

Авторска справка за приносния характер на трудовете

Ще се опитам накратко да представя информация не само за приносите ми в трудовете, с които участвам в конкурса, но и за моята работа като учен, както и някои от основните резултати, получени с мое съществено участие.

Резултатите от досегашната ми научна работа са публикувани както следва:

• общ брой публикации	963
• общ брой цитирания	47 390
• публикации с IF	781
• учебници	2
• книги	1
• h-индекс	97

Данните за цитирания и индекс на Хирш са взети от специализираната база данни INSPIRE (<http://inspirehep.net/info/general/project/index>), като самоцитиранията са изключени. Към материалите за конкурса са приложени два списъка: първият включва всички статии в областта на физиката на елементарните частици, публикувани в списания с импакт фактор (общо 768), а във втория са приведени публикациите, с които участвам в конкурса (общо 101). Отделно е приложен списък с цитиранията, в който са вградени линкове към статии, в които са цитирани работите от първия списък.

Съгласно правилника на СУ „Св. Кл. Охридски“ съм представил разпечатани работите, с които участвам в конкурса. Общият обем на всички 101 работи е 5500 стр. Считаю за абсурдно да разпечатам тези текстове в 4 екземпляра. Поради това в пълен обем са разпечатани статиите с обем < 30 стр, а за останалите статии са разпечатани заглавната страница, авторския състав, абстракта и съдържанието. Пълният текст на всяка от статиите, както и цялата информация, свързана с нея, могат да бъдат намерени в директория „*statii*“ на електронния вариант на документите за конкурса, както и през линковете в приложените списъци, т.е. всеки желаещ да се запознае с тях разполага с пълен достъп.

В конкурса участвам с работи, свързани с моите приноси в изследванията, провеждани с детектора CMS на ускорителя LHC. Преди да се спра по-подробно на тях, ще направя и кратък преглед на останалите ми научни приноси.

(А) Теоретични изследвания

Започнах научната си работа в Лабораторията по теоретична физика на ОИЯИ, Дубна. Бях включен в групата на проф. Огиевецки, занимаваща се с изследване на суперсиметрични модели. През този период моите основни приноси се състоят в построяване на операторите на Казимир за N-разширена суперсиметрична алгебра с централни заряди (работа, която се цитира в учебници по математика) и въвеждането на нов клас суперпространства, известни сега като аналитични суперпространства.

По-късно публикувах и серия работи, свързани с квантуване на теоретико-полеви модели с връзки.

(Б) Експеримент HYPERON на Серпуховския ускорител, Русия (1983-1993)

През 1983 г. се прехвърлих на работа в Лабораторията по ядрени проблеми на ОИЯИ и се присъединих към колаборацията HYPERON, където станах част от групата на СУ в този експеримент. Основните ми задължения включваха:

- разработка, конструиране и експлоатация на черенковски детектори и електромагнитни калориметри с радиатор от оловни стъкла;
- разработка на методи и софтуер за обработка на данни и детекторна симулация;
- физическа интерпретация на експерименталните данни;
- разработка на физическа програма и детекторен дизайн.

С мое съществено участие бяха измерени сеченията за раждане на K_s^0 и K^{0*} - мезони в адрон-ядрени взаимодействия. Беше разработен и теоретичен модел на адрон-ядрени взаимодействия, отчитащ ефектите на екраниране на цвета в процеса на формиране на адроните. Тези резултати съставиха основата на защитената от мен дисертация за придобиване на научната степен кандидат на физико-математическите науки.

През 1990 г. ми бе присъдена първа премия на ОИЯИ за серия работи върху „Екраниране на цвета в адрон-ядрени взаимодействия”.

През същия период разработих и предложение за провеждане на експерименти с детектора HYPERON по изучаване на разпади на K^+ - мезони, което беше частично реализирано на Серпуховския ускорител с мой съществен принос. Бяха измерени формфакторите на полулептония разпад K^+_{e3} и матричният елемент на разпада $K^+ \rightarrow 3\pi$.

През 1986 г. получих първа премия на ОИЯИ за най-добро предложение за експеримент.

