

Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě
Univerzity Karlovy v Praze

- posudek vedoucího posudek oponenta
 bakalářské práce diplomové práce

Autor: Tomáš Procházka

Název práce: Two-photon decay of the Higgs boson: precise prediction of the standard model

Studijní program a obor: Fyzika, F1-Teoretická fyzika a astrofyzika

Rok odevzdání: 2007

Jméno a tituly oponenta: RNDr. Jiří Novotný, CSc.

Pracoviště: Ústav částicové a jaderné fyziky

Kontaktní e-mail: Jiri.Novotny@mff.cuni.cz

Odborná úroveň práce:

- vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Věcné chyby:

- téměř žádné vzhledem k rozsahu přiměřený počet méně podstatné četné závažné

Výsledky:

- originální původní i převzaté netriviální kompilace citované z literatury opsané

Rozsah práce:

- veliký standardní dostatečný nedostatečný

Grafická, jazyková a formální úroveň:

- vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Tiskové chyby:

- téměř žádné vzhledem k rozsahu a tématu přiměřený počet četné

Celková úroveň práce:

- vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Slovní vyjádření, komentáře a připomínky oponenta:

přiloženo na zvláštním listu

Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:

1) V kapitole 5 užíváte k redukci tzv. „auxiliary diagram scheme“, rozšiřující původní diagram o další propagátory, tak, že IPB identity jsou formulovány v rámci téže třídy $\text{Topo}(n_1, \dots, n_7)$. Mohl byste stručně komentovat, jaké jsou případné další alternativní možnosti a zda i pro ně lze použít program AIR?

2) V jednosmyčkovém případě se k převedení tenzorových integrálů na skalární používá Passarino-Veltmanova redukce. Existuje nějaký podobný obecný postup i v případě vícesmyčkových integrálů nebo je třeba redukci provádět případ od případu?

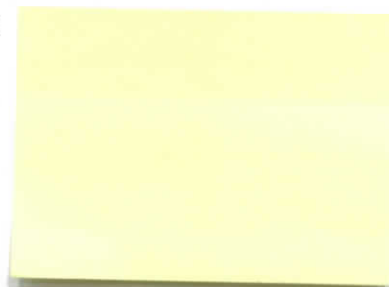
Práci

doporučuji
 nedoporučuji
uznat jako diplomovou.

Navrhuji hodnocení stupněm:

výborně velmi dobře dobře neprospěl/a

Místo, datum a podpis vedoucího/opponenta:
V Praze 6.9.2007



Příloha posudku diplomové práce Tomáše Procházky:

V předkládané diplomové práci se diplomant soustředil na problematiku výpočtu korekcí k amplitudě rozpadu $H \rightarrow 2\gamma$ v rámci standardního modelu. Tento rozpadový kanál je důležitý z hlediska možné detekce Higgsova bosonu s hmotou v intervalu $(M_W, 2M_W)$, kde představuje jasný signál s možností přesného měření hmoty. Rozpadová šířka je též značně citlivá na případnou fyziku za standardním modelem, z tohoto důvodu je důležité znát standardní předpověď s dostatečnou přesností. Protože v rámci standardního modelu je ve vedoucím řádu amplituda rozpadu dána jednosmyčkovými grafy, představuje výpočet korekcí v následujícím řádu velmi netriviální problém vedoucí na výpočet příspěvků dvousmyčkových Feynmanových grafů. Zatímco obecné jednosmyčkové výpočty jsou v současné době víceméně rutinní záležitostí, která může být v jednotlivých případech komplikována pouze délkou algebraických výrazů způsobenou případnou složitostí elementárních vertexů a propagátorů v daném modelu, spočítat analyticky příspěvky dvou a obecně vícesmyčkových grafů představuje v každém jednotlivém případě velmi netriviální problém, který vyžaduje obvykle jistou dávku zkušenosti a intuice pro efektivní využívání různých postupů, které dosud netvoří uzavřený systém výpočetních pravidel, tak jak je tomu v jednosmyčkovém případě. Ve své práci se diplomant zaměřil na případ QCD korekcí k příspěvku fermionových smyček, přičemž diskutuje velmi podrobně jednak asymptotický rozvoj dvousmyčkových příspěvků v oblasti malých $z = m_H/4m^2$ kde m je hmota kvarku ve smyčce, jednak výpočet exaktních dvousmyčkových příspěvků. V závěru krátce a přehledně shrnuje i výsledky dalších (elektroslabých) korekcí.

Práce je členěna do šesti kapitol a tří dodatků. První kapitola obsahuje krátký úvod a fenomenologickou motivaci. Druhá kapitola shrnuje jednosmyčkové příspěvky. Zde diplomant samostatně podrobně přepočítal několika způsoby již dříve známé příspěvky fermionových smyček a to přímo, pomocí integrace přes Feynmanovy parametry (jak v dimenzionální regularizaci tak i použitím Pauli-Villarsovy regularizace), dispersní metodou a konečně metodou převedení na skalární integrály, jejich redukci na tzv. "master integrály" a následným řešením diferenciálních rovnic, které tyto "master integrály" splňují. Poslední metoda přesahuje rámec jednosmyčkových výpočtů a je použitelná v obecném vícesmyčkovém případě. Její aplikace na případ jednosmyčkových grafů není nikterak běžná (pro tento konkrétní případ nebyla v literatuře použita) a v autorově podání je pěknou a jednoduchou ilustrací tohoto postupu (na této úrovni ve svých důsledcích ekvivalentního běžné jednosmyčkové Passarino-Veltmanové redukci). Zde je třeba ocenit úspěšnou snahu o přehledný pedagogický výklad se všemi podrobnostmi výpočtů, s důrazem na základní principy celé procedury a rigoróznost postupu. Kapitola dále obsahuje výpočet ostatních jednosmyčkových příspěvků, včetně příspěvků s kontrčleny potřebnými k renormalizaci dvousmyčkových grafů (renormalizace a odpovídající kontrčleny jsou podrobně diskutovány ve zvláštní podkapitole). Obsah první kapitoly lze doporučit každému zájemci o výpočty Feynmanových grafů jako pěkný ilustrativní text, obsahující výpočetní detaily obvykle v učebních textech neuváděné.

