

РЕЦЕНЗИЯ

относно дисертационен труд за получаване на образователната и научна степен
„Доктор“
професионално направление 4.1. Физически науки
специалност „Физика на елементарните частици и високите енергии“

Автор на дисертационния труд: **Момчил Николаев Найденов**
докторант във Физически факултет на Софийския университет
„Свети Климент Охридски“

Тема на дисертационния труд:
Изучаване на свойствата на силно-взаимодействащи частици в модела на Намбу и Йона-Лазинио

Научен ръководител:
доцент дфзн Михаил В. Чижов
Физически факултет на Софийския университет „Свети Климент Охридски“

Автор на рецензията — Председател на научното жури:
доцент д-р Димитър Магдалинов Младенов
Физически факултет на Софийския университет „Свети Климент Охридски“

1 Актуалност на темата на дисертацията

Физиката на високите енергии, това е преди всичко физиката, която описва законите на микросвета, и е наука за строежа и свойствата на материята на субядрено ниво. Тази наука има амбициите да описва най-малките градивни съставляващи, от които е построена нашата Вселена, както да обясни и техните взаимодействия. Физиката на елементарните частици е едновременно и наука, описваща най-общите принципи и закони на Природата. Поради тази причина може да бъде охарактеризирана като глобална наука, оказваща най-съществено и постоянно нарастващо влияние на всички останали, без изключение, естествени науки. В частност, обединението на физиката на елементарните частици с космологията позволи да бъде построена общата картина на възникването и еволюцията на Вселената.

Главно достижение на съвременната физика на елементарните частици, безспорно, се явява построеното на Стандартния модел, който описва фундаменталните взаимодействия на кварките и лептоните — основните градивни елементи на Мирозданието. През последните години предсказанията на Стандартния модел бяха многократно експериментално проверени и в настоящо време това е единствената физична теория, която описва адекватно устройството на наблюдаемия свят на малки разстояния. Безспорният триумф на Стандартния модел на фундаменталните взаимодействия може

да създаде впечатление, че принципно проблемите във физиката на елементарните частици са решени. Това обаче съвсем не е така.

Всъщност, в рамките на Стандартния модел остават още много нерешени въпроси. Един такъв много важен въпрос е предсказанието и обяснението на спектъра на масите на субатомните частици. След създаването на квантовата хромодинамика и откритието на асимптотичната свобода стана възможно, с помощта на теорията на пертурбациите, описанието на взаимодействието на адроните при високи енергии. Оказа се обаче, че теорията на пертурбациите работи добре само при значения на енергията, които са по-големи от 1 GeV, тоест когато константата на връзка на квантовата хромодинамика е по-малка от единица. От това следва, че описанието на нискоенергетичната област на силните взаимодействия остава извън рамките на Стандартния модел.

По такъв начин, за описване на нискоенергетичната област на силните взаимодействия се налага използването на различни версии на феноменологични адронни модели. Един от най-привлекателните модели от този тип е моделът, предложен през 1961 година от Йоичиро Намбу и Джовани Йона-Лазинио, в който авторите са се опитали да обяснят произхода на масата на нуклона чрез използване на спонтанното нарушение на киралната симетрия. В основата на модела на Намбу и Йона-Лазинио е заложена киралната симетрия на силните взаимодействия, която се явява и основна симетрия на квантовата хромодинамика. През 1976 година, когато квантовата хромодинамика е вече създадена, японските физици Т. Егучи и К. Кикава преформулират модела на Намбу и Йона-Лазинио, така че в него да бъдат включени и кварките. Може би това е и една от причините този модел да бъде особено интензивно изучаван именно в Япония. Въобще казано, някъде след началото на 1980-те години моделът на Намбу и Йона-Лазинио претърпява разнообразни модификации, така че да стане възможно най-реалистичен при описание на нискоенергетичната област на силните взаимодействия, и става изключително популярен, като на него неизменно са посветени доста научни изследвания.

По такъв начин, само съвместното използване на тези две теории, тоест на квантовата хромодинамика и, например, на модела на Намбу и Йона-Лазинио, позволява силното взаимодействие на елементарните частици да бъде изследвано както в областта на високите енергии, така и в нискоенергетичната област.

Дадената дисертация е посветена на изучаването на силното взаимодействие на елементарните частици, като основен технически инструмент при провеждане на изследванията е именно моделът на Намбу и Йона-Лазинио. Изучаните в дисертацията въпроси са пряко продължение на предишни работи на научния ръководител доцент дфзн Михаил Чижов, в които той има много съществени приноси в проясняването на някои фундаментални въпроси от квантовата теория на полето, физиката на елементарните частици и физиката на високите енергии.

Това определя тематиката на дисертацията като особено актуална и интересна.