По време на работата ми в ОИЯИ бях:

- ◆ Член на Научния съвет на Лабораторията за ядрени проблеми на ОИЯИ, Дубна (1987–1990);
- ◆ Член на Експертната комисия по Физика на високите енергии на Лабораторията за ядрени проблеми на ОИЯИ, Дубна (1987–1990);
- ◆ Член на Научния съвет на Лабораторията по физика на частиците на ОИЯИ, Дубна (1989–1990);

(В) Експеримент NA48 на SPS, CERN

През 2001 г. се включих в експеримента NA48, провеждащ изследвания на разпади на неутрални и заредени K-мезони на ускорителя SPS в ЦЕРН. Взех участие в обработката на вече набрани експериментални данни от експеримента NA48, набора на данни и техния анализ от експеримента NA48/1 и в подготовката и провеждането на експеримента NA48/2. Работата ми беше свързана основно с:

- Монте Карло симулация и анализ на данни за детектора NA48;
- разработка на методи за идентификация на частици на базата на невронни мрежи;
- провеждане на експериментите NA48/1 и NA48/2;

Като някои по-важни резултати получени с мое съществено участие мога да отбележа:

- Измерване на форм-факторите и относителните вероятности на $Ke3$ разпади и определяне на V_{us} елемента на матрицата на Кабибо-Кобаяши-Маскава;
- Наблюдаване за пръв път на редките разпади $K_s^0 \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ и $K_s^0 \rightarrow \pi^0 \mu^+ \mu^-$;
- Наблюдаване на особеност в разпределението на $\pi^0 \pi^0$ инвариантната маса от разпада $K^\pm \rightarrow \pi^{+/-} \pi^0 \pi^0$ и най-точно определяне на дължините на $\pi \pi$ разсейване;
- Измерване на матричните елементи на разпадите $K^\pm \rightarrow \pi^\pm e^+ e^-$ и $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \mu^+ \mu^-$;
- Измерване на формфакторите на разпадите $Ke4$.

В тези изследвания взеха активно участие и защитиха дисертации под мое ръководство:

1. Цветан Чешков;
2. Стоян Стойнев;
3. Венелин Кожухаров;
4. Евелина Маринова

Отчислена с право на защита е и Милена Дюлендарова.

През 2005 г. станах лауреат на Втора премия на ОИЯИ за „Измерване на форм-факторите на $Ke3$ разпадания.

Получените с мой съществен принос резултати по изследване на полулептонни разпади на неутрални и заредени каони съставиха основата на защитената от мен през 2016 г. дисертация за придобиване на научната степен доктор на физическите науки.

(Г) Експеримент NA62 на SPS, CERN (от 2008)

Паралелно със серията експерименти NA48, започнахме работа по подготовката на нов експеримент за изследване на свръхредкия разпад $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$. Нашата група пое отговорността за разработването на детектори за регистрация на фотони летящи под малки ъгли спрямо снопа. След изясняване на изискванията към тези детектори (MC симулации на експеримента) бе избрана технология за тяхното конструиране и произведен прототип, който премина успешно изпитания на ускорителя SPS в ЦЕРН. Детекторите са инсталирани в експерименталния комплекс NA62 и успешно участваха в набора на данни през 2016 и 2017 г. Експериментът NA62 ще продължи набора на данни и през 2018 г. Паралелно с него се извършва и анализ на вече набраните данни и са получени първите физически резултати.

Член съм на управителния съвет на колаборацията.

(Д) Експеримент NA49 на SPS, CERN (2002-2008)

Колаборацията NA49 проведе един от експериментите, ориентирани към търсене на ново състояние на материята – кварк-глюонна плазма. Той изучава взаимодействия на тежки йони (Pb–Pb) на ускорителя SPS. Инициатор на участието ни в този експеримент бе проф. Матеев. Съвместно с него, формирахме група от млади хора, която започна работа по този експеримент. На нашата група бе възложена калибровката на времепроекционните камери на експеримента. След успешното решаване на тази задача, бе проведена пълна преобработка на всички данни от експеримента и бяха получени ред интересни физически резултати. Усилията на нашата група бяха съсредоточени в изучаване на раждането на различни адрони в протон-протонни и протон-ядрени взаимодействия.

