fenomenologickou úspěšnost SM bych očekával, že takový efektivní Lagrangian bude mít dominantní část odpovídající přibližně SM a bude dále obsahovat celou řadu korekčních členů s dimenzí vyšší než 4. Zřejmě také nebude poruchově renormalizovatelný, na rozdíl od jednoduchého SM. Jinak nemám žádné urgentní dotazy ani další připomínky, téma práce je samo o sobě podnětem k diskusi během vlastní obhajoby.

Závěrem konstatuji, že Adam Smetana předložil kvalitní disertaci a prokázal tak schopnost samostatné vědecké práce. Práce obsahuje řadu původních výsledků, o čemž ostatně svědčí i to, že disertant je autorem nebo spoluautorem několika publikací v renomovaných vědeckých časopisech. Doporučuji proto udělit mu po obhajobě titul Ph.D.

V Praze dne 16. 7. 2013



Prof. Jiří Hořejší, DrSc.