

СТАНОВИЩЕ

по дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен
„доктор”

Автор на дисертационния труд: Георги Стефанов Георгиев

Тема на дисертационния труд: Изучаване и разработка на детектори за йонизиращи лъчения

в професионално направление: 4.1 Физически науки

докторска програма: Неутронна физика и физика на ядрените реактори, Физически факултет, СУ „Св. Климент Охридски“

Член на научното жури: доц. д-р Никола П. Колев от ИЯИЯЕ БАН

1. Съдържание и обща характеристика на дисертационния труд

Дисертацията на Георги Георгиев съдържа 157 страници, 101 фигури и 11 таблици. Цитирани са общо 74 източника, от които 7 са работи свързани с дисертацията.

Основната цел на дисертационния труд е изследвания и нови разработки на специализирани детектори, които са част от детекторните комплекси на два съвременни експеримента в областта на физиката на високите енергии и които са съобразени със специфичните изисквания и наложените ограничения. Тези два експеримента са NA62 на SPS ускорителя в CERN и PADME на линейния ускорител на комплекса DAΦNE в LNF-INFN, Фраскати.

Дисертационният труд включва увод, 6 глави, описание на научните приноси и списък на използваната литература. В увода са аргументирани поставените цели и нуждата от направените разработки, и е резюмирано съдържанието на дисертацията.

В Глава 1 е направен обзор на детекторите на йонизиращи лъчения, с акцент на тези използвани в работата. Глава 2 е посветена на експеримента NA62. Описани са целите и експерименталния комплекс, и е представена работата на дисертанта по пускането в експлоатация, реконструирането на данните и калибрирането на два от детекторите за високоенергетични фотони (SAC и IRC) на експеримента NA62.

В Глава 3 е направено кратко описание на експеримента PADME, при който се използва линейния ускорител на комплекса DAΦNE във Фраскати, Италия. В Глава 4 е представена разработената от дисертанта тестова апаратура за изследване на различни типове фотодетектори.

В глави 5 и 6 са описани изследванията на Г. Георгиев, свързани с конструирането на детекторите за заредени частици на експеримента PADME. Разгледани са разработените прототипи и получените резултати за тяхната работоспособност, довели до избор на оптимален дизайн на детекторите за заредени частици.

2. Актуалност на работата

Работата на дисертанта осигурява успешното функциониране на специализирани детектори, със специфични изисквания към тях, в два безспорно актуални експеримента във физиката на високите енергии.

NA62 е експеримент с фиксирана мишена на ускорителя SPS, CERN, посветен на измервания на редки каонни разпади във вторичен каонен сноп създаден от взаимодействие на берилиева мишена с високоенергиен протонен сноп (400 GeV). Основната му цел е възможно най-точното измерване на относителната вероятност на свръхредкия разпад $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$. В Стандартния модел вероятността за този разпад е предсказана с висока точност: $(8.4 \pm 1.0) \times 10^{-11}$. За отделянето на едно събитие $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ е необходимо да се потисне фон от нежелани събития, който е 10 порядъка по-голям от сигнала. Двойката неутрино-антинейтрино се установява чрез кинематичен анализ. Това изисква детектори, осигуряващи кинематично разграничаване между отделните моди на разпад на каона, идентификация на частиците (вкл. мюони) и вето-детектори. Резултатът може да предостави информация за определянето на параметъра V_{td} на матрицата на Cabibbo-Kobayashi-Maskawa, описваща смесването между кварките, и потенциално - доказателство за 'нова физика' отвъд Стандартния модел на физиката на елементарните частици.

В експеримента NA62 е необходима висока ефективност за регистрация на фотони (по-висока от 99.9%) от детекторите SAC и IRC, при огромно натоварване на детекторите (честота на попадане на частици, достигаща до 10 MHz). Това изисква разработване на методика за надеждна реконструкция на данните и методика за оптимизация, които са предмет на работата на докторанта.

Експериментът PADME (Positron Annihilation into Dark Matter Experiment) в LNF-INFN има за цел търсенето на нова неутрална частица A' (тъмен фотон) с маса в интервала $2 \div 23$ MeV и стойности на параметъра $\varepsilon = \alpha' / \alpha_{EM}$ до 10^{-6} (където α' е константата на взаимодействие, а α_{EM} е константата на електромагнитното взаимодействие α_{EM}). Предполага се, че тъмните фотони се раждат в процеса на анихилация $e^+e^- \rightarrow \gamma A'$ при взаимодействието на позитронен сноп с енергия 550 MeV с електроните на тънка диамантена мишена. Експериментът се фокусира върху случая, в който тъмният фотон или евентуалните му продукти на разпадане не могат да бъдат регистрирани (т. нар. невидим случай). Съпътстващият нормален фотон от реакцията се регистрира от електромагнитен калориметър и се изчислява липсващата маса. Експерименталното указание за съществуването на тъмен фотон би било наличието на пик в разпределението по квадрата на липсващата маса, при $M_{A'}^2$. Очакваната информация от PADME е от специален интерес за проверка на възможен теоретичен модел за обяснение на тъмната материя с нов скрит сектор от частици, взаимодействащ с частиците от Стандартния Модел чрез векторна частица-медиатор (тъмен фотон).

При разработката на експерименталния комплекс на PADME, където екипът на доц. В. Кожухаров от ФзФ на СУ, вкл. Г. Георгиев са основни партньори в колаборацията, трябва да бъдат отчетени специфични изисквания на всеки етап – от изследването на технологични решения, през разработката на прототипи и системи за събиране и обработка на данни, до избора на финален дизайн.

Работата на Г.Георгиев по изследването и разработката на детектори за тези експериментални комплекси предполага преодоляване на технологични и инженерно-физични проблеми за отчитане на специфичните изисквания.