Накои по-интересни резултати, получени в този експеримент, са:

- Първи експериментални данни за съществуването на екзотичен барионен резонанс (пентакварк; $S = -2$, $Q = -2$);
- Индикации за деконфайнмент в ядрено-ядрени взаимодействия при $30 \cdot \text{GeV}$;
- Измерване на флуктуациите на множествеността в ядрени взаимодействия;
- Измерване на енергийната зависимост на флуктуациите на отношенията на сеченията, предадения импулс, електрическият заряд и дву пионните корелации;
- Измерване на енергийната зависимост на раждане на хиперони със странност > 1 .

По тази тематика двама от моите дипломанти бяха зачислени за редовни докторанти в катедрата – Мартин Макариев и Димитър Панайотов. Мартин работеше под мое ръководство, докато ръководител на Д. Панайотов бе проф. Матеев. Мартин Макариев успешно защити дисертация през 2008 г, а Д. Панайотов бе отчислен с право на защита.

Резултати за участие в конкурса

Експеримент CMS на ускорителя LHC в CERN. (от 1991 г.)

За участие в конкурса за професор представям списък от 101 работи, отразяващи участието ми и приносите ми в разработването на конструкцията и физическата програма, изграждането и въвеждането в експлоатация, набора на данни и техния анализ на детектора CMS, провеждащ изследвания на ускорителя LHC. По тази тема имам над 700 публикации. От тях съм отделил тези, които най-ясно илюстрират приносите ми в реализацията на цялостната програма от изследвания, провеждани от колаборацията CMS.

В списъка са вградени линкове, които позволяват да се видят пълните текстове на статиите, както и списък на публикациите, в които те са цитирани. В електронния вариант на документите има специална директория „*statii*“, в която са записани пълните текстове на публикациите в pdf формат. Приведените работи са публикувани както следва:

Nucl. Instruments and Meth. A	11
Nucl. Phys. B	4
Eur. Phys. J. C	6
J. Phys. G	2
JINST	18
Phys. Rev. Lett.	4
JHEP	17
Phys. Lett. B	13
Phys. Rev. D	5
Science	1
Nature	1

или общо **82 статии в реномирани списания с импакт фактор**. Останалите 19 работи са публикувани като CMS Notes, материали на конференции и специални издания на ЦЕРН.

Включените в списъка работи са цитирани общо 16412 пъти.

Публикациите, цитирани повече от 20 пъти, са 45.

През 1991 г. се включих във формиращата се колаборация CMS, подготвяща предложение за експеримент на ускорителя LHC. Съвместно с колегите от ИЯИЯЕ – БАН постепенно формирахме група (в състав, вариращ през годините между 14 и 30 човека), участваща в подготовката на предложението за експеримент, изграждането на детектора CMS, набора на данни на ускорителя LHC и техния анализ.

1. Адронен калориметър

Първата задача, с която се заех, беше разработването на софтуер за симулация на отклика на калориметричната система на експеримента CMS и определяне с негова помощ на оптималната конструкция и геометрия на адронния калориметър (HCAL). Съвместно с проф. Владимир Генчев решихме успешно тази задача и получените резултати, представени в работи [2, 3, 4] послужиха за основа на подготовката на първоначалното предложение за експеримента [1] и съответния Technical Design Report (TDR) [10]. Беше разработен също така и код за бърза симулация на калориметричната система [5]. Резултатите от нашите симулации бяха съществени и за подготовката на проект за изграждане на адронен калориметър, способен да работи в силни магнитни полета [6].

Паралелно с това участвах в изработването на прототипи на адронния калориметър и изследването на техните характеристики в сноповете на ускорителя SPS. Моя отговорност бяха анализа на получените експериментални данни и симулация на отклика на прототипите. За първи път беше наблюдавано изменение на светодобива от сцинтилаторите в зависимост от приложеното магнитното поле. Обяснението на този ефект беше дадено от мен [8, 9].

След успешното провеждане на тестовете на прототипите се пристъпи към производство на адронния калориметър. Съвместно с проф. Генчев организирахме производството в КЦМ, гара Искър, на абсорбера за цилиндричната част на адронния калориметър. Той се състои от месингови плочи с примерен размер $100 \times 5 \times 300 \text{ cm}^3$, тежащи около 3 тона. Ние носехме отговорност също така за контрола на качеството на производството и взехме участие в разработката на технологията за тяхното отливане. От България абсорберът (общо над 700 тона) беше транспортиран в Испания за последваща механична обработка и сглобяване.

