

Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě
Univerzity Karlovy v Praze

- posudek vedoucího posudek oponenta
 bakalářské práce diplomové práce

Autor/ka: Jan Ebr

Název práce: Dimensional transmutation in quantum theory

Studijní program a obor: Fyzika, F1-Teoretická fyzika

Rok odevzdání: 2008

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 vedoucího/opponenta:
přiloženo na zvláštním listu

Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:

1) Mohl by diplomant podrobněji vysvětlit řád příspěvků jednotlivých grafů na obrázku 6? Feynmanova pravidla z obr. 2 naznačují, že příspěvek grafů 6c a 6d by mohl mít v uvažovaném řádu nenulovou konečnou část, ta však není v dalším diskutována.

2) Poruchový rozvoj pro C-W model je v práci konstruován jako selfkonsistentní rozvoj kolem konstantního skalárního pole. Je něco známo o případné možnosti konstruovat ho jako limitu poruchového rozvoje U(1) Higgsova modelu pro (negativní) hmotu² skalárního pole jdoucí k nule?

Práci

doporučuji
 nedoporučuji
uznat jako diplomovou.

Navrhuji hodnocení stupněm:

výborně velmi dobře dobře neprospěl/a

Místo, datum a podpis vedoucího/opponenta:
V Praze 18.9.2008



Příloha posudku diplomové práce Jana Ebra

V předkládané diplomové práci se diplomant soustředil na podrobné studium dvou zdánlivě nesouvisajících partikulárních fyzikálních modelů (jeden je z oblasti kvantové teorie pole, druhý pak kvantově mechanický), které však oba vykazují různé formy obecného efektu známého jako dimenzionální transmutace. Tento efekt spočívá v mechanismu transformujícím bezrozměrné parametry konkrétních modelů (typicky bezrozměrné vazbové konstanty) v parametry s netriviální dimenzí (hmoty, vakuové střední hodnoty, energie vázaných stavů) a ve svém důsledku (v rámci kvantové teorie pole) představují realizaci tzv. anomálního narušení škálové symetrie, která je přítomna na "naivní" klasické úrovni. Její narušení je pak důsledkem kvantových korekcí, tedy procedurou regularizace a renormalizace, která je nedílnou součástí definice kvantové verze příslušného modelu. Zatímco v kvantové teorii pole je tento jev velmi obecný a významný i z fenomenologického hlediska (v QCD s nehmotnými kvarky dimenzionálně transmutuje bezrozměrná vazbová konstanta α_s ve škálu Λ_{QCD} s dimenzí hmoty, která je zodpovědná za nenulové hmoty hadronů), je překvapivé, že existují podobné případy i rámci kvantové mechaniky a že ve formálním "fyzikálním" přístupu existuje blízká paralela mezi oběma typy dimenzionální transmutace. Diplomant se zaměřil na dva konkrétní příklady, jednak na Colemanův-Weinbergův model (t.j. nehmotnou skalární elektrodynamiku), jednak na kvantově mechanický problém δ -funkčního potenciálu v obecném počtu dimenzí d (s důrazem na případ $d = 2, 3$).

Práce je členěna do pěti kapitol a čtyř matematických dodatků. V první kapitole jsou stručně a přehledně shrnuta základní fakta o metodě efektivního potenciálu, která je obzvláště vhodným nástrojem k vyšetřování modelů se spontánním narušením symetrie, jakým je Coleman-Weinbergův model. Dále je podrobně rozebrána aplikace této metody na případ zmíněného modelu na jednosmyčkové úrovni, s užitím Landauovy kalibrace a regularizace pomocí odřezání ultrafialové části integrálu přes euklidovské čtyřhybnosti, jsou diskutovány normalizační podmínky získaného efektivního potenciálu a jeho fyzikální interpretace z hlediska efektu spontánního narušení symetrie a dimenzionální transmutace. V závěru kapitoly je stručně komentována závislost získaných výsledků na kalibraci a citována příslušná literatura. Tato kapitola je velmi pěkným pedagogickým úvodem do problematiky, obsahuje kromě technických aspektů i řadu zajímavých postřehů a komentářů a lze ji doporučit případným zájemcům jako vhodný úvodní text.