2 Структура на дисертацията

Настройващият дисертационен труд с название “**Investigation of the Properties of Strongly Interacting Particles in the Nambu–Jona-Lasinio Model**“ е написан на английски език и се състои от 98 страници, разпределени в 6 глави, първата и втората от които са уводни, а последната е заключение. Най-накрая в дисертацията е представен списък на литературата, който съдържа 47 източника, подредени по ред на цитиране в текста. За онагледяване на представения материал в дисертацията са включени 60 фигури и 1 таблица.

В първите две глави са изложени предварителни сведения, необходими при изследванията в областта на дисертацията.

В **Първата глава** съвсем накратко са представени увод в тематиката на дисертацията, нейната структура и получените резултати.

Във **Втората глава** са изложени предварителните сведения от квантовата теория на полето и физиката на елементарните частици, необходими при изследванията в областта на дисертацията,

В следващите глави са представени оригиналните резултати, включени в дисертацията. Те са посветени на изследването на нискоенергетичната област на силните взаимодействия, като за целта при изследванията в областта на дисертацията са използвани различни модификации модела на Намбу и Йона-Лазинио.

В **Трета глава** е изучен модел на Намбу и Йона-Лазинио с $SU(2)$ симетрия и безмасов кварк.

В **Четвърта глава** са направени същите разглеждания като в Трета глава, но за $U(1)$ симетрия и масивен кварк.

В **Пета глава**, в рамките на модела на Намбу и Йона-Лазинио, е изучена изотопичната симетрия.

В **Шеста глава**, която представлява заключение, са включени научните приноси, списък на публикациите, на които се основава дисертационният труд, както и са отбелязани конференциите, на които са докладвани получените в дисертацията резултати.

3 Основни приноси

Основните приноси на дисертацията могат да бъдат резюмирани по следния начин:

- Както беше отбелязано по-горе, в рамките на Стандартния модел остават още много нерешени въпроси, един от изключително важните от които е невъзможността за предсказването и обяснението на спектъра на масите на субатомните частици. Това обстоятелство, което показва и ограниченията на Стандартния модел, налага построяването на нови феноменологични модели, които да са в състояние да предскажат и обяснят масите на частиците.

Като са използвани предишни резултати на доцент Михаил Чижов, получени през 2004 година, и по-подходящ начин развити и уточнени, в дисертацията е направен съществен принос към проясняването на този фундаментален

въпрос. В дисертацията, на основата на разширен кварков модел на Намбу и Йона-Лазинио, за пръв път се правят предсказания за съотношението между масите на адронни векторни резонанси. По-конкретно, на основата на обобщен $SU(2)$ модел на Намбу и Йона-Лазинио, обобщен в смисъл, че са включени и тензорни взаимодействия, тоест мезоните си взаимодействат чрез тензорни токове, са описани бозонни нисколежащи кварк-антикваркови състояния със спин единица и позволява да бъдат изведени нови формули за масите на векторни и аксиално-векторни частици, които са обобщение на известната формула на Вайнберг. Тези нови формули много добре описват съществуващите досега масови съотношения, но, което е много важно, предсказват и масите на неоткрити все още частици.

През 2018 година международната колаборация BESSIII анонсира детектирането на новата частица $h_1(s\bar{s})$. Параметрите на тази нова аксиално-векторна частица, притежаваща скрита странност, са измерени от колаборацията BESSIII с висока точност, което дава основание нейните характеристики да бъдат внесени в основната таблица на субатомните частици. Относно масата на $h_1(s\bar{s})$, която също така е измерена с висока точност, би трябвало непременно да се подчертае, че в рамките на Стандартния модел не е възможно тя да бъде пресметната. Моделът, разгледан в дисертацията, предсказва масата на $h_1(s\bar{s})$ с точност подобра от 1%, което съвпада с измереното от колаборацията BESSIII значение в рамките на половин стандартно отклонение. Това, безспорно, е едно впечатляващо достижение.

- Естествено разширение на изследванията на модел на Намбу и Йона-Лазинио с безмасов кварк е да се изучи и случая когато началният кварк има маса. Аналогично на случая с безмасов кварк в дисертацията е получен ефективният Лагранжиан, описващ взаимодействието на мезоните и фермионите, изчислени са квантовите корекции и кинетичните членове и за случая когато кваркът е масивен. В случай на модел на Намбу и Йона-Лазинио с $U(1)$ симетрия и с масивен началален кварк е получена формула за отношение на масите на мезоните, като е показано, че тя съвпада по вид със случая на безмасов кварк.
- По-горе беше споменато, че в рамките на Стандартния модел остават още нерешени и много важни за физиката на частиците въпроси. Например, Стандартния модел не обяснява огромната разлика между масите най-леките кварки, от които са съставени протоните и неутроните, и масата на t кварка, която превишава 170 GeV, като във всички останали отношения t кварка по-нищо не се отличава от u кварка, който от своя страна е 10 000 пъти по-лек. Откъде се взимат и как се образуват на пръв поглед съвсем еднакви частици, но с огромна разлика в масите, засега е съвсем непонятно.