В сноповете на ускорителя SPS бяха проведени тестове на вече сглобените сектори от адронния калориметър, изследвани техните характеристики и проведена първоначална калибровка. В тези тестове беше инсталиран и пълномащабен прототип на електромагнитния калориметър. Резултатите от тях, както и пълно описание на основните характеристики и методите за калибровка на цилиндричните и затварящите части на адронния калориметър са приведени в работи [13, 22, 26, 27, 29, 31, 35].

Предложих и показах експериментално, че за детектиране на светлината, излъчена от сцинтилаторите в цилиндричната част на HCAL, могат да бъдат използвани лавинни фотодиоди, произведени в България [12]. За провеждане на тези изследвания бяха разработени нискошумящ зарядочувствителен предусилвател (шум 400 електрона) и компютърно управляемо нисковолтово и високоволтово захранване за APD [7, 12].

При некомпенсирани адронни семплинг калориметри, какъвто е този на експеримента CMS, е изключително важно да се осигури не само добра разделителна

способност по енергия, но и добра линейност по отклика им. По мое предложение беше разработен метод за реконструиране на отделената в калориметъра енергия с помощта на невронни мрежи [14]. Той осигуряваше значително по-добра разделителна способност и линейност на откликна за адрони и адронни струи в сравнение със съществуващите към този момент други методи.

След началото на набора на данни на ускорителя LHC бяха разработени методи за определяне на енергията на адронни струи и на изпуснатата енергия с използване на информация и от останалите подсистеми на детектора CMS [54, 55].

В резюме, съществените ми приноси свързани с изграждането и експлоатацията на адронния калориметър на детектора CMS могат да бъдат формулирани както следва:

- разработка на софтуер за симулация, дизайн и оптимизация на конструкцията;
- производство на прототипи и тестовите им на ускорителя SPS;
- разработка и тестове на фотодетектори за работа в силни магнитни полета;
- производство (в България) на основната част от абсорбера на HCAL (700 т.);
- изграждане и калибровка на детектора на SPS;
- разработка на методи за реконструкция на отдадената в калориметъра енергия.

2. Мюонна RPC система

След приемането на България за пълноправен член на ЦЕРН, по моя и на В. Генчев инициатива разширихме българското участие в експеримента CMS, като се включихме в изграждането на системата от камери със съпротивителна плоскост [11].

Първоначално започнахме работа по дизайна на конструкцията на камерите. След като тя беше фиксирана, в България произведохме механичните рамки на групите камери RB2, RB3 и RB4 (общо 375 камери).

Наша отговорност беше също така и асемблирането и изследване на основните характеристики на камерите от станция RB3 (125 камери). За целта, на територията на ИИИЯЕ–БАН изградихме съвместна лаборатория за сглобяване на камери и тестването им с космически мюони. След производство на тези камери и транспортирането им в ЦЕРН се включихме и в асемблирането и тестовите с космически мюони на камерите от станции RB2 и RB4 в Бари в Италия.

През 2003 г. започнах работа в ЦЕРН, където заедно с Ана Колалео изградихме в ISR лаборатория за дълговременен тест (1 месец) на RPC. През тази лаборатория преминаха тестове всички камери от цилиндричната част на детектора CMS (общо 480 камери).

Паралелно с тази работа изградих и тестов стенд за изследване на RPC за затварящите части на детектора, като осигурих необходимите за целта сцинтилатори, фотоумножители, тригерна електроника и система за събиране на данни. През този стенд преминаха всички камери за затварящите части.

Резултатите от тестовите на RPC, проведени в София, Бари, както и в сноповете на ускорителния комплекс в ЦЕРН, са представени в работите [15, 16, 17, 18]. Производството и методите за контрол на качеството са представени в работи [21, 24]. Беше разработена и специална система за мониториране на газа [30]. По време на тестовите се изясни, че в резултат на облъчването на камерите с йонизиращо лъчение в тях се образува изключително агресивния газ HF, който може да доведе до увреждане

на елементи от газовата система на камерите. На този проблем са посветени работи [23, 34].

