

**Отчет на дейностите по споразумение Д01-175-28.07.2022 г.
за изграждане и експлоатация на обекта от
Националната пътна карта за научна инфраструктура
„Европейски център за ядрени изследвания – ЦЕРН“**

28.07.2022 – 28.07.2024 г.

Съдържание

1. Интензифициране на експлоатацията на научната инфраструктура на ЦЕРН чрез осигуряване на българското участие в експерименти в ЦЕРН.	1
1.1. Присъединяване към експерименти и инициативи в ЦЕРН, българското участие в които не е финансирано от други национални инструменти	1
1.2. Участие в изпълнението на научните програми на експерименти по точка 1.1	1
1.3. Развитие на човешкия потенциал.....	5
2. Изграждане и експлоатация на научна инфраструктура, която ще бъде използвана за разработване и тестове на детектори и комплексни детекторни системи за регистрация на йонизиращо лъчение и компютърно моделиране на отклика на детекторни системи и обработка и анализ на данни получени в експерименти провеждани в ЦЕРН.	6
3. Организационни дейности.....	12
4. Финансов отчет.....	13
4.1 Финансов отчет на ИЯИЯЕ – БАН	13
1.2 Финансов отчет на Софийския Университет	13
5. Необходимо финансиране за 2025 г.	13
Заклучение:	13
Приложения	14

1. Интензифициране на експлоатацията на научната инфраструктура на ЦЕРН чрез осигуряване на българското участие в експерименти в ЦЕРН.

1.1. Присъединяване към експерименти и инициативи в ЦЕРН, българското участие в които не е финансирано от други национални инструменти

През отчетния период съвместно с Министерството на образованието и науката бяха проведени преговори, в резултат на които България, чрез Софийския университет, се присъедини към инициативата SCOAP³ (Sponsoring Consortium for Open Access Publishing in Particle Physics) (виж **Приложение 1**). С това действие бяха изпълнени редица задължения произтичащи от Договора за присъединяване на България в ЦЕРН, Стратегията за развитие на научните изследвания в България и редица документи на ЕС. Присъединяването към SCOAP³ е национална инициатива, насочена към всички учени в страната, а не само към участващите през НПКНИ през Софийския университет. Официални участници в SCOAP³ са Българската академия на науките, Пловдивския университет “Паисий Хилендарски”, Техническият университет София, Югозападния университет “Неофит Рилски” и Националният център по радиобиология и радиационна защита.

Вноската към SCOAP³ за 2023 г. в размер на 10 000 € беше изплатена в рамките на настоящето споразумение. Вноската за 2024 г. е планирано да бъде платена след сключване на споразумение и получаване на финансирането за 2024 г. В момента се водят разговори за продължаване на инициативата SCOAP³ след 2024 г. като очакваният принос на България към фаза 4 на SCOAP³ за периода 2025 – 2027 г. се очаква да бъде 12 000 €.

През 2022 г. бяха приключени успешно преговорите за присъединяване на изследователи от Софийския университет към експеримента SND@LHC, като през септември 2022 г. беше подписан Меморандум за разбирателство между ЦЕРН и Софийския университет (виж **Приложение 2**). Същата година беше платена и първата вноска към общия фонд на експеримента в размер на 3 900 CHF.

1.2. Участие в изпълнението на научните програми на експерименти по точка 1.1

След приключване на епидемичната ситуация провеждането на експерименти ЦЕРН значително се разрасна. Това доведе до значителни разходи по перо „Командировки“ поради активното участие в набиране на данни, провеждане на тестови измервания и изграждане на експериментални установки. Значителни по обем дейности бяха посветени на планирането и предлагането на нови измервания. През изминалия период бяха финализирани редица анализи, довели до получаването и публикуването на нови резултати (общо **90 публикации** в реномирани научни списания (Q1 и Q2); за пълния списък на публикациите с благодарности към „НПКНИ – Обект ЦЕРН“, публикувани през отчетния период, както и пълния текст на статиите, виж **Приложение 3**). Всички дейности са обобщени по експерименти, както следва:

