

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за присъждане на образователната и научна степен
„Доктор”

по професионално направление 4.1 Физически науки
(докторска програма „Неутронна физика и физика на ядрените реактори”)

Автор на дисертационния труд: Георги Стефанов Георгиев, докторант към Физически Факултет на СУ „Св. Климент Охридски”

Тема на дисертационния труд: „Изучаване и разработка на детектори на йонизиращи лъчения”

Рецензент: проф. дфн Кирил Асенов Крежов, член на научното жури съгласно заповед на Ректора на СУ № РД 38-647/20.11.2020

Професионално-биографични данни за докторанта

Георги Стефанов Георгиев завършва средно образование през 2008 г. в родния си град Попово, област Търговище. Висше образование получава в СУ “Св. Климент Охридски”. През 2012 г. завършва с отличие бакалавърската програма по специалност „Ядрена техника и ядрена енергетика”. Дипломната му работа на тема "Разработване на многопроцепни камери със съпротивителна плоскост за позитронно емисионна томография" е изпълнена под ръководството на проф. дфзн Леандър Литов, тогава доцент. През 2015 г. придобива професионална квалификационна степен магистър инженер-физик по ядрена техника и ядрени технологии. Дипломна работа на тема „Изследване на възможността за използване на CCD камера като фотодетектор за хибридният спектрометър на експеримента PADME” изпълнява под ръководството на доц. д-р Венелин Кожухаров и научен консултант доцент д-р Людмил Цанков.

През годините Георги Ст. Георгиев е работил като технически студент в ЦЕРН, гостуващ изследовател и асоцииран изследовател в Националния изследователски институт във Фраскати (LNF, INFN, Frascati), физик във фирма „Тита консулт“ - София, физик в катедра „Ядрена техника и ядрена енергетика” (ЯТЯЕ) на ФзФ-СУ, физик в Базовата екологична обсерватория (БЕО) „Мусала“ на ИЯИЯЕ-БАН, а от 2020 г. е контролиращ физик в сектор „Реакторно-физични технологии” (РФТ) на АЕЦ „Козлодуй“ ЕАД.

В докторантура към катедра ЯТЯЕ на ФзФ Г. Ст. Георгиев е зачислен на 10.01.2016. След успешно изпълнение на предвидения индивидуален план за обучение и научноизследователска работа, докторантът е отчислен с право на защита със заповед РД 20-489/14.02.2020 г. на Ректора на СУ “Св. Климент Охридски”.

Цели и актуалност на разработвания дисертационен труд

По мое мнение амбициозното заглавие на дисертационния труд „Изучаване и разработка на детектори за йонизиращи лъчения” предполага преодоляване на конструкторски, технологични и инженерно-физични проблеми в отговор на възникващи предизвикателства през ограничения период на работа по една докторантура. Макар това да не следва от проведен литературен анализ и не е формулирано в текста, останах с впечатлението, че

ръководителите на докторантурата са поставили на дисертанта както научни, така и научно-приложни цели. От една страна, да вникне в дълбочина във физическите основи на съвременните експерименти NA62 и PADME с потенциал за разширяване на възможните приложения на съответния апаратурен комплекс и от друга - активно и творчески да участва в реализирането и експлоатацията на специфични научни съоръжения. В крайна сметка, представените изследвания и разработки са конкретизирани върху създаването и изпитванията на компоненти на реална детекторна апаратура и участие в настройването на тази апаратура за изпълнение на съответния конкретен физически експеримент, след обсъждане и утвърждаване за изпълнение от високо квалифицирани научни колегии.

Актуалността на тематиката е извън съмнение, защото целта на тези експерименти е натрупване на нови фундаментални знания с пряко отношение към валидността на Стандартния модел разработен през 70-те години на миналия век и перспективите за наблюдаване на физични явления отвъд него. Тук ще отбележа, че решаването на проблемите, съпътстващи получаването на надеждни и достоверни резултати в такива сложни физически експерименти, е предмет на активно оживено международно сътрудничество. Експериментите, описани и анализирани с участието на дисертанта, са пример за получени значими резултати от сътрудничеството между ФзФ и ЦЕРН, и ФзФ и Националната Лаборатория във Фраскати - Италия при ясно мотивирано целенасочено използване на съответната инфраструктура.

Структура и съдържание на дисертационния труд

Дисертационният труд съдържа общо 157 стр. като обхваща Заглавна страница, Съдържание (3 стр.), Използвани съкращения (3 стр.), Увод (2 стр.), Шест глави (общо 137 стр.), раздел Научни приноси (1 стр.), раздел Публикации във връзка с докторантурата (2 стр.), Библиография от 74 заглавия (7 стр.), включваща публикациите и докладите с участието на докторанта. Представени са 101 фигури и 10 таблици.