След инсталирането на камерите в детектора, моя основна отговорност беше тяхното въвеждане в експлоатация, най-напред на повърхността, а след това и в подземната зала (на 100 м под повърхността). Бяха проведени тестове на камерите с включено (3.8 T) и изключено магнитно поле с използване на космически мюони и на мюони от халото на снопа от ускорителя LHC. Резултатите от тези изследвания са представени в работи [33, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43].

Системата от RPC камери също беше използвана като част от мюонната система на детектора за прецизно измерване на магнитното поле в ярмото на магнита на детектора CMS [39].

След успешното запускане на системата от RPC, наша основна задача и съответно моя отговорност, беше осигуряването на надеждна и стабилна работа на цялата система (покриваща площ от 4000 м² и 150000 канала електроника), отстраняването на възникнали проблеми, постоянен контрол на параметрите на камерите и на системата за снемане на данни от тях и прехвърлянето им към тригерната система на детектора CMS. През годините сме публикували редовни доклади за състоянието на системата [48, 60, 62, 63, 72, 77, 78].

През последните години активно участвах в изследванията и подготовката на доизграждане на мюонната система [79, 86, 88]. Преди дни беше публикуван поредният TDR.

Мюонната система на детектора CMS беше използвана не само за измервания по време на работа на ускорителя, но също така и за изследване на зарядовото съдържанието на мюонната компонента на космическото лъчение [47].

През периода 2011–2015гг. бях председател на Борда на институтите на колаборацията RPC, в която влизат 22 института от 12 държави.

В резюме, мога да формулирам приносите си към изграждането и експлоатацията на системата от камери със съпротивителна плоскост на детектора CMS по следния начин:

- разработка и конструиране на RPC;
- производство на механичните рамки за групите камери RB2, RB3 и RB4 (общо 375 камери);
- изграждане на монтажно-изпитателен стенд в София;
- пълно комплектоване и изпитателни тестове на камерите от станция RB3 (125 камери);
- изграждане на тестов стенд в CERN;
- заключителни тестове в CERN и интегриране на камерите в детектора CMS;
- разработка на тригерната система за тестове с космични мюони и DAQ за тестовия център в CERN за RPC камерите за затварящите части на мюонния детектор;
- поддръжка и осигуряване на нормална работа по време на набор на данни на системата от RPC в продължение на повече от 10 години;
- разработване на нови RPC камери за доизграждане на мюонната система на детектора CMS.

Характеристиките на две от основните системи на детектора CMS (HCAL и RPC), в изграждането на които имам съществен принос, в голяма степен определят физическата програма от изследвания, провеждани с него. Пълно описание на детекторния комплекс CMS е публикувано в [32]. Физическата програма от изследвания, заедно с основните характеристики на детекторната система, са изложени в детайли в [20, 25, 28]. Очакванията от експериментите, провеждани на ускорителя LHC, са представени също така и в [44].

3. Софтуер и компютинг

Работата ми по проекта CMS в голяма степен е била свързана с разработването на софтуер за симулиране на отклика на детектора и анализ на данни. Огромният обем от данни, постъпващи от детектора CMS, наложи и разработването на уникална световна система, позволяваща от една страна достъп на членовете на колаборацията до всички данни, събрани от детектора, и едновременно с това достъп до необходимите компютърни мощности за техния анализ [19]. Участвам в работата по изграждането на тази система от самото начало. В частност, бях член на проектите LCG, EGEE, SEE-Grid. По моя инициатива във Физическия факултет на Софийския университет беше изграден Grid клъстер, който се използва за анализ на данни от експеримента CMS. През годините той претърпя няколко надграждания. След завършване на осъществяването в момента надграждане той ще разполага с 1100 изчислителни ядра и 800 TB пространство за съхранение на данни. В момента това е един от най-мощните изчислителни центрове в България.

На територията на Физическия факултет беше изграден също така и CMS център, който позволява от София да се дават смени по време на набор на данни, както и да се контролират системите на детектора.

4. Физически резултати

Физическите изследвания на ръководената от мен група са съсредоточени върху процеси с мюони в крайното състояние. Резултатите от тях могат да бъдат разделени в няколко групи.

