

# Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě  
Univerzity Karlovy

- posudek vedoucího     posudek oponenta  
 bakalářské práce     diplomové práce

Autor/ka: Bc. Kateřina Jarkovská  
Název práce: Pseudo-Goldstone bosons in grand unified theories  
Studijní program a obor: Fyzika - Jaderná a subjaderná fyzika  
Rok odevzdání: 2018

Jméno a tituly vedoucího/opponenta: Mgr. Petr Beneš, Ph.D.  
Pracoviště: Ústav technické a experimentální fyziky  
České vysoké učení technické v Praze  
Horská 3a/22, 128 00 Praha 2  
Kontaktní e-mail: petr.benes@utef.cvut.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/oponenta:

Tématem předložené diplomové práce jsou některé problémy, které jsou potenciálně přítomny v teoriích velkého sjednocení založených na kalibrační grupě  $SO(10)$  (bez supersymetrie), spontánně narušené adjungovanou reprezentací. Konkrétně se jedná o přítomnost tachyonů ve spektru skalárů. Jak bylo před několika lety ukázáno (mj. autorčiným školitelem), jedná se ve skutečnosti o artefakt stromových výpočtů, který po započítání radiačních korekcí (jejichž velikost je na jednosmyčkové úrovni, díky pseudo-Nambu–Goldstoneovskému charakteru příslušných skalárů, srovnatelná se stromovými hodnotami) vymizí. Konkrétně toto bylo ukázáno pro skaláry transformující se vůči kalibrační grupě Standardního modelu  $SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$  jako  $(8, 1, 0)$  a  $(1, 3, 0)$ .

Kromě těchto dvou skalárních multipletů však byl nedávno, poněkud nečekaně, odhalen další skalár (tentokrát singlet  $(1, 1, 0)$  vůči Standardnímu modelu), který rovněž trpí (přinejmenším na stromové úrovni) tachyonovou nestabilitou. Cílem předložené práce bylo ukázat, že i v tomto případě se po započtení jednosmyčkových korekcí problém vyřeší. Autorka v práci metodou efektivního potenciálu spočítala korekce ke skalární hmotové matici  $(2 \times 2)$  pro singlety Standardního modelu. Správnost výsledného vlastního čísla, odpovídajícího problematickému tachyonovému módu, pak ověřila tak, že v různých limitách vakuových středních hodnot kondenzujících skalárů (odpovídajících různým „paternům“ spontánního narušení  $SO(10)$  symetrie) zreprodukovala výsledky ze starší literatury.

Jak bylo zmíněno, práce obsahuje originální a potenciálně publikovatelné (či již publikované?) výsledky, jejichž výpočet je sice v principu přímočarý, ale technicky netriviální. Tyto výsledky jsou velmi podrobně shrnuty v kapitole 4 a zejména v impresivním dodatku C, které tvoří jádro práce. V dodatku E navíc autorka (možná trochu stručně) představuje alternativní způsob výpočtu jednosmyčkového efektivního potenciálu, kterým zmíněné výsledky ověřila. Kromě toho práce obsahuje i obecnější úvod do  $SO(10)$  modelů a jejich minimální verze, jakož i matematictější část věnovanou příslušným ireducibilním reprezentacím. Tyto části jsou napsány relativně přehledně a mohou tak sloužit i jako užitečný úvodní text pro začátečníky v oblasti  $SO(10)$  teorií. Práce pro větší ucelenost nakonec obsahuje také části věnované standardním učebnicovým tématům, jako je spontánní narušení symetrie v neabelovských kalibračních teoriích či efektivní akce a potenciál.

Po formální stránce je práci málo co vytknout. Je psána výbornou angličtinou a překlepů je v ní minimum. Jediný překlep stojící za zmínku (neboť je „významonosný“) je ten na str. 31 v prvním řádku rovnice (4.48). I z typografického hlediska je práce nadprůměrná, byť se jí nepodařilo se vyvarovat několika často viděných prohřešků, jako např. nesprávně vysázených úvozovek. Také mě poněkud překvapilo používání zkratky „OPI“ namísto v literatuře běžné „1PI“.

Autorka v práci prokázala vhlad do problematiky a dosažením originálních výsledků i schopnost dané téma samostatně rozvíjet. Z těchto důvodů navrhuji uznat předloženou práci jako diplomovou a ohodnotit ji stupněm *výborně*.

## Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:

- Bylo by možné blíže okomentovat nečíslovanou nerovnici pod rovnicí (2.16)? Odkud pochází a jak souvisí se zachováním perturbativity teorie?
- Z nerovnice zmíněné v předchozím bodě vychází (pro  $\omega_{BL} \sim \omega_R \sim 10^{13} - 10^{14}$  GeV a  $\sigma \sim 10^{15} - 10^{16}$  GeV) zhruba  $a_2 \ll 10^{-17} - 10^{-13}$ . Rozumím tomu správně, že toto je hlavní důvod, proč očekávat téměř nehmotné pseudo-Nambu–Goldstoneovy bosony (a tudíž náchylné k relativně velkým jednosmyčkovým korekcím)? Nebo existují i jiné důvody proč by  $a_2$  mělo být velmi malé?
- Existují odhady na hmoty pseudo-Nambu–Goldstoneových bosonů? Pokud jsou příliš lehké, nemůže to představovat fenomenologický problém?
- Z počítání Nambu–Goldstoneových bosonů odpovídajících spontánnímu narušení kustodiální symetrie  $O(45)$  potenciálu  $V_\phi(\phi)$ , které autorka přehledně udělala na str. 20, je zpětně s podivem, že třetí lehký skalár (singlet) tak dlouho unikal pozornosti. Vzhledem k tomu, že jsem na toto téma nenašel v práci žádnou referenci, domnívám se správně, že si tohoto poprvé všimla sama autorka (eventuelně ve spolupráci se svým školitelem)?
- Nerozumím poznámce na str. 27 k limitě  $|\gamma_2| \rightarrow 0$ , že „it is likely to be the only one supporting a potentially non-tachyonic spectrum“. Je to myšleno tak, že pro konečné  $\gamma_2$  by jednosmyčkové korekce již nebyly s to napravit záporné vlastní číslo singletní hmotové matice?
- Nemohou v teorii existovat, kromě tripletního, oktettního a singletního skaláru, i další skalární tachyony? Ze stromové hmotové matice prezentované v sekci C.1 mi to nepříjde zcela zřejmé (a to ani v limitě (4.20)), zejména vzhledem k přítomnosti parametru  $\tau$ , který je sice závislý na ostatních parametrech, ale jehož velikost i znaménko se zdají být bez další analýzy v principu libovolné.
- Uvažovaly-li by se také fermiony, nepřispěly by také do jednosmyčkových korekcí k efektivnímu potenciálu (vzhledem k tomu, že existuje přímý yukawovský coupling mezi  $16_F$  a  $126_S$ )?
- Chápu to dobře, že v rámci ověřování výsledků ze sekce 4.1.1 metodou popsanou v dodatku E se podařilo zreprodukovat celou hmotovou  $2 \times 2$  matici singletních skalárů (včetně výsledků ze sekce C.2)?

### Práci

doporučuji

nedoporučuji

uznat jako diplomovou/bakalářskou.

### Navrhuji hodnocení stupněm:

výborně    velmi dobře    dobře    neprospěl/a

Místo, datum a podpis vedoucího/oponenta:



Petr Beneš

V Praze, 22. května 2018