Уводът демонстрира разбирането на дисертанта за синтезирано представяне на същността на дисертационния труд като обобщение на натрупания от него опит при създаване на прототипи за детектори, методи и алгоритми за определяне на техните параметри и постигане на адекватни резултати. В Глава 1 (19 стр., 8 фиг.) са описани характеристики на основни детектори на йонизиращи лъчения като в раздел 1.2 дисертантът се фокусира пространно върху характеристиките на сцинтилационни детектори. Глава 2 (27 стр., 19 фиг.) представя основните функционални системи на детекторния комплекс NA62, разположен на протонния ускорител SPS в ЦЕРН. Внимателно е разгледана системата за събиране на данни като в раздел 2.3 са дадени подробности за двете детекторни подсистеми SAC и IRC и провеждането на тяхната калибровка, в чието обосноваване и провеждане дисертантът има пряк принос.

В следващите 4 глави изложението е посветено на разработки, пряко свързани с подготовката и реализирането на експеримента PADME. Глава 3 (8 стр., 3 фиг.) представя актуализация на физическата мотивировка на експеримента PADME в статията на В. Кожухаров (<https://doi.org/10.1051/epjconf/201714201018>) и описва вето-системата за заредени частици, за чиято реализация дисертантът има принос. Глава 4 (19 стр., 15 фиг.) дава подробности относно разработването и тестването на генератор на светлинни импулси с ниска интензивност с решаващо участие на дисертанта. В Глава 5 (19 стр., 19 фиг.) и Глава 6 (46 стр., 37 фиг.) са описани вето детектори от

сцинтилационни пръти и сцинтилационни влакна, за чието създаване и тестване дисертантът има съществен принос.

В заключителен раздел са формулирани основните авторски претенции за приноси на дисертационния труд.

Отношение на дисертанта към съвременното състояние на проблемите

Дисертантът демонстрира добро ниво на познаването на проблемите, които съпътстват конструирането и реализирането на модерни детекторни системи. Коментирани са както основни процеси в дозиметричните среди, така и средства за регистриране на йонизиращи лъчения. Цитираната литература отразява достиженията и считаните за перспективни насоки с оглед на напредъка в схемотехниката и цифровата обработка на сигналите. В публикациите по дисертацията също се анализират актуални научни и практически достижения в областта.

Характеристика на материала, върху който се градят приносите на дисертацията

Оригиналният експериментален материал е изложен в Глави 2 – 6 като текстът показва задълбочено разбиране на физичните основи на експериментите NA62 и PADME, но е фокусиран върху инженерно-физическия характер на проблемите при тяхното реализиране.

Експериментът NA62 е проектиран специално за измерване на много редки разпади на каони, създавани чрез бомбардиране на неподвижна берилиева мишена с високоенергиен (400 GeV) протонен сноп с много висока интензивност, излъчван от синхротрона SPS (Super Proton Synchrotron) в ЦЕРН. Генерираният сноп съдържа близо 10^9 вторични частици в секунда, около 6% от които са каони. Целта е да се измери възможно най-точно относителната вероятност на свръх редкия канал на разпад на положително зареден каон в положително зареден пион и двойка неутрино-antineutrino ($K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$), и да се определи параметъра V_{td} от матрицата на Кабибо-Кобаяши-Маскава, описваща смесването между кварките. 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-antineutrino не оставя следа и тяхното присъствие се установява чрез изчисляване на ъглите между родителския каон и дъщерния пион, и чрез измерване на тяхната скорост и посока на движение. Всичко това се осъществява посредством детектори, осигуряващи кинематично разграничаване между отделните моди на разпад на каона, идентификация на частиците (вкл. мюони) и вето-детектори.

Дисертантът дава подробности за компонентите на експерименталния комплекс NA62, но отделя особено внимание на разработената с негово участие методика за калибрирането на двата специални калориметри SAC и IRC, както и на особеностите на създадения софтуер за реконструкция на данните от тези детектори, което е позволило надежден мониторинг на тяхната работа.

Експериментът PADME адресира идеята за съществуване на скрит сектор от частици, свързани с видимия сектор в Стандартния модел чрез векторен посредник – така наречения тъмен фотон A' , който показва неизчезващи взаимодействия с частиците както във видимия, така и в скрития сектор. В най-простия случай силата на

взаимодействие α' може да се нормализира до силата на електромагнитното взаимодействие α_{EM} , като по този начин остават само два нови параметъра - $\varepsilon = \alpha' / \alpha_{EM}$ и масата на тъмния фотон $m_{A'}$.

Експериментът PADME изследва процеса на аниhilация на летящ сноп позитрони с електроните във фиксирана мишена. Използва се 550 MeV позитронен сноп, осигурен от линейния ускорител в центъра Фраскати, за бомбардиране на тънка мишена от поликристален диамант. Търси се раждането на тъмен фотон в процеса на $e^+ e^-$ аниhilация с маса в интервала $2 \div 23$ MeV и стойности на относителната сила на взаимодействие $\varepsilon = \alpha' / \alpha_{EM}$ до 10^{-6} , като се фокусира върху случая, в който тъмният фотон или евентуалните му продукти на разпадане не могат да бъдат регистрирани. В случай на аниhilация, съпътстващият нормален фотон от реакцията се регистрира от електромагнитен калориметър, независимо от продуктите на разпадането на тъмните фотони. Една кинематична променлива, липсващата маса, характеризира процеса, който трябва да достигне връх при $m_{A'}$ в случай на производство на A' .