4.1 Прецизна проверка на предсказанията на Стандартния модел

Първите физически резултати, получени с детектора CMS, бяха свързани с измерване на сеченията за раждане на заредени адрони при протон-протонни сблъсъци при енергии на сноповете $\sqrt{s} = 0.9$ и 2.36 TeV [45] и $\sqrt{s} = 7$ TeV [46]. Бяха измерени инклузивните сечения за раждане на двойки калибровъчни бозони WW и ZZ при $\sqrt{s} = 7$ TeV [50, 56] и при $\sqrt{s} = 8$ TeV [69], като за тяхната регистрация се използваха лептонните им канали на разпад.

Друг интересен резултат, демонстриращ изключителната разделителна способност на детектора CMS, беше измерването на сечението за раждане в протон-протонни взаимодействия на ипсилон-мезони при енергия $\sqrt{s} = 7$ TeV [51].

Интересно изследване на предсказанията на Стандартния модел беше и измерването на сеченията за раждане на двойка мюони [57] и двойки WW [71] във фотон-фотонни взаимодействия при протонни сблъсъци при енергия $\sqrt{s} = 7$ TeV.

Много интересен резултат за прецизна проверка на СМ е наблюдението на изключително редкия разпад $B_s \rightarrow \mu^+\mu^-$ [73, 81]. Работата по изучаване на редки разпади на В-мезони продължава и в момента с използване на много по-висока статистика.

Тук искам да отбележа и наблюдението за първи път на определени ъглови корелации (Long-range near-side) в протон–протонни взаимодействия [49]. Тези корелации са изключително важни за разбиране на някои от резултатите, получени при изследване на взаимодействия на тежки йони и в частност за разбиране на поведението на кварк–глюонната плазма.

4.2 Откриване на бозона на Хигс и изследване на неговите взаимодействия

Нашите усилия в търсене на предсказания в рамките на Стандартния модел бозон на Хигс бяха съсредоточени върху изследване на канали на разпад с 4 лептона в крайното състояние. Тази нова частица беше наблюдавана за първи път, като за нейната регистрация се използваха канали на разпад на два фотона и на четири лептона [58, 61, 70].

След първоначалното наблюдение на бозона на Хигс усилията ни бяха съсредоточени върху изследване на неговите свойства, прецизно измерване на масата и измерване на неговите взаимодействия. Целта на всички тези изследвания беше да се провери дали тази частица притежава характеристиките, предсказани в рамките на Стандартния модел за бозона на Хигс или това е частица със свойства, много близки до тези на Хигс бозона, но различна от него.

В частност, бяха проведени измервания и получени резултати за масата на новата частица [68, 83], търсене и наблюдение на други канали на разпад на Хигс бозона важни за определяне на неговия спин и честност [74, 80, 98], измерване на взаимодействията му и сравнение с предсказанията на Стандартния модел [75, 76, 80, 83, 85, 87], както и търсене на екзотични негови разпади, предсказани в рамките на различни разширения на Стандартния модел [84]. Основните резултати от тези измервания са базирани на статистиката, набрана при протон-протонни взаимодействия с $\sqrt{s} = 7$ TeV и $\sqrt{s} = 8$ TeV. През тази година бяха публикувани и първите резултати по изследване на свойствата на Хигс бозона, получени при протонни взаимодействие при енергия $\sqrt{s} = 13$ TeV [96, 97, 98].

4.3 Търсене на нови калибровъчни бозони и резонанси

В разширенията на Стандартния модел се предсказва съществуването на нови взаимодействия, пренасяни от бозони със спин 1. В моделите, допускащи повече от 4 измерения, се предсказва и съществуването на резонанси със спин 2. В суперсиметричните разширения на Стандартния модел се предполага и съществуването на тесни резонансни състояния, разпадащи се на лептони. Ние проведохме систематично търсене на такива нови частици. В случаите, когато не се наблюдават такива състояния, се налагат ограничения върху тяхната маса и съответните сечение за тяхното раждане, умножени по вероятността за разпад в изследвания канал. Тези ограничения най-често са моделно зависими. Получените експериментални данни като правило са интерпретирани в рамките на няколко различни модела.

Беше проведено търсене на нови преносители на взаимодействие със спин 1 при различни енергии на протон-протонните взаимодействия ($\sqrt{s} = 7, 8$ и 13 TeV). Получените резултати [65, 67, 89, 90, 91, 92, 95, 101] съвпадат с предсказанията на Стандартния модел, т.е. не се наблюдават нови състояния със спин 1. В рамките на

различните модели бяха наложени съответните ограничения за техните маси и вероятности за раждане и наблюдение в изследваните канали.