- **ИСОЛДЕ (ISOLDE)** – към момента участници в този експеримент са проф. дфзн Георги Райновски, доц. д-р Калин Гладнишки, гл. ас. д-р Диана Кочева, Иван Анастасов (студент), Диана Христова (студент), Любен Кодинов (студент) от Софийския университет и гл. ас. д-р Петко Кръстев от ИЯИЯЕ към БАН. Основната част дейности през отчетния период бяха свързани с изготвяне на предложения за нови измервания на установката MINIBALL на ускорителя HIE-ISOLDE и провеждане на вече одобрени експерименти:
 - На [71-вата сесия на научния комитет на ISOLDE \(INTC - ISOLDE and neutron Time-of-Flight Experiments Committee\)](#) през ноември 2022 г., беше представено предложение за подготовка на експеримент [INTC-P-638](#), в което българската група има водеща роля. Предложението беше одобрено (решенията на INTC очакват одобрение от изследователския борд на ЦЕРН) и се очаква да бъде реализирано през ранната пролет или есента на 2025 г.
 - На [72-рата сесия на научния комитет на ISOLDE](#) през февруари 2023 г., българската група участва в подготовката на две предложения [INTC-P-649](#) и [INTC-P-608-ADD-1](#). Двете предложения бяха отклонени с искането за допълнителна експериментална информация ([виж решенията на комитета](#)), която може да получи и със стабилни снопове от тежки йони. В следствие на това искане в периода 2022 – 2024 г. проведохме няколко експерименти в Университета на Кьолн, Научния център Росендорф (Германия), Центъра за ядени изследвания Мъгуреле (Румъния) и лабораторията GANIL (Франция), които не само осигуриха исканата експериментална информация, но доведоха до две публикации в реномирани научни списания (Q2). Подготвят се или вече са представени подобрени предложения за експерименти към научния комитет на ISOLDE.

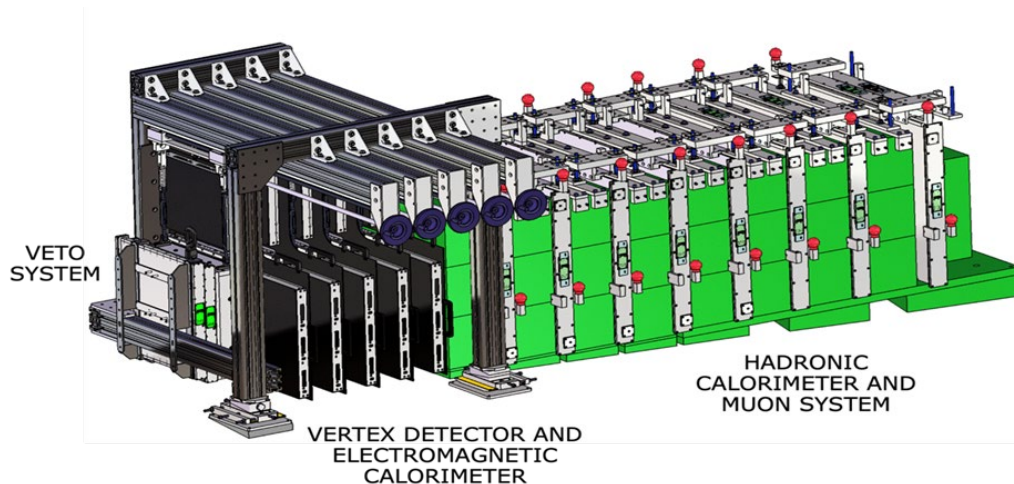
- На [71-вата сесия на научния комитет на ISOLDE](#) през февруари 2024 г., беше представено предложение за експеримент [INTC-P-686](#), в който българската група има водеща роля. Предложението беше одобрено ([виж решенията на комитета](#)) в частта му за изотопите ^{212,214}Ra. Експериментът [IS748](#) е *планиран за поставяне и провеждане* в периода **25.09 – 02.10.2024 г.** Допълнително групата от Софийския университет участва в подготовката на предложението за експеримент [INTC-P-685](#) (подобрен вариант на [INTC-P-649](#), базиран на данни от допълнителни експерименти), а д-р Петко Кръстев от ИЯИЯЕ участва в подготовката на предложението [INTC-P-687](#). И тези двете предложения бяха одобрени ([виж решенията на комитета](#)) и се очаква експериментите да се проведат до края на 2024 г.
- През ноември 2022 г., групата от Софийския университет взе участие в провеждането на първата част на експериментите [IS697](#), [IS702](#), които бяха първите експерименти с ускорени радиоактивни снопове на установката MINIBALL след спирането на ускорителния комплекс на ЦЕРН през 2018 г. (LS2).
- През септември и октомври 2023 г., групата от Софийския университет взе участие в провеждането на втората част на експериментите [IS697](#), [IS702](#) и [IS656](#), а д-р Петко Кръстев участва в провеждането на експериментите [IS630](#), [IS680](#) и [IS683](#).