Дисертантът дава обстойно описание на всеки компонент на апаратурния комплекс и на избраните технически решения за постигане на целите на експеримента, но отделя особено внимание на създаването на детекторите на заредени частици. Обсъдени са различните прототипи на тези детектори с цел установяване на номинална технология за тяхната изработка, провеждането на изпитвания без и със сноп заредени частици, окомплектоването на система за събиране на данните от прототипите и анализа на данните.

Научни и научно-приложни приноси

Приносите са формулирани от дисертанта достатъчно ясно и ги приемам.

В значителна степен приносите може да се категоризират като създаване на нови модели и получаване на нови факти с потенциал за научно и технологично приложение, както и прилагане на утвърдени и разработване на иновативни методи за изследване на резултатите от приложение на авангардни технологии. Най-значимият по моя преценка принос на дисертанта остава, че по време на разработването на дисертацията е спомогнал за изграждането на научна база за получаване на уникални резултати с висока научна стойност, което се очаква през 2021 г. и след това.

Публикации по дисертационния труд и личен дял на дисертанта

Дейностите по експериментите NA62 и PADME с участието на дисертанта са представени и анализирани в **10** публикувани научни трудове. Авторските колективи на статиите и докладите са многочислени като основни съавтори на дисертанта са доц. В. Кожухаров и доц. Л. Цанков. В 3 от 10-те статии дисертантът е на първо място в списъка на авторите. Приемам разпределението, както е посочено от дисертанта. От 10-те публикации **3** са с негов основен принос (кореспондиращ автор на 1 статия с импакт фактор (ИФ) и 2 доклада на международната конференция RAD), **2** – със съществен принос (с ИФ-1) и **5** - с второстепенен принос (с ИФ-2).

Дисертантът не е дал данни за цитирания на публикациите с негово участие.

Автореферат

Авторефератът има характер на самостоятелен обзор – за разлика от текста на дисертационния труд не са представени таблици и номерацията на включените фигури се отличава. Въпреки неудобствата при четенето и съпоставянето на фактите, моята

преценка е, че в автореферата достатъчно ясно и точно са отразени съдържанието на дисертацията и формулираните от дисертанта приноси.

Критични бележки и препоръки

Нямам принципни възражения към дисертацията и към достоверността на изложените резултати и заключения. При предзащитата бяха забелязани от колегията някои технически грешки, бяха направени също и забележки по същество, които дисертантът до голяма степен е отразил в представения текст. Дисертационният труд е добре илюстриран, изложението е стегнато и без повторения.

По мое мнение, изложението в дисертационния труд би произвело по-висока информативност чрез синтезирани обобщения и изводи след отделните глави.

Може да се посочат допуснати грешки, например:

- правописни
 - на места се използва “в следствие” а на други – правилното “впоследствие”;
 - “енергетичният отклик на детекторът“, с.60;
- терминологични - “излъчване на сцинтилации“, с.18;
- неточен запис на Гаусовата функция, Фигура 6.33;
- неясни твърдения
 - - “алкални метали с огледални катода или полупроводници с прозрачни или полупрозрачни катода”, с.19.
 - - “или нито един от тях не се”, с.59

Подобни недостатъци не омаловажават сериозната работа и достижения на дисертанта по темата и не подлагат под съмнение постигнатия професионализъм, изразен чрез хардуерни и софтуерни разработки, които са спомогнали и ще продължат да допринасят за получаването на надеждни експериментални данни, създаващи здрава основа за задълбочени и компетентни анализи и заключения.

Заключение

Представената дисертация напълно отговаря на изискванията на Закона за развитие на академичния състав, както и на вътрешните правилници за неговото прилагане на Софийския Университет и Физическия факултет за придобиване на образователна и научна степен „Доктор“. Реализирана е една актуална образователна и изследователска програма като дисертантът е участвал активно в подготовката и изпълнението на важни етапи в хардуерното и софтуерното развитие на детекторните системи на експериментите NA62 и PADME. В конкретни разработки според мен той е имал принос и в идейно отношение. Може да се направи извод за изградена компетентност и потенциал на дисертанта Г. Ст. Георгиев за бъдещо развитие, включително и самостоятелно.

Въз основа на анализа на материалите по процедурата и съдържанието на представения дисертационен труд като оценявам неговата актуалност, неговите качества и значимостта на съдържащите се в него научно-приложни и приложни приноси убедено предлагам на почитаемите членове на Научното жури да гласуват за присъждане на образователната и научна степен “ДОКТОР” на магистър инженер-физик Георги Стефанов Георгиев.

София, 12 февруари 2021 г.

Р е ц е н з е н т:

/проф. дфн Кирил А. Крежов/