Проведохме и търсене на резонансни състояния със спин 2 [64, 67, 92]. И в този случай не бяха наблюдавани нови състояния и съответно бяха поставени ограничения върху техните маси и производението на сечението за раждане по вероятността за разпад по съответния канал.

Част от изследванията ни бяха посветени и на търсене на нови тесни резонанси, предсказани в рамките на суперсиметричните разширения на Стандартния модел [53, 59]. Не получихме указания за съществуване на такива състояния и съответно бяха наложени ограничения върху техните маси и вероятности за раждане.

4.4 Търсене на проявления на физика извън Стандартния модел

В различните разширения на Стандартния модел се предсказва не само съществуването на нови частици, но и ред нови явления. Ние проведохме търсене на указания за съществуване на физика извън Стандартния модел и нейни проявления в процеси, които съдържат лептони в крайно състояние. Резултатите от тези изследвания са представени в работи [52, 82, 93, 94, 99, 100]. Във всички изучавани процеси не бяха наблюдавани отклонения от предсказанията на Стандартния модел и съответно бяха поставени ограничения върху параметричното пространство на изследваните модели.

В резюме, резултатите от проведените изследвания са:

- Проведена е прецизна проверка на предсказанията на Стандартния модел, като са измерени сеченията за различни процеси при безпрецедентно високи енергии. За първи път е наблюдаван редкият разпад $B_s \rightarrow \mu^+\mu^-$;
- Открита е нова частица с маса 125 GeV и са изследвани нейните свойства и взаимодействия. Характеристиките ѝ съвпадат с тези на предсказания в рамките на Стандартния модел бозон на Хигс;
- Проведено е търсене на нови преносители на взаимодействие и резонансни състояния със спин 1 и 2. Не са наблюдавани такива състояния и съответно в рамките на различни хипотези са наложени ограничения върху стойностите на техните маси и производението на сечението за раждането и вероятността за разпад в изследвания канал;
- Проведено е търсене на явления, указващи съществуване на физика извън Стандартния модел. Не са наблюдавани отклонения от предсказанията на Стандартния модел. В тези случаи са наложени строги ограничения върху параметричното пространство на изследваните разширения на СМ.

Дейността ми по този проект покрива един 26-годишен период. През него в колектива, работещ по тези задачи, бяха включени много млади хора, които защитиха дипломни работи и дисертации за получаване на научната и образователна степен доктор. Болшинството от тях и в момента продължават да работят като членове на колаборацията CMS, макар и пръснати на различни места по света. Под мое ръководство успешно защитиха дисертации по тематика, свързана с експеримента CMS:

1. Борислав Павлов
2. Пейчо Петков
3. Антон Димитров
4. Румяна Хаджийска

Успешно премина обучение и е отчислен с право на защита Николай Дърменов. В момента по тази тематика работят двама докторанти: Антон Петров и Мирослав Бончев.

Член съм на борда на колаборацията CMS от самото му формиране и на борда на колаборацията RDMS (Russia and Dubna Member States) в CMS също от неговото създаване. Участвам и в ред други работни органи на колаборацията.

В момента съм член на „Engagement office”. Това е съвещателен орган към говорителя на колаборацията и нейния Management Board, включващ петима изявени учени. Той трябва да извърши преглед на цялостната организация на работата в колаборацията и да предложи конкретни мерки за повишаване на ефективността на работата ѝ във всички аспекти на нейната дейност. Той също така отговаря за и активно участва в разширяването на колаборацията.

Считам за свое много важно достижение това, че съвместно със ст.н.с. Владимир Генчев, успяхме да създадем голям отлично работещ колектив, който има съществен и добре видим принос в изграждането и експлоатацията на детектора CMS. Работата ни по този проект изигра съществена роля за приемането на страната ни за пълноправен член на ЦЕРН.