Към момента може да се счита, че българските учени са пълноценно интегрирани в ISOLDE, като участват активно в провежданите експерименти, а в някои от тях играят и водеща роля. Вноските в общия фонд на ISOLDE в размер на 30 000 CHF за 2022 г. и 2023 г. са покрити в рамките на настоящето споразумение и споразумение Д01-355/13.12.2023. Вноската за 2024 г. се очаква да се покрие до края на годината, след получаването на финансирането за 2024 г. ***Трябва да се отбележи, че през 2024 г. изтича тригодишният първоначален срок, в който България е член на ISOLDE при редуцирана (50%) вноски. Съгласно подновения Меморандум за разбирателство (виж Приложение 4), все още неподписан от България, вноската за ISOLDE ще бъде 60 000 CHF.*** В зависимост от финансовите възможности на НПКНИ, управителният съвет на консорциума НПКНИ-ЦЕРН трябва да реши дали България да продължи пълноправното си членство в ISOLDE или да се търсят други форми на участие.

- **NA61/SHINE** – Членове на колаборацията от СУ са проф. дфзн Румен Ценов (пенсионер), доц. д-р Димитър Колев (пенсионер), доц. д-р Мариян Богомилов (тим лидер), д-р Симона Илиева. Текущите дейности на екипа се свеждат до: i) поемане на смени по време на набиране на данни при взаимодействието на снап от протони с редица енергии и различни видове мишени, нужни за пресмятане на сечения за раждане на адрони, разпадащи се до неутринни крайни състояния; ii) мониторинг на детекторите на експеримента NA61/SHINE, осигурявайки високото качество на набраните данни. В периода 15-19 април 2024 г. в София успешно се проведе Колаборационна среща на NA61/SHINE с около 60 участници. Възлагането на организирането на такова важно събитие е израз на високата оценка за участието на българския екип от страна на колегите в колаборацията.

Вноската за членския внос към общия фонд на експеримента на стойност 15000 CHF бе платена през септември 2022 г.

- **SND@LHC и SHiP** – Експериментът SND@LHC (Фигура 1) се намира на Големия адронен колайдер в ЦЕРН, на около 480 метра от точката на сблъсъци в центъра на експеримента ATLAS. SND има две основни изследователски направления: i) Неутринна физика: измерване на сеченията за раждане на неутрина в протон-протонни сблъсъци; тестване на лептонната универсалност; използване на неутриното като инструмент за изследване на раждането на очаровани адрони; оценка на отношението на заредени и неутрални токове в неутринните взаимодействия; и ii) Нова физика: пряко търсене на слабо взаимодействащи частици, родени в LHC.



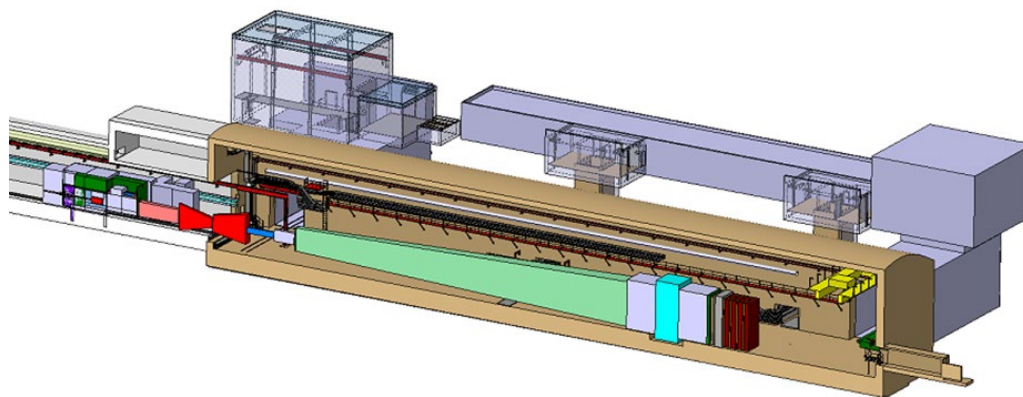
Фигура 1: Схема на експеримента SND@LHC.

Физическият факултет на СУ е сред основателите на експеримента (одобрен от ЦЕРН март 2021 г.). Членове на колаборацията на експеримента, както и съавтори на научните публикации, са: доц. д-р Мариан Богомилов (също тим лидер), гл. ас. д-р Галина Ванкова-Кирилова, д-р Симона Илиева и физик Васил Вергилов. Симона Илиева започна работа по софтуера на експеримента през 2022 г, а в момента е координатор по офлайн софтуера на целия експеримент, като спечели и временна позиция в ЦЕРН, която ѝ позволява да работи постоянно там. Мариан Богомилов и Васил Вергилов се включиха в две основни задачи по експеримента: i) две едноседмични дежурства по поддръжка и мониторинг на експеримента с бърза реакция при проблем с набирането на данни; ii) подготовка и компютърно сканиране на облъчените фотоемулсии и мониторинг на процеса.

С подкрепата на този проект през 2023 г. беше привлечен студентът в магистърска степен на обучение Ивайло Дионисов. Той беше командирован в ЦЕРН за работа по експеримента SND@LHC. По време на командировката бяха извършени следните дейности: калибриране на част от електронните детектори с пионен сноп на ускорителя SPS; деасемблиране и химическа обработка на фотоемулсиите след изваждането им от тунела на LHC; асемблиране на нови фотоемулсии за следващия сеанс набор данни. Успоредно с това беше формулирана задача за оценка на фоновите мюонни събития при сблъсъци олово-олово, която стана и темата на неговата магистърска дипломна работа. Той докладваше редовно напредъка по анализа на колаборационни и специализирани срещи. Дипломната работа беше защитена отлично през март 2024 г, а впоследствие г-н Дионисов спечели докторантски конкурс и в момента е докторант във Физическия факултет на СУ с основна задача – анализ на данни от SND.

Успешното интегриране на екипа от СУ в задачите по SND@LHC доведе до привличането на още един докторант в СУ – Георги Златинов. Той ще има задача да участва в разработката за ъпгрейда на SND, т.нар. AdvSND. Идеята е AdvSND да бъде не само наследник на SND@LHC и да заработи след Long Shutdown 3 (LS3), т.е. след 2031 г., но и да бъде използван като неутринен детектор в наскоро одобрения нов експеримент за търсене на нови частици SHiP (Search for Hidden Particles).

Част от авторите на предложението за SHiP (Фигура 2.) са от Софийския университет. Това е експеримент, който ще е водач не само за ЦЕРН, но и в света, по търсене на нови частици. Търсенето на нови частици е изключително актуално и перспективно направление за обяснение на тъмната материя. ЦЕРН планира да вложи изключително много ресурси в този дългосрочен проект, като планове са той да работи даже след края на действие на LHC. Ето защо подписване в следващите години на меморандум за разбирателство с ЦЕРН от българска страна за изграждане и експлоатация на експеримента SHiP, ще осигури ключови дългосрочни позиции на България във физиката на елементарните частици.



Фигура 2: Схематичен вид на експеримента SHiP.

- **АЛИС (ALICE)** – Основна задача на експеримента ALICE е изучаването на ядрената материя при свръхвисока температура. При такава температура, съответстваща на огромна плътност на енергията, материята се намира в ново състояние – така наречената кварк-глюонна плазма. За разлика от протоните и неутроните, където кварките са здраво свързани, в кварк-глюонната плазма те се намират в полу-свободно състояние. Това състояние на веществото е съществувало мигове след Големия взрив и възможността кварк-глюонната плазма да бъде изучена ще ни позволи да си отговорим на въпросите за това как възниква здравата връзка между кварките и глюоните в протоните и неутроните. Физичните задачи на експеримента ALICE обаче не се изчерпват единствено с разбирането на същността на кварк-глюонната плазма. В режим на редуцирано магнитно поле и с помощта на времепроекционната камера на ALICE могат да се реконструират двулептонни събития с инвариантна маса до около 10 MeV и по-ниска (в случай на $e^+ - e^-$). При ултрапериферни взаимодействия между ядра на олово поради големия заряд е възможно да се раждат аксиони и аксионоподобни частици, които ще летят под малки ъгли спрямо оста на сноповете на ускорителя LHC. Тези краткоживущи частици впоследствие се разпадат до фотони, които също летят под малки ъгли. Това позволява с експеримента ALICE да се изследва раждането на нови леки частици, родени във взаимодействията между протоните и тежките йони. Тези леки частици е възможно да са свързани с разликата между теоретичната и наскоро обявената експериментална измерена стойност на аномалния магнитен момент на мюона. От друга страна, още един интересен за физиката на елементарните частици въпрос е стойността на аномалния магнитен момент на тау-лептона, който все още не е експериментално измерен. Предварителните изследвания показват, че най-подходящ процес за изследването му е раждането на тау-лептони именно в ултрапериферни взаимодействия между тежки ядра.

Към настоящия момент като част от експеримента ALICE се финализира дизайна и ще се пристъпи към конструирането на калориметър, регистриращ именно частици, летящи под малки ъгли спрямо сноповете на LHC. Точно този детектор ще допринесе за разширяването на физичната програма на ALICE и представлява съществен интерес за екипа от българската страна. Екипът по настоящия проект се присъедини към конструирането на част от новия калориметър FoCal (Forward Calorimeter).

През 2022 г. българската група в експеримента ALICE се утвърди с експертизата си по сцинтилационни детектори на високоенергетични частици и по анализа на данни и извличане на физични резултати. Благодарение на усилията на колегите от ФзФ-СУ се постигна значителен напредък в разбирането и в дизайна на бъдещия детектор FoCal-H, който ще бъде предназначен да регистрира частици, летящи под малки ъгли спрямо посоката на взаимодействащите на експеримента ALICE снопове. Получените резултати от данните от проведените тестови набори на данни през 2021 г., 2022 г. и 2023 г. бяха представени за първи път именно от член на настоящия колектив пред международната научна общност, което е признание за приноса на ФзФ-СУ към провежданите изследвания. В подготвените и изпратените публикации активно се включиха докторантите от настоящия колектив, което засили тяхната видимост и затвърди съществения им принос за получаването на резултатите. Това включва както разработени и използвани системи за набор и анализ на данните, така и последващата обработка на данните и оценка на работоспособността на детекторите / електронните системи. Едната от публикациите беше приета в JINST, а другата е напреднала фаза на рецензиране и се очаква да бъде одобрена за публикуване скоро.

С това и двамата докторанти ще покрият националните изисквания за присъждане на ОНС-доктор, което ще допринесе за кариерното им израстване.

В същото време през 2022 г. ФзФ-СУ за първи път се включи в оперирането на самия експериментален комплекс ALICE в рамките на набора на данни на ускорителя LHC. През 2023 г. наборът на данни протече нормално, като в него се включиха още двама млади учени - за участие в тестовите набори на данни и за участие в управлението на експеримента ALICE по време на основния набор на данни. Трябва да се отбележи, обаче, че опознаването в детайли в системите на експеримента ALICE отнема време и ще продължи и през следващите няколко години, докато се постигне необходимата експертиза в експеримента.

През 2023 г. групата от СУ се включи пряко в изследването на корелационните характеристики на адроните, родени в протон-протонните взаимодействия. Това стана основно благодарение на привличането от чужбина на нов пост-докторант към групата от СУ. Корелационните характеристики се определят от два физически ефекта - раждането на частиците в така наречения източник и съответно последващото взаимодействие. По този начин корелационните функции позволяват да се изследва както източника, така и потенциалите на адрон-адронните взаимодействия, предполагайки известна зависимост или за единия ефект, или за другия. Тази изцяло нова тематика за колектива от СУ предстои да се доразвие, като към настоящия момент изследванията в СУ са свързани с вида и описанието на източника на адроните, чиято еволюция с относителния импулс на частиците и/или инвариантната маса може да носи информация за възникване на колективни ефекти. През следващата година се очаква организирането на работна среща в България в рамките на групата по фемтоскопия на експеримента ALICE, на която ще бъдат поканени и външни за експеримента ALICE учени, работещи върху теоретичната интерпретация на данните.

През 2022 г. публикуването на статии в реномирани научни списания беше временно преустановено във връзка с войната в Украйна. Макар и публично достъпни в arXiv през 2022 г., публикациите получиха своите официални препратки от списанията през 2023 г. В рамките на експеримента ALICE през 2022 г. и 2023 г. колективът от СУ "Св. Кл. Охридски" е съавтор на 74 статии, публикувани в реномирани научни списания (Q1 или Q2).

Понастоящем в експеримента ALICE са включени доц. д-р Венелин Кожухаров, гл. ас. д-р Мартин Макариев, Радослав Симеонов, Валентин Бучакчиев, Калина Стоименова, д-р Димитър Михайлов и Катерина Костова. От тях млади учени са Радослав Симеонов, Валентин Бучакчиев, Калина Стоименова, Катерина Костова, Димитър Михайлов. През отчетния период в работата по експеримента ALICE се включиха и следните млади учени и/или докторанти ас. д-р Момчил Найденов, Александрина Киркова - 2023 година, Timo Wilken, (M.Sc. University of Cambridge).

Към настоящия етап научният потенциал на групата е достатъчен за извършването на планираните изследвания. От друга страна техническият потенциал е силно ограничен, като в групата няма експерти по механичен инженерен дизайн, електроника и дизайн на съвременни електронни компоненти и други. Липсата на такава експертиза се дължи до голяма степен на загубата на такава експертиза в участващите звена и съответната предстои да се развие отначало. През следващия етап се планира към групата да се присъединят още двама сътрудници именно с научно-техническа експертиза в системи за събиране на данни и сензори Светослав Иванов (понастоящем докторант) и Мартина Дочева (понастоящем студент във ФзФ, СУ).

1.3. Развитие на човешкия потенциал

В дейности по проекта освен щатните изследователи от Физически факултет на Софийския университет и ИЯИЯЕ-БАН са привлечени на граждански или временни договори двама млади учени и постдокторанти. Трябва да се отбележи и засиленият интерес към докторантури, свързани с изследванията на консорциума като за отчетния период са привлечени шестима докторанта. Също така се засили интересът и сред студентите от бакалавърските програми във ФзФ, като към момента осем студента работят по задачи от научната програма на консорциума.

2. Изграждане и експлоатация на научна инфраструктура, която ще бъде използвана за разработване и тестове на детектори и комплексни детекторни системи за регистрация на йонизиращо лъчение и компютърно моделиране на отклика на детекторни системи и обработка и анализ на данни получени в експерименти провеждани в ЦЕРН.

През отчетния период, дейностите по изграждане и експлоатация на инфраструктура в Софийския университет и ИЯИЯЕ-БАН се извършваха съгласно обновените „План за изграждане и експлоатация“ и „Финансов план“ по работни пакети (РП) както следва:

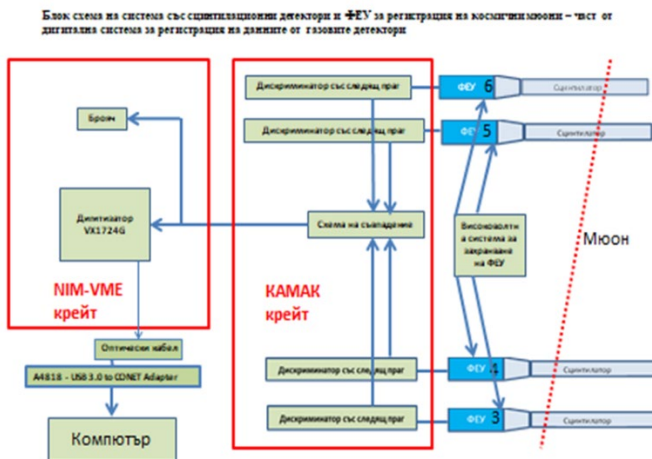
РП1. Изграждане и експлоатация на лаборатория за газови многодетекторни системи на йонизиращи лъчения

Задачите от този работен пакет се изпълняват от екип от ИЯИЯЕ в състав доц. д-р Лъчезар Георгиев (ръководител на работния колектив), д-р Пламен Яйджиев, инж. Владимир Башев, доц. д-р Румяна Хаджийска, ас. д-р Мариана Шопова, инж. д-р Любомир Димитров, инж. Георги Митев, техник Людмил Рачев, инж. Светослав Тодоров Христов, техн. Сътрудник Венцислав Лилянов Стефанов и системен администратор Георги Бориславов Иванов.

През третия етап, в съответствие с отпуснатото финансиране, дейностите са фокусирани главно върху „Д5.6 Инсталиране на първи етап от дигитална система за регистрация на данните от газовите детектори и високоволтови електронни блокове“ като след обсъждане с експертите от лабораторията по ядрена електроника е решено да се закупят следните модули за дигитална система за регистрация на данните от газовите детектори и високоволтови електронни блокове за стенда за регистрация на космични мюони – „космически стенд“:

- Комбиниран крейт с вградено захранване, с възможност за едновременно включване на стандартни NIM и VME модули с интерфейс VME64.
- Предавател/преобразувател на електрически сигнали (VME-USB Bridge).
- Предавател/преобразувател на електрически в оптични сигнали (USB 3.0 to CONET Adapter).
- Многоканален преобразувател на напрежение в цифров код (Digitizer).
- Многоканален преброител на импулси и измерител на времеви интервали (Scaler and Preset Counter-Timer).
- Оптически кабел 20 м дуплекс

С тези електронни блокове могат да бъдат включени в космическия стенд 8 детектора сцинтилатор-ФЕУ, които бяха проверени при изпълнението на етап 2 от договора с използване на закупената през 1996 г. електроника на базата на крейт „КАМАК“. Подобна електроника отдавна не се използва за ядрени изследвания. Със средствата от Етап 3 и закупуването на блоковете от списъка, все още не се решава проблема със смяната на цялата електроника. На този етап временно се използват 2 блока от системата „КАМАК“ (дискриминатор със следящ праг и блок за съвпадения), които ще бъдат заменени през Етап 4 на договора.



Фигура 3: Схема на разположението на детекторите и електрониката.

Изпълнена беше процедура по ОБЩЕСТВЕНА ПОРЪЧКА с предмет „Доставка на електронни модули за космически стенд за нуждите на ИЯИЯЕ към БАН“. Доставени бяха следните модули на фирма САЕН:

- VME крейт NV8020A / Комбиниран крейт с вградено захранване, с възможност за едновременно включване на стандартни NIM и VME модули с интерфейс VME64.
- V3718 - VME-USB Bridge / Предавател/преобразувател на електрически сигнали (VME-USB Bridge).
- A4818 - USB 3.0 to CONET Adapter / Предавател/преобразувател на електрически в оптични сигнали (USB 3.0 to CONET Adapter).
- VX1724G - 8 Ch. 14 bit 100 MS/s Digitizer: 512KS/ch, C20, SE / Многоканален преобразувател на напрежение в цифров код (Digitizer).
- N1145 - Quad Scaler and Preset Counter-Timer / Многоканален преброятел на импулси и измерител на времеви интервали (Scaler and Preset Counter-Timer).
- Оптически кабел 20 м дуплекс.



Фигура 4: Стойка с електронните блокове и детекторите.

Закупените по обществената поръчка модули бяха инсталирани в лабораторията заедно с част от модулите в системата „КАМАК“. Беше извършено свързване към общо заземяване и към мощен модул за UPS захранване. Беше инсталирана начална версия на софтуера за работата с модулите на CAEN. Детекторите са оформени в 2 блока по 4 детектора – № 3,4,5,6, и № 1,2,7,8 разположени вертикално (виж Фигура 3). На Фигура 4 са показани стойката с електронните блокове и детекторите.

Извършена е профилактика на съществуващата апаратура, която да бъде използвана преди доставката на необходимата нова апаратура. Голям брой неработещи високоволтови и сигнални кабели се наложи да бъдат ремонтирани. Проверена беше настройката на модулите Дискриминатор със следящ праг 4ФСР-163.

Инсталирането на новите електронни модули бе предпоставка за направата на повторни измерванията, с цел определяне на работните параметри на фото-електронните умножители, свързани със сцинтилационните детектори в лабораторията. В тези измервания бяха включени и двама студенти от Физико-технологичен факултет на ПУ „Паисий Хилендарски“, гр. Пловдив. Получените резултати са включени в бакалавърските дипломни работи на студентите Нина Димитрова Каравасилева и