

Lengvas svertinis neutrinas Grimus-Neufeld modelyje

Light seesaw neutrino in the Grimus-Neufeld model

Vytautas Dūdėnas, Thomas Gajdosik

Vilniaus Universitetas, fizikos fakultetas, teorinės fizikos ir astronomijos institutas, Saulėtekio al. 3, LT-10257, Vilnius.

Standartinis modelis iki šiol yra sėkmingiausias didelių energijų dalelių fizikos modelis, beprecedentiškai tiksliai aprašantis daug experimentinių rezultatų, bei viską talpinantis į elegantišką kalibruotinių laukų simetrijų formalizmą. Nepaisant šios istorinės sėkmės, nėra abejančių, kad standartinis modelis nėra išbaigtas ir naujos dalelės ar sąveikos yra, nors ir nėra aišku kokios jos ar kokie yra jų parametrai. Šis plačiai paplitęs įsitikinimas yra paremtas solidžiu skaičiumi experimentinių duomenų, kurių standartinis modelis negali paaiškinti. Vienas iš tokių "fizikos už standartinio modelio" įrodymų yra neutrino osciliacijos [1]: neutrinai keičia savo aromata, kas taip pat reiškia, kad neutrinai nėra bemasiai. Tai negali būti įgyvendinta standartinio modelio ribose, vadinasi, viena ar daugiau dalelių, įgalinančių šias osciliacijas bei jų mases, yra vis dar neatrastos, bet egzistuoja gamtoje. Deja nėra pakankamai duomenų, galinčių tiksliai pasakyti kas yra atsakingas už neutrino mases, taigi daug modelių, praplečiančių standartinį modelį su įvairiais tokiais mechanizmais, yra galimi. Vienas iš tokių galimų modelių yra Grimus-Neufeld modelis.

Grimus-Neufeld modelis [2] praplėčia standartinį modelį vienu svertiniu neutrinu (dar vadinamu steriliu, nes jis beveik nesąveikauja su jokiais kalibruotiniais laukais) bei vienu papildomu Higgs'o dubletu. Sterilus neutrinas sukelia svarto mechanizmą [3], kuris suteikia vienam iš lengvųjų neutrino masei. Dėl neutrino sąveikų su antruoju Higgs'o dubletu, įgalinama dar viena nenulinė masė neutrino tikrinė būseną per radiacines pataisas. Tokiu būdu galima paaiškinti visus neutrino sektoriaus eksperimentinius duomenis: maišymosi kampų bei du masių kvadratų skirtumus, vadinamus atmosferine bei soliarine masėmis. Nepostuluojant jokių papildomų simetrijų, apribojančių parametrų erdvę, šis modelis yra pakankamai apibendrintas, tačiau taip pat ir "minimalus" postuluojamų dalelių kiekių prasme. Mažas postuluotų dalelių skaičius leidžia apskaičiuoti beveik visas sąveikos konstantas tarp neutrino ir Higgs'o dalelių vien tik iš neutrino maišymosi kampų bei masių kvadratų skirtumų.

Vienas iš pagrindinių Grimus-Neufeld modelio sudedamųjų dalių, svarto mechanizmas, istoriškai buvo motyvuojamas „natūralumu“ t. y. kaip būdas vienu metu turėti labai mažą lengvojo neutrino masę, kai Yukawa sąveikos nariai yra maždaug vieneto eilės. Tam, kad ši sąlyga būtų tenkinama, sterilaus neutrino masė turėtų būti maždaug 10^{15} GeV eilės. Dėl šios priežasties svarto mechanizmas ir įgavo savo pavadinimą: sunkiojo neutrino masė yra atvirkščiai proporcinga lengvojo neutrino masei, taigi tarsi su

svortu „atsveria“ neutrinus ir paaiškina kodėl lengvieji neutrinai turi daugybę eilių mažesnės mases negu visos kitos dalelės. Nepaisant šios, iš pirmo žvilgsnio elegantiškos idėjos, modeliai su svarto mechanizmu nėra natūralūs skaliariniame sektoriuje: pasirodo, kad Higgs'o masės kvantinės pataisos tampa didesnės už pačią Higgs'o masę, kai sterilaus neutrino masė viršija 10^7 GeV [4].

Nors svarto mechanizmas istoriškai buvo pristatytas ypatingai sunkių sterilių neutrino kontekste, nėra eksperimentinių duomenų uždraudžiančių svarto mechanizmą su maža sterilaus neutrino mase. Iš tiesų, sterilus neutrinas gali egzistuoti netgi su O(keV) mase ir tokių neutrino efekto mes vis tiek nepastebėtume šiuolaikiniuose neutrino eksperimentuose. Žinoma, Yukawa sąveikos konstantos su standartinio modelio Higgs'o dalele tampa tarsi nenatūraliai mažos, bet šis argumentas gali būti apverstas aukštyje kojomis, nes jeigu šios sąveikos tampa nulinės, Lagranžianas turi daugiau simetrijų, kas yra natūralu pagal t' Hooft'o kriterijų. Atsižvelgiant į šiuos argumentus, tampa vis populiariau nagrinėti ir, tam tikra prasme pražiūrėtą, sąlyginai lengvo svertinio neutrino galimybę.

Mes tikriname, ar yra įmanoma patenkinti visus neutrino eksperimentinius duomenis Grimus-Neufeld modelyje, turint mažą sterilaus neutrino masę. Priėmę prielaidą, kad sterilus neutrinas yra mažesnės masės negu elektrosilpnioji skalė, aproksimuojame neutrino masių išraišką ir išreiškiame supaprastintą analitinį sąryšį tarp Yukawa sąveikos konstantų ir skaliarinio sektoriaus šiame artinyje. Iš to parodome, kad skaliarinis Grimus-Neufeld modelio sektorius yra praktiškai neapribotas iš eksperimentinių neutrino duomenų, nepaisant kelių ekstremalių atvejų.

Reikšminiai žodžiai: Svarto mechanizmas, neutrinai, radiacinė masė, Higgs'o dalelės

Literatūra

- [1] C. Athanassopoulos et al. Phys. Rev. Lett. 81, 1774–1777, 1998.; Y. Fukuda et al. Phys. Rev. Lett. 81, 1562–1567, 1998.; Q. R. AhmadkeV et al. Phys. Rev. Lett. 89, 011301, 2002.
- [2] W. Grimus and H. Neufeld. Nucl. Phys. B 325, 18–32, 1989.
- [3] P. Minkowski. Phys. Lett. B 67, 421–428, 1977.
- [4] F. Vissani, Phys. Rev. D 57, 7027 (1998), arXiv:hep-ph/9709409 .