

P.Soukup: „Electroweak processes in the framework of effective field theory“

Standardní model elementárních částic (SM) je mimořádně úspěšnou teorií posledních několika desetiletí. Jeho nebývale široká shoda s experimenty se dá měřit i tak, že v současné době se experimentální projekty zaměřují už nikoliv na to, jak tuto teorii ověřit, ale kde vůbec najít hranice její platnosti. Je totiž zřejmé, že SM jen stěží může být finální odpovědí na nejhlubší otázky podstaty hmoty. Naděje experimentálních i teoretických fyziků se v současné době upínají na mezinárodní projekt LHC, jenž by mohl konečně tuto hranici najít a objevit tzv. novou fyziku. Teoretičtí fyzici se mezitím snaží zkonstruovat modely sahající za SM a předpovědět možné diskrepance.

Jedním ze zajímavých přístupů je využití metodiky efektivní teorie pole (EFT). Pod tímto názvem se skrývá obecná konstrukce, jejíž výsledkem je systematická limita nějaké fundamentálnější teorie ve formě nízkenergetického rozvoje. Základní myšlenku zformuloval S.Weinberg již v roce 1979 a dá se stručně shrnout následovně - pokud chceme zkonstruovat limitu nějaké teorie na škále energií nižší než zvolená mez Λ a známe všechny relevantní stupně volnosti, výsledkem je nejobecnější možný kvantově polní Lagrangian respektující symetrie původní teorie. Obecně nekonečný počet členů je možné zorganizovat do rozvoje kolem nízkých energií, kde n -tý člen rozvoje je potlačen faktorem $1/\Lambda^n$. Z tohoto pohledu je možné chápat SM jako první člen takového rozvoje dosud neznámé fundamentálnější teorie, další členy je možné bez problémů zkonstruovat. Výhodou tohoto přístupu je, že jsou předpovědi takového rozšíření ekvivalentní *jakékoliv* hlubší teorie zachovávající stejné nízkenergetické stupně volnosti a symetrie jako SM. Nevýhodou je neznalost hodnot nízkenergetických vazbových konstant spjatých s každým nezávislým členem efektivního Lagrangianu, které je bez znalosti fundamentální teorie nebo nařizování pomocí experimentálních dat možné jenom řádově odhadnout.

V práci diskutovaný rozpad $H \rightarrow \gamma\gamma$ je v SM dvojnásobně potlačen – jednak absencí příspěvku stromové úrovně a pak tím, že pro lehkou hmotu Higgsova bosonu jsou v dominantních módech rozpadu virtuální páry intermediárních částic pod prahem reálné produkce. Přesto je realistické očekávat, že bude tento rozpad na LHC pozorován, jeho výhodou je jednoduchost finálního stavu, zejména v porovnání s hadronovými jety v dominantním $H \rightarrow b\bar{b}$. Rozšíření SM pomocí EFT předpovídá přítomnost nepotlačeného příspěvku stromové úrovně v dalším řádu efektivního rozvoje, a tak je tento proces jedním ze zajímavých případů kde by mohlo dojít k výraznější diskrepanci.

Předkládaná práce se tedy zabývá bezesporu aktuálním tématem, studuje zmíněný rozpad $H \rightarrow \gamma\gamma$ v rozšíření SM pomocí EFT do dalšího řádu efektivního rozvoje. Výrazně navazuje na práci [1], kterou mírně rozšiřuje. Výpočty jsou provedeny do jedné smyčky, příspěvky fermionových smyček jsou v EFT rozšíření zanedbány. Zopakovány jsou známé výsledky v SM, zreprodukovány výpočty pro ireducibilní grafy v EFT, pro ně je navíc postup podrobně odprezentován včetně analytických výsledků a mezivýsledků. Nově jsou spočteny příspěvky reducibilních diagramů, včetně podrobně provedené renormalizace vnějších nožiček v on-shell schématu a řádkových oprav k efektivnímu vertexu $H\gamma\gamma$.