Druhá kapitola se věnuje aproximativnímu přístupu ke dvousmyčkovým QCD korekcím v limitě $z \rightarrow 0$. Výpočet koeficientů asymptotického rozvoje vyžaduje znalost dvousmyčkových tenzorových integrálů s nulovými vnějšími impulsy. Redukce na skalární integrály je v obecném případě komplikovaný algebraický problém, pro tento účel diplomant vyvinul samostatně názornou "tabulkovou" metodu umožňující získat příslušné obecné identity. Dále diskutuje redukci vzniklých skalárních integrálů na jediný "master integrál" a ten pak podrobně počítá dvěma způsoby, jednak z literatury převzatým postupem, jednak vlastním původním postupem užívajícím identit plynoucích z integrace per partes (IBP identity). Tento nový postup představuje výrazné zjednodušení problému a svědčí o výborné diplomantově ori-

entaci v problematice. S pomocí těchto výsledků jsou pak zreprodukovány z literatury známe asymptotické rozvoje.

Ve čtvrté kapitole diplomant samostatně přepočítal sadu kompletních dvousmyčkových QCD korekcí ke kvarkovým smyčkám. V proceduře redukce prudce narůstá počet integrálů navzájem propojených IBP identitami a nelze se obejít bez použití počítačových programů pro řešení příslušných algebraických rovnic a nalezení vhodné sady "master integrálů". Diplomant pro tento účel používá volně dostupný program AIR, založený na Laportově modifikaci Gaussovy eliminační metody, se kterým se naučil efektivně pracovat a který přizpůsobil konkrétní situaci. Protože výběr "master integrálů" pro jednotlivé topologie není jednoznačný, lze jejich vhodným výběrem zjednodušit systém pro ně platných diferenciálních rovnic, a tak zefektivnit řešení problému. To se diplomantovi podařilo vlastním výběrem, odlišným od možností dříve užitých v literatuře a podařilo se mu též odhalit znaménkovou chybu v jedné z uvedených citací.

Pátá kapitola je stručným přehledem výsledků dalších z literatury známých výpočtů (jednak odhadů vícesmyčkových příspěvků, jednak dvousmyčkových elektroslabých korekcí) a shrnuje kompletní numerické výsledky pro dvousmyčkové korekce v závislosti na hmotě Higgsova bosonu (opět diplomantem nezávisle překreslené).

Velké množství užitečných informací obsahují appendixy, lze je doporučit každému zájemci jako stručné a výstižné kompendium moderních technických prostředků k výpočtům Feynmanových grafů, které jsou jinak buď roztroušeny v literatuře, nebo jsou naopak obvykle součástí zbytečně příliš podrobných matematicky zaměřených přehledných článků.

Celkově práce působí výborným dojmem, svědčí o výjimečné schopnosti diplomanta orientovat se ve velmi složitých výpočtech, jejichž podrobnosti obvykle v literatuře nebývají uváděny, a ve schopnosti efektivně si osvojit velké množství netriviálních matematických prostředků a postupů. Text je dobře zorganizován, je napsán jasně a srozumitelně s důrazem technické detaily výpočtů. V práci jsem nenalezl věcné chyby kromě několika zjevných překlepů (jejichž seznam uvádím v příloze), kterým však z hlediska hodnocení práce nepřikládám žádný význam. Je třeba ocenit i výbornou jazykovou a grafickou úroveň práce. Navrhuji proto, aby byla uznána jako práce diplomová a hodnocena známkou výborně.

Některé drobné tiskové chyby:

- str. 9: chybí číslo obrázku
- str. 36: ve formuli pro holý Lagrangian $v \rightarrow v_B$
- str. 38 (a podobně dále, je-li zmiňována IR regularizace): photon mass \rightarrow gluon mass
- str. 51 uprostřed: remaining $n_A - n_B$ A's \rightarrow remaining n_B A's
- str. 51 dolc: $n_{AA} 2^{n_{AA}}$ represent... \rightarrow $n_{AA}! 2^{n_{AA}}$ represent...
- str. 63 druhá rovnice zdola: $n_2, n_3, n_4 \rightarrow n_2, n_3, n_4$
- str. 64 dole: indexy u D_i v příkladech topologie (AC, BC)
- str. 76: chybí citace
- str. 92: $pi \rightarrow \pi$
- str. 97 dole a 98 nahoře: $\frac{1}{x} \rightarrow \ln x$, $\frac{1}{1-x} \rightarrow -\ln(1-x)$, $\frac{1}{1+x} \rightarrow \ln(1+x)$