

Recenzja pracy doktorskiej

**Higgs boson and vacuum stability
in models with extended scalar sector**

napisanej przez
mgr Bogumiłę Świeżewską

W pracy badane są teoretyczne i fenomenologiczne konsekwencje rozszerzenia modelu standardowego o drugi dublet pól Higgsa. Jest to bardzo ważne i obszerne zagadnienie, które już od kilku dekad przyciąga uwagę wielu teoretyków. Odkrycie bozonu Higgsa potwierdziło dobitnie poprawność i zupełność modelu standardowego. Paradoksalnie jednak, właśnie to odkrycie nadało poszukiwaniom nowej fizyki jeszcze bardziej aktualne, zarówno teoretyczne jak i fenomenologiczne, znaczenie.

Dodanie drugiego dubletu znacznie komplikuje teorię - pojawia się w niej szereg nowych cząstek i związanych z tym dodatkowych parametrów. Dlatego też ilościowa analiza takich modeli jest zadaniem nietrywialnym i wymaga dobrego opanowania metod współczesnej teorii pola i biegłej znajomości fenomenologii oddziaływań fundamentalnych. Jak już wspomniałem, zagadnienie jest bardzo obszerne, a co za tym idzie, praca zawiera bardzo dużą ilość materiału. Stanowi ona wyczerpujące kompendium wiedzy w tej dziedzinie oparte na kilkunastu oryginalnych pracach autorki (i współpracowników), a także na ponad dwustu (225) artykułach specjalistycznych.

Doktorantka bardzo dobrze poradziła sobie z tym trudnym zagadnieniem. Praca jest skonstruowana przejrzysto i napisana jasno i starannie. Można ją podzielić na cztery zasadnicze części. Pierwsza z nich to definicja modelu - lagranżjan, jego parametry, symetrie, stany podstawowe oraz widma elementarnych wzbudzeń. Następnie omówione są teoretyczne i eksperymentalne ograniczenia nowej teorii oraz określona przestrzeń spełniających je parametrów. W trzeciej części autorka bada wpływ nowych stopni swobody na konkretne, i już zmierzone doświadczalnie, rozpady mezonu Higgsa. Na koniec, w obszernej czwartej części pani Świeżewska oblicza potencjał efektywny uwzględniając poprawki jednopętlowe i analizuje przy jego pomocy ważny problem stabilności próżni w nowej teorii. Bardziej szczegółowe obliczenia (a właściwie ich podsumowania) zajmują cztery uzupełnienia. Całość dopełniają solidne streszczenie, wyczerpujący wstęp i jasne podsumowanie, które dają zwarty obraz całej pracy, a także pozwalają szybko dotrzeć do interesujących czytelnika fragmentów.

Za najciekawsze osiągnięcie uważam wykluczenie możliwości destabilizacji "standardowej" próżni elektrosłabej przez dodatkowe cząstki skalarnie obecne w modelu bezwładnej ciemnej materii (Inert Dark Matter). Jak pokazała autorka, minimum potencjału efektywnego, łamiące symetrię elektrosłabą, przesuwają się ku górze wraz ze wzrastającym rozszczepieniem mas nowych skalarów i a priori może przewyższyć minimum symetryczne. Oznacza to np., że w stanie podstawowym bozony W i Z pozostają bezmasowe w oczywistej sprzeczności z doświadczeniem. Jednakże dodatkowe bozonony A i H, o których mowa jest w tym modelu, mają zawierać cząstki ciemnej materii. Jako takie nie mogą one mieć zbyt różnych mas gdyż przeczy to wartości gęstości resztkowej ciemnej materii oszacowanej z obserwacji kosmologicznych. Jest to dobry przykład, który ilustruje jak ważne jest połączenie ograniczeń z różnych obserwacji. Pani Świeżewska wielokrotnie wykorzystuje zalety takiego jednolitego traktowania wszystkich przesłanek doświadczalnych (i teoretycznych), także i w innych miejscach pracy.

