

**РЕЦЕНЗИЯ**  
**върху дисертационен труд за придобиване**  
**на образователната и научна степен “доктор”**

**Автор на дисертационния труд:** Момчил Николаев Найденов, редовен докторант към катедра “Атомна физика” на ФзФ-СУ по научно направление 4.1 Физически науки (Физика на елементарните частици и високите енергии)

**Тема на дисертационния труд:** Investigation of the properties of strongly interacting particles in the Nambu - Jona-Lasinio model (Изучаване на свойствата на силно-взаимодействащи частици в модела Намбу и Йона-Лазинио<sup>1</sup>)

**Рецензент:** Людмил Кирилов Хаджииванов, дфн, професор в ИЯИЯЕ - БАН<sup>2</sup>

Предложеният за защита дисертационен труд е на английски език. Основният текст заема 87 страници и съдържа увод, изложение (разпределено в четири глави), заключение (съдържащо приносите и публикациите на автора по темата на дисертацията) и списък на литературата от 47 заглавия. Авторефератът от 24 страници на български език има подобно разпределение.

**Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем**

Моделът на Намбу и Йона-Лазинио, създаден през 1960 г. и публикуван през 1961 г., се появява в преломен за Квантовата теория на полето (КТП) момент. От една страна, квантовата електродинамика, опираща се на вече добре развитата техника, свързана с теорията на пертурбациите, съчетана с пренормировъчна процедура, се е доказала като изчислителен апарат с невиджана прецизност. Благодарение на Ли и Янг, Маршак и Сударшан, Файнман и Гел-Ман четирифермионният Лагранжиан на слабото взаимодействие е придобил V-A формата, която правилно описва незапазването на четността.

Последният обаче е непренормируем, а и въвеждането на (по необходимост, масивно) промеждутъчно векторно поле, пренасящо слабото взаимодействие, не помага за решаването на този проблем. Съществуването дори на самата квантова електродинамика като самосъгласувана теория също е под въпрос, в частност поради фундаменталния въпрос с полюса на Ландау. Що се отнася до силното взаимодействие, там смислена полева теория въобще не съществува. Изглеждащата примамливо идея за (поначало, пренормируема) пион-нуклонна теория с Юкавско взаимодействие реално не работи поради голямата константа на връзката. Същевременно експериментът попълва менажерията от силно

---

<sup>1</sup> Преводът на български е както в автореферата.

<sup>2</sup> До 4.03.2020 г.

взаимодействащи частици, наречени по-късно адрони, с нови и нови членове – както бозони (мезони), така и фермиони (бариони). Забелязва се, че наред с Хайзенберговия изотопичен спин силните (и електромагнитните, но не и слабите) взаимодействия запазват още едно квантово число, което наричат странност; така очертаващата се симетрия въвежда известен ред, но динамична теория на полето, която да я осигурява, напълно отсъства. Неабелевите калибровъчни теории на Янг и Милс все още изглеждат като ненужна екзотика, а кварковият модел ще бъде предложен едва след три години. В тази обстановка големият въпрос дали КТП „да бъде излекувана или убита“<sup>3</sup> и заменена с друга фундаментална теория започва звучи все по-отчетливо. Мнозина известни теоретици са привлечени от развитието на S-матричната теория. Други, като Намбу, търсят възможност за поне частично обяснение на наблюдавания спектър на силно взаимодействащите частици чрез построяване на ефективни Лагранжиани.

Оригиналната идея на Намбу, заради която той след време получава половината от Нобеловата награда по физика за 2008, се основава на наблюдението му, че има сходство между свойствата на Дираковите частици и тези на колективните възбуждения в теорията на свръхпроводимостта на Бардин-Купър-Шрифър (и Боголюбов). Същественият му принос е във въвеждането във физиката на елементарните частици на представата за т.нар. спонтанно нарушение на дадена симетрия – ситуация, в която симетрията на динамиката (напр. Лагранжиана) е по-голяма от тази на основното състояние (вакуума). Моделът на Намбу и Йона-Лазинио (NJ-L), четирифермионна безмасова теория с взаимодействие на скаларни и псевдоскаларни токове и допълнителна кирална ( $\gamma^5$ ) U(1) симетрия, е първият пример в това направление. Във втората статия от 1961 г. на същите автори чрез включване на изоспина е направена нова стъпка към построяване на реалистична теория, включваща бариони и мезони.