3. Кратка характеристика на резултатите на докторанта в дисертационния труд

Научните резултати в дисертацията са получени при работата на Георги Георгиев по пускането в експлоатация и оптимизирането на работата на детектори от експерименталния комплекс NA62 в ЦЕРН, и по дизайна, конструирането и пускането в експлоатация на детектори за експеримента PADME на линейния ускорител на комплекса DAΦNE във Фраскати, Италия.

Работата на Г.Георгиев за експеримента NA62 има за цел калибровката и намирането на оптимален режим на работата на два от детекторите за фотони - SAC и IRC. Това включва методика за надеждна реконструкция на записаната и дигитализирана информация с написване на съответен софтуер, и методика за оптимизация, които са разработени от докторанта.

По-голямата част от дисертацията е посветена на експеримента PADME. В тази част са представени почти всички фази на конструирането на конкретните детектори от експерименталния комплекс – от тестването на различни технологични решения до разработка на системи за събиране на данни, анализ на данните и получаване на резултати, позволяващи аргументиран избор на финален дизайн. Благодарение на изследваните прототипи и проведения анализ, за финалния дизайн на детекторите на заредени частици на PADME са избрани сцинтилационни пръти с отместване на дължината на вълната (WLS) и подходящи SiPM. Въведени са в експлоатация спектрометъра и електромагнитния калориметър на експеримента PADME.

Резултатите в дисертацията и приложените към нея научни публикации са оригинални и са резултат от личната работа на докторанта в рамките на международни колективи. С използване на неговите разработки детекторните комплекси на експериментите NA62 в ЦЕРН и PADME във Фраскати функционират успешно и Георги Георгиев е съавтор в повечето публикации на тези два експеримента.

4. Степен на познаване на състоянието на проблемите

Обзорната част на дисертацията, както и детайлното описание на всеки етап от изследването и разработката на модерни специализирани детектори показват отлично познаване на детекторните комплекси и специфичните изисквания на разглежданите експерименти. В публикациите по дисертацията се докладват и анализират актуални научни и практически достижения в областта.

5. Публикации и използване на резултатите

Работите по експериментите NA62 и PADME с участието на докторанта са докладвани в 10 публикации, от които 4 в списания с импакт фактор и 3 с импакт ранг (SJR). В 3 от тях докторантът е декларирал основен принос - като първи или кореспондиращ автор (1 с IF), в 2 – съществен принос (1 с IF), и в 5 - второстепенен принос (2 с IF). В две публикации с основен принос съавтори са доц. В. Кожухаров и

доц. Л. Цанков, а в останалите авторските колективи са многочислени, с основни съавтори на докторанта В. Кожухаров и Л. Цанков.

Докторантът не е представил справка за цитиранията на публикациите, но по сведения от научния му ръководител те са цитирани многократно.

Относно използването на резултатите от работата на докторанта, може да се отбележи че детекторите функционират успешно:

- през юли 2020г в NA62 колаборацията е докладвано първото статистически значимо (с 3.5 σ) експериментално доказателство за свръх-редкия разпад $K^{+-} \rightarrow \pi^{+} \nu \nu$ (University of Birmingham, July 2020)

- в PADME, след около една година събиране на данни, чувствителността по отношение на силата на взаимодействие (параметър $\epsilon = \alpha' / \alpha_{EM}$) достига до 0.001 в областта на маси $M(A') < 23.7$ MeV (P.Gianotti, 2020).

В следващите три години се очакват резултати с висока научна стойност.

6. Научни и научно-приложни приноси

Приемам формулираните от дисертанта на стр.148 приноси в изследването и разработката на специализирани детектори за йонизиращи лъчения. Считаю, че те имат научно-приложен характер.

Приносите може да се категоризират като разработване и прилагане на методики при конструиране на специализирани нови детектори на йонизиращи лъчения и оптимизиране на работата им. Като цяло, работата на дисертанта е принос към създаването на модерни експериментални комплекси за получаване на нови резултати с висока научна стойност.

7. Автореферат

Авторефератът от 39 страници представя сбито основното съдържание на дисертацията и резултатите от изследванията. Декларираните приноси съответстват на съдържанието на дисертацията и на нейните цели.

8. Критични бележки

Представеният дисертационен труд и публикациите по темата са написани на високо експертно ниво.

Един недостатък на оформлението на текста на дисертацията и автореферата е липсата на заключение с обобщение и коментар за постигането на поставените цели. Този пропуск засяга само оформлението и не накърнява по същество изложените в дисертационния труд резултати.

9. Заключение

Дисертацията на Георги Георгиев е посветена на актуални научни и научно-приложни проблеми. Представени са стойностни резултати, които са проверени от високо квалифицирани научни колективи и използвани в престижни международни проекти. Присъствах на предзащитата и се уверих в отличната подготовка на

докторанта и неговия аналитичен подход в разработката и финалния избор на необходимите специализирани детектори.

Представеният дисертационен труд и научните публикации към него напълно удовлетворяват приетите от Закона за развитието на академичния състав в България критерии и допълнителните изисквания на Физическия факултет на СУ “Св. Климент Охридски” за придобиване от кандидата на образователната и научна степен „доктор“ в научната област 4.1 Физически науки и професионално направление Неутронна физика и физика на ядрените реактори.

Въз основа на представените резултати имам основание да дам висока положителна оценка на дисертационната работа. Убедено предлагам на уважаемото научно жури да гласуват за присъждане на образователната и научна степен “доктор” на магистър инженер-физик Георги Стефанов Георгиев.

12.02.2021

Изготвил:

доц. д-р Н.П.Колев