По тази причина отдавна се правят опити строго, тоест от първи принципи, да се обясни разликата в масите на кварките, което се явява трудна задача и засега не е решена напълно удовлетворително. Затова би било много хубаво, ако, използвайки някой феноменологичен модел, например модела на Намбу и Йона-Лазинио, да бъде построен механизъм, който да обяснява разликата в

масите на кварките. В дисертацията, в рамките на нефизичния, но удобен в случая, $U(2)$ модел на Намбу и Йона-Лазинио, е изучена изотопичната симетрия, която съществува между леките кварки, като целта, поставена тук, е изотопичната симетрия да бъде нарушена и така да бъде получена разликата в масите между u и d кварките. Началният нелинеен Лагранжиан е линеаризиран, изчислени са ненулевите диаграми и по такъв начин е получен ефективният Лагранжиан, в който се съдържа потенциала на взаимодействие. Минимизацията на потенциала, след спонтанно нарушение на изотопичната симетрия, дава масите на u и d кварките, от което се вижда, че в случай на $U(2)$ модел на Намбу и Йона-Лазинио разликата в масите на u и d кварките не може да бъде предсказана. Следователно, в рамките на $U(2)$ кварковия модел на Намбу и Йона-Лазинио не е възможно изотопичната симетрия да бъде коректно нарушена. Същата процедура е повторена и за физически реалистичният случай на $U(3)$ модел на Намбу и Йона-Лазинио с три кваркови аромата, като идеята тук е след спонтанно нарушение на изотопичната симетрия да бъде показано, че масите на кварковия триплет съвпадат с масите на u , d и s кварките, като при това масите на u , d кварките са различни, а те от своя страна са много по-малки от масата на s кварка. Като резултат в дисертацията е показано, че при разгледаната възможност за спонтанно нарушение на изотопичната симетрия, в рамките на моделите на Намбу и Йона-Лазинио с леки кварки, групата на изотопичната симетрия остава винаги ненарушена.

4 Научни публикации. Цитиране на научните трудове

Общият брой на представените в дисертацията публикации е 4, като в това число:

А. В реферирани списания — 2

А1. Писма в ЭЧАЯ — 1

А2. Годишник на СУ — 1

В. Публикации в материали на конференции, сборници и абстракти, електронни архиви — 2

В1. AIP Conference Proceedings — 1

В2. arXiv.org — 1

5 Автореферат

С някои малки изключения авторефератът правилно и точно отразява съдържанието на дисертацията.

6 Забележки

Съществени критични бележки по дисертацията нямам.

Имам по-скоро препоръки и забележки по оформлението на дисертационния труд и по ясността на изложението на материала. Искам да кажа, че, според мен, би могло да се подобри и има какво да се желае още. Тъй като обаче всяко изложение е въпрос на стил и личен вкус и не влияе на качеството на получените в дисертацията резултати, не смятам тук подробно да се спирам на тия въпроси.

7 Обща характеристика на дисертацията

- Дисертационният труд на Момчил Найденов е посветен на една от най-актуалните тематики на съвременната квантова теория на полето и физиката на елементарните частици, а именно на изследването на нискоенергетичната област на силните взаимодействия.
- Една от основните цели, поставена в дисертацията, е използването на различни модификации и обобщения на оригиналния модел на Намбу и Йона-Лазинио, който доказано е един от най-успешните феноменологични модели, използвани за описание на нискоенергетичната адронна физика.
- В дисертацията са поставени и успешно решени трудни и интересни за физиката на елементарните частици и квантовата теория на полето задачи.
- Изследванията, проведени в дисертацията, имат голяма важност за съвременната физика, и, което е най-значимото според мен, съдържат потенциал, ако бъдат продължени и успешно завършени, на тяхна основа да бъдат направени предсказания, които от своя страна да бъдат в бъдеще експериментално проверени и евентуално потвърдени. Безспорно, този факт бих окачествил като една от много силните страни на дисертацията.
- Извън рамките на дисертацията остават нерешени интересни въпроси, което дава възможност изследванията, проведени в рамките на дисертацията, да бъдат продължени в бъдеще.

Дисертацията напълно удовлетворява изискванията, отразени в Закона за развитие на академичния състав в Република България, както и вътрешните, специфични изисквания на Физически факултет на Софийския университет „Свети Климент Охридски“.

8 Заключение

Вземайки предвид всичко казано досега, без колебание, препоръчвам на многоуважаемото жури да присъди на Момчил Николаев Найденов образователната и научна степен „Доктор“.

С уважение:

доцент д-р Димитър М. Младенов

21 април 2020 година
София