В съвременния Стандартен модел на елементарните частици силните взаимодействия се описват успешно при високи енергии чрез квантовата хромодинамика (QCD), асимптотически свободна калибровъчна теория на кварки и глюони с цветна група SU(3). Поради силната връзка на близки разстояния обаче описването както на удържането на кварките, така и на техните свързани (мезонни и барионни) състояния е проблематично. По тази причина използването на ефективни теории за феноменологично описание на експерименталните данни (в частност, свързани с адронните маси – проблем, на който основно е посветена и настоящата дисертация) е оправдано и актуално.

---

<sup>3</sup> Виж въведението на R.F. Streater, A.S. Wightman, "PCT, Spin And Statistics And All That", W.A. Benjamin INC., New York – Amsterdam (1964).

## Кратко описание на методиката на изследване в дисертационния труд

След увода във втората глава на дисертацията е разгледан важният моделен пример на електромагнитния разпад на неутралния пион на два фотона, чрез който са илюстрирани някои от основните техники, използвани в дисертацията, свързани с изчисляването на еднопримкови Файнманови диаграми. За целта е използван достатъчно реалистичен Лагранжиан, съдържащ псевдоскаларно Юкавско и електромагнитно взаимодействие на двойка леки кварки. По-нататък на примера на квантовата електродинамика са скицирани някои от основните принципи на теорията на пренормировките. Основните приноси и, съответно, новите резултати се съдържат в следващите три глави 3-5 на дисертацията. За да бъдат те систематизирани е разумно да се очертае най-общата рамка, в която се вмести разглежданите модели, както и главните елементи от стратегията, чрез която от тях се извличат феноменологични предсказания.

В дисертацията са използвани различни разширения на NJ-L модела (без наличие на производни). Най-общата форма на един кирално инвариантен локален четирифермионен Лагранжиан съдържа три типа членове, включващи взаимодействия на векторни и псевдовекторни токове, както и на специфична комбинация от скаларни и псевдоскаларни токове. Една стара идея на доц. Чижов е към тях да се включи и (нелокален) член с кирално-инвариантно *тензорно* взаимодействие. Киралната симетрия може да бъде нарушена чрез включване на масов член. Реалистичното описание на кварковите аромати изисква допълнително разширение на моделите с вътрешна глобална унитарна симетрия. Както се знае, всички модели от описаните по-горе типове са непренормируеми. Тази слабост се отстранява стандартно чрез линеаризация (водеща ефективно до разглеждане на системи с връзки); при тази процедура допълнителните бозонни полета, класическите уравнения на движения на които ги изразяват чрез съответните токове, не получават кинетични членове. Следващата стъпка е пресмятането на еднопримковите собствено енергетични, триъгълни и бокс диаграми в линеаризираната теория чрез използване на съответните правила на Файнман и добавянето на получените контрачленове към „голите“. Ефектите от описаната процедура могат да се систематизират така:

- пренормират се константите на връзките
- бозонните полета получават кинетични членове, както и самодействие
- получава се ефективно тензорно взаимодействие, дори и то да не присъства в оригиналния Лагранжиан.

Всеки от тези ефекти има своето феноменологично приложение. Последната стъпка на този етап е преписването на получения Лагранжиан в термините на пренормирани полета със стандартни коефициенти в кинетичните си членове. Тези условия водят до редуциране на независимите константи на взаимодействие до една и, съответно, до връзки между масите на съответните бозонни полета. Квантовите числа на последните позволява тяхното идентифициране като членове на съществуващите мезонни мултиплети.

## **Характеристика на приносите в дисертационния труд**

Разполагайки с даденото общо описание, ще скицираме накратко получените резултати, които обогатяват съществуващите знания в дадената област.

В глава 3 е разгледан  $SU(2)$  NJ-L моделът с безмасови кварки. Изложен е в големи детайли изводът на ефективния Лагранжиан, като е обърнато специално внимание на тензорното взаимодействие, както и на формулите, свързващи масите на различни векторни мезони.