Druhá a třetí kapitola obsahuje vlastní diplomantovy výsledky spojené s konstrukcí poruchového rozvoje pro Coleman-Weinbergův model s cílem reprodukovat výsledky předchozí kapitoly a připravit půdu pro použití aparátu běžné poruchové teorie k výpočtům v teorii, v níž není spontánní narušení realizováno na klasické úrovni, ale je efektem kvantových korekcí. Poruchový rozvoj se zde konstruuje jako rozvoj kolem konstantní polní konfigurace, která je prostřednictvím selfkonsistentně zvolené normalizační podmínky pro jednobodovou Greenovu funkci ztotožněna s vakuovou střední hodnotou. Je demonstrována nezávislost Colemanova-Weinbergova potenciálu na regularizaci srovnáním výsledku z předchozí kapitoly s analogickým výsledkem užívajícím dimenzionální regularizaci a současně jsou odvozeny kontrůčleny potřebné v dalších výpočtech. Je (znovu) odvozena podmínka pro spontánní narušení symetrie, poruchově spočtena hmota "Higgsova" bosonu a korekce k hmotě fotonu do řádu e^4 (poslední dvěma způsoby, poruchově a metodou efektivního potenciálu). Tento přístup ke konstrukci poruchového rozvoje pro nehmotnou skalární elektrodynamiku dosud nebyl v existující literatuře využit a představuje tedy zajímavý původní diplomantův přínos.

Čtvrtá a pátá kapitola je věnována diskusi výše zmíněného kvantově mechanického systému s δ -funkčním potenciálem. Nejprve je ve čtvrté kapitole diskutován formální "kvantově

polní” přístup spočívající v regularizaci divergentních integrálů odřezáním ultrafialové části a následné renormalizaci s renormalizační podmínkou fixující energii vázaného stavu. Tento postup je pak srovnán s jiným typem regularizace spočívajícím v aproximaci singulárního potenciálu pravouhlou potenciálovou jámou a je demonstrována nezávislost fyzikálního obsahu získaných výsledků na regularizaci. Dále je diskutována škálová invariance a demonstrováno její “anomální” narušení v tomto případě. Pátá kapitola je pak celá věnována rigoróznímu matematickému přístupu k problému hamiltoniánu s δ -funkčnímu potenciálem pro dimenze $d = 2$ a 3 . Ten je modelován jednoparametrickou třídou hamiltoniánů H_θ , které vzniknou jako samozdružená rozšíření Laplaceova operátoru s nulovou hraniční podmínkou v počátku. Je diskutována existence vázaného stavu a rozptylová řešení. V závěru kapitoly je pak vysvětleno narušení škálové invariance, způsobené neinvariancí definičního oboru daného konkrétního hamiltoniánu H_θ vzhledem k operátoru dilatace. Čtvrtá a pátá kapitola, spolu s matematickými dodatky, tvoří uzavřený zdařilý pedagogicky cenný celek, který umožňuje i čtenáři-nespecialistovi získat základní informace o teorii samosdružených rozšíření symetrických operátorů a na netriviálním příkladu sledovat způsob jejího použití.

Celkově práce je napsána promyšleně, rešeršní část s důrazem na podstatu věci, vlastní původní výsledky jsou pak prezentovány přehledně a s nadhledem svědčícím o dobré schopnosti diplomanta orientovat se v relativně složitých výpočtech a o schopnosti efektivně si osvojit značné množství netriviálních matematických prostředků a postupů. Text je dobře zorganizován, je napsán jasně a srozumitelně i pro nespecialistu. V práci jsem nenalezl věcné chyby kromě několika drobných překlepů, 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.