Na analytické výpočty navazuje numerická analýza, zčásti analogická [1]. Zcela nové jsou dva výsledky – jednak je podle očekávání potvrzen zanedbatelný vliv reducibilních grafů (obr.8.8). Po druhé, a to považují za stěžejní výsledek práce a její nejzajímavější moment, numerická analýza naznačuje, že v oblasti pod WW prahem ($m_H < 161 \text{ GeV}$) jsou příspěvky všech jednosmyčkových EFT diagramů zřejmě zanedbatelné bez ohledu na hodnoty efektivních vazbových konstant (obr.8.5). Nemůže tedy dojít ke kancelaci stromové úrovně (závislé jenom na třech vazbových konstantách), takže je velká naděje, že se může od SM předpovědi, v této oblasti potlačené, zásadně lišit. Potenciální diskrepance navíc výrazně roste pokud by škála nové fyziky byla menší než předpokládaný 1TeV (obr.8.7).

Za největší slabinu práce pokládám na můj vkus až přílišnou inspiraci prací [1]. Nejenže je z velké části prováděn stejný výpočet, ale i forma a provedení jsou velice podobné. Použité argumenty a postupy jsou často stejné, diagramy a formulky vizuálně identické a i některé pasáže se liší jen malými změnami formulace. Za nejnápadnější příklad považují úvod, kde se prezentuje samotná práce. Je totiž až na drobné změny formulace větu po větě stejný jako úvod do článku zahrnutého do [1], uveřejněného v recenzovaném časopise. Nechce se mi věřit, že by autor nedokázal svými slovy představit svoji vlastní práci.

Za druhý slabší moment považuji absenci širšího teoretického a fenomenologického úvodu do problematiky. Práce obsahuje stručnou rekapitulaci SM, ale výrazně by se hodil hlubší úvod do EFT a její aplikace na SM, rovněž by to chtělo představit samotný proces, rozvést jaká je naděje na pozorování v LHC a srovnat s dominantními módy v SM, včetně uvedení rozpadové šířky. Nejen, že by to výrazně pomohlo nezavěšenému čtenáři, ale rovněž by to prokázalo, že se autor v problematice orientuje a má širší přehled.

Přesto bych chtěl zdůraznit, že provedení uvedených analytických výpočtů představuje velké kvantum práce, výrazně nad míru požadovanou v základních kurzech. Numerická část prokazuje, že i tuto oblast autor zvládl dobře, dokáže manipulovat s rozsáhlými výrazy i netriviálními loopovými funkcemi a výsledky prezentovat v přehledných grafech. Práce taky obsahuje pěkný teoretický úvod do problematiky renormalizace, zhruba na úrovni přednášené v základních kurzech kvantové teorie pole, na nějž pak plynule navazují originální výpočty reducibilních grafů. Je trochu škoda, že výsledky této části nejsou zcela zúročeny v řádovém odhadu efektivních vazbových konstant pomocí jejich nagenované závislosti na škále, což připisují nezkušenosti autora.

Samotná práce je přehledná, dobře se čte a je psaná velice slušnou angličtinou na úrovni běžné při časopiseckých publikacích. Snad jedině rozsáhlé analytické výsledky by šli uvést v kratší formě zavedením kompaktnějšího značení loopových funkcí. Každopádně k prezentované formě nemám závažnějších výhrad a splňuje mé představy o kvalitní diplomové práci.

Vzhledem k uvedenému bych položil důraz na osobní prezentaci práce diplomantem při obhajobě a dovilil bych si ho požádat, aby si připravil odpovědi na několik otázek:

- 1) Jaký je poměr rozpadové šířky $H \rightarrow \gamma\gamma$ a dominantních rozpadů v SM v závislosti na m_H ?
- 2) Jaké jsou omezení použitého efektivního rozšíření SM? Je platný i při širším spektru skalárních částic v potenciální fundamentálnější teorii (např. MSSM) anebo jsou potřebné úpravy?
- 3) Použitý postup nerenormalizuje EFT příspěvky do dvoubodových funkcí, ale počítá s nimi jako s efektivními vertexy, což má za následek atypické zdvojené propagátory a čtyřúhelníkové loopové funkce. Jaký předpokládáte rozdíl v těchto postupech?

Práci navrhuji hodnotit stupněm velmi dobře (2).

V Praze, 18.9 2009.



Mgr. Marián Kolesár, PhD.

[1] K.Kampf, Doctoral thesis, Prague 2004