В глава 4 е разгледан  $U(1)$  NJ-L моделът и е показано, че въвеждането на ненулева кваркова маса не променя изведените масови формули за мезоните.

В глава 5 са разгледани  $U(2)$  и  $U(3)$  NJ-L модели със скаларни токове и е показано, че възникващите Хигсови потенциали не притежават минимума, в които леките кварки придобиват различни маси (в съгласие с изотопичната симетрия).

## **Числови показатели**

Публикациите на кандидата по темата на дисертацията – всички в съавторство с доц. М. Чижов, са общо три, по една съответно във *Physics of Particles and Nuclei (PEPAN) Letters* [IF(2018) = 0.58, SJR(2017) = 0.248], в *AIP Conference Proceedings* [IF(2018) = 0.40, SJR(2018) = 0.182] и в Годишника на Софийския университет „Св. Климент Охридски“, Физически факултет (на български език). Според Препоръчителните изисквания към кандидатите за придобиване на научните степени във ФзФ на СУ и трите публикации са в реномирани издания. Не са забелязани независими цитирания на публикациите по дисертацията, което е обяснимо предвид тяхната специализирана тематика и малкото време, изминало след тяхната поява. Авторефератът отразява правилно съдържанието и научните приноси на представения дисертационен труд.

## **Лични впечатления и допълнителни данни за кандидата**

Нямам лични впечатления от кандидата, но сведенията за неговите постижения и ниво на обучение в приложеното CV заслужават уважение. Докторантът е придобил задълбочени знания и технически умения във важна и перспективна област на теоретичната физика. В представения дисертационен труд се използва апарат, чието усвояване и ефективно прилагане изискват нестандартни усилия и много отделено време. Получени са интересни резултати, които са в добро съгласие с получени наскоро експериментални данни.

Заслужава да се отбележи, че в началото на м. февруари т.г., малко след като журито започна работа по оценката на настоящата дисертация, в електронния архив се появи нова работа на доц. Михаил Чижов и Момчил Найденов със сродна тематика, озаглавена “*Mass prediction for the last discovered member of the axial-vector nonet with quantum numbers  $J^{PC}=1^{+-}$*  “. В нея, в рамките на разширен U(1) NJ-L модел с масивен кварк, е изведена формула за масата на псевдовекторния мезон, съставен от странен кварк и антикварк  $h_1(s\bar{s})$ , която се съгласува отлично с последните експериментални данни за  $h_1(1415)$ .

### Критични забележки

Бих направил няколко добронамерени критични забележки. Текстовете и на дисертацията, и на автореферата изобилстват с грешки, повечето наистина не особено съществени, а съдържат и повторения. Може да се предположи, че след като ги е завършил, докторантът си е спестил един последен внимателен оглед. Според мен връзката между времето на живот и ширината на разпада на неутралния пион на два фотона, увенчаваща примерното пресмятане, би изглеждала по-добре във вида  $\tau = \hbar/\Gamma$  с  $\hbar = 6.5821 \times 10^{-16}$  eV.s. В същия извод стандартното обозначение за дилогаритъма  $Li_2(x)$  е за предпочитане пред това на Wolfram, PolyLog (2,x). Използването на термина „бозонизация“ (обичайно свързан с изразяването на полета в двумерна КТП с произволен спин чрез експоненти от безмасово скаларно поле) наред с „линеаризация“ може да бъде подвеждащо. Непременният стремеж към на прецизна терминология наистина е досаден; все пак използването на една и съща дума за пълния Лагранжиан, Лагранжиана на взаимодействие и дори за приносите от контрачленове в импулсно пространство е по-подходящо за работен, а не за официален текст.

### Заклучение

В съответствие с направения по-горе анализ на дисертационния труд и в съгласие с изискванията на ЗРАС и Правилника към него и с Препоръчителните изисквания към кандидатите за придобиване на научните степени и заемане на академичните длъжности във Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“ препоръчвам на уважаемото научно жури да присъди на Момчил Николаев Найденов, редовен докторант към катедра “Атомна физика” на ФзФ-СУ по научно направление 4.1 Физически науки (Физика на елементарните частици и високите енергии), образователната и научна степен “доктор”.

София, 21.04.2020 г.

Рецензент:

(проф. дфн Людмил Хаджииванов)