Innym istotnym wynikiem doktorantki jest pokazanie, że efekty cząstek skalarnych są ważne nie tylko dla asymptotycznych wartości pól, gdzie szacuje się je zwykle metodami grupy renormalizacji ale,

tak jak w powyższym przykładzie, także i wprost dla skali elektro-słabej. W tym obszarze jednak konieczne są bezpośrednie obliczenia potencjału efektywnego wykraczające poza przybliżenie drzewiaste. Rachunki te są ważną częścią pracy.

Ciekawym rezultatem jest także prześledzenie wpływu nowych bozonów na szerokość rozpadu bozonu Higgsa na dwa fotony, która jest już znana eksperymentalnie. I znowu, łącząc dane kosmologiczne z wynikami dla rozpadu dwufotonowego autorka uzyskuje ograniczenie na masę nowego bozonu - kandydata na ciemną materię.

Mam kilka uwag, na początek edytorskich. Modele typu Inert i Inert-like są dokładnie zdefiniowane w rozdziale 2. Jednak autorka używa tych określeń już we wprowadzeniu (str.8). O ile model Inert jest tam wstępnie określony, na tyle żeby czytelnik mógł śledzić tekst, o tyle pojęcie Inert-like minimum pojawia się nagle bez żadnego, choćby minimalnego wyjaśnienia.

Podobnie: stała λ_{345} jest użyta już na str. 13 a zdefiniowana dopiero na str.16.

Z tej samej kategorii: ostateczny wynik na poprawkę jedno-pętlową do potencjału efektywnego jest podany we wzorze (5.12) na str. 73. Jednak wskutek braku definicji masy efektywnej, m_{eff}^2 , która jest dopiero określona w dodatku C na str.127, czytelnik może odnieść wrażenie, że potencjał podany w (5.12) nie zależy od pola ϕ , co jest w sprzeczności z (5.11) i oczywiście z teorią. NB missprint w opisie rys. 5.3 ($m \rightarrow m^2$) nie poprawia sytuacji.

Druga uwaga jest na temat korelacji między szerokościami rozpadów bozonu Higgsa w kanałach $\gamma\gamma$ i γZ diskutowanych w rozdziale 4.2, a przedstawionych na rys. 4.7. Korelacje te rzeczywiście są bardzo silne (scatter plot na rys.4.7 składa się dwóch wąskich gałęzi). Jednak do końca nie rozumiem interpretacji niższej gałęzi podanej przez doktorantkę. Pani Świeżewska twierdzi, że takie korelacje wynikają z silnego stłumienia obu wykreślonych wielkości ($R_{\gamma\gamma}$ i $R_{\gamma Z}$) przez duży wspólny czynnik, jakim jest całkowita szerokość rozpadu $\Gamma(h)$. Zgoda, taki czynnik rzeczywiście istnieje i jest duży w tym przypadku, ale może on tylko spowodować, że obie wielkości są *małe*, ale niekoniecznie *prawie równe* dla wszystkich losowych

wyborów parametrów.

Ostatnie pytanie dotyczy równania ruchu dla rozwiązania klasycznego, tzw. bounce Coleman, (6.1). Skąd formalnie pochodzi wyraz proporcjonalny do pierwszej pochodnej względem s ? Jak twierdzi autorka opisuje on tarcie. Jak więc jest on związany (i czy w ogóle) z działaniem (6.3)? Na pewno nie wynika z równań Eulera-Lagranża generowanych przez to działanie. Po drugie, w takiej sytuacji (tzn. z tarcie) energia nie jest zachowana. Co więc oznacza pozioma linia na rys. 6.2 w tym przypadku? Bounce musi mieć różne energie na początku i na końcu toru. Nie jest to wyjaśnione ani w tekście ani uwzględnione na rysunku. Czy metoda bisekcji, o której wspomina doktorantka, to uwzględnia?

Wszystkie te uwagi, nie zmieniają mojej wysokiej opinii o pracy. Oceniam ją na bardzo dobrze i wnoszę o wyróżnienie rozprawy.

Kraków, 22 kwietnia, 2016 r.



Jacek Wośiek