Трансфер на знания и технологии от ФЕЧ към други научни и приложни области

През последните няколко години отделям не малко време и за използване на знанията и уменията, придобити в областта на ФЕЧ, за приложения, свързани с биологията и медицина. Работя активно в следните направления:

- **Информационни технологии и високопроизводителни изчисления с приложение в изучаване на биологични системи**

Опитът с изграждане на сложни компютърни системи и създаване на модели на комплексни системи и симулацията на тяхната работа, придобит в областта на ФЕЧ, се прилага директно за изучаване на поведението и взаимодействията на сложни биологични молекули. Тъй като подобен тип симулации изискват огромни изчислителни ресурси, станах един от инициаторите и активен участник в изграждането на национален суперкомпютърен център. На територията на Физическия факултет бяха изградени клъстер със 150 ядра за високопроизводителни паралелни изчисления, оборудван с мощни видеокарти, и компютърен клас за обучение. Организирах и ръководя група, която активно се занимава с компютърни симулации на взаимодействия на биологични молекули, както и с обучение на студенти и специалисти за работа с високопроизводителни изчислителни системи. Тези изследвания се извършват в тясно сътрудничество с колеги от Химическия факултет на СУ, ИИКТ–БАН, Института по молекулярна биология на БАН, Медицинска Академия и ТУ София. Като основен резултат от нашта работа мога да посоча разработването на компютърен модел на човешки гама интерферон (hIFN- γ) и изясняване на механизма на свързване на hIFN- γ с клетъчните му рецептори. Това позволи да намерим нов инхибитор на активността на hIFN- γ .

Съосновател съм на Националния консорциум по геномика, протеомика и медицина, за трансфер на знания, методи и технологии от естествените науки към медицината и биологията и член на неговия борд, както и съосновател на Националния Център за Суперкомпютърни Приложения и член на неговия управителен съвет. По

тази тематика имам един защитен докторант – Елена Лилкова, един отчислен (01.2018) с право на защита и един в процес на обучение.

- **Разработване на детектори за ПЕТ базирани на камери със съпротивителна плоскост (RPC) и способни да работят в силни магнитни полета.**

В рамките на тези изследвания беше оборудвана съвременна лаборатория за разработване на детектори на йонизиращо лъчение. Бяха създадени прототипи на RPC с висока разделителна способност по време. Резултатите от изследването на техните характеристики са представени в работа [66].

Бих искал да отбележа и някои други свои приноси, които считам за важни.

На първо място, това е приносът ми към създаването в СУ „Св. Кл. Охридски“ на школа за подготовка на висококвалифицирани специалисти в областта на ФЕЧ, която се ползва с висок международен авторитет. Имам 35 дипломанта, завършили магистърска степен, и 18 докторанти. От тях, само 6 не се занимават с научни изследвания. Останалите работят в България и различни научни центрове и университети по света. Деветнадесет имат докторска степен и 5 са в процес на обучение за придобиване на тази степен. В катедрата работят двама доценти и един гл. асистент, които са мои възпитаници.

Считам, че имам съществен принос за изграждането на образа на СУ „Св. Кл. Охридски“, на Физическия факултет и на катедрата по атомна физика като място, в което се извършват научни изследвания на най-високо световно ниво и което обучава студенти, които по нищо не отстъпват на випускниците на най-реномираните университети в света.

Друг важен за факултета и особено за катедрата принос е създаването на бакалавърска програма по Медицинска физика. Това доведе до осигуряване на студенти и достатъчно курсове в катедрата и като следствие възможност за спокойна и плодотворна работа.

През годините, във Физически факултет на СУ „Св. Кл. Охридски“ по моя инициатива и с мое водещо участие бяха изградени:

- оборудвана с най-съвременна техника лаборатория по физика на елементарните частици;
- CMS център;
- изчислителен център, в който работи клъстер за паралелни изчисления (150 изчислителни ядра);
- Grid клъстер, който след завършване на провеждащото се в момента обновяване ще има 1100 изчислителни ядра и 800 TB пространство за съхранение на данни;
- в процес на изграждане, съвместно с колегите от ФМИ на СУ и ОИЯИ – Дубна, е облачна структура;
- оборудван е и учебен клас с 10 работни места;
- беше обновена и напълно оборудвана със съвременна техника и една зала за лекции.

По този начин във Физическия факултет на СУ „Св. Кл. Охридски“ е изградена съвременна инфраструктура за провеждане на научни изследвания и обучение на студенти на най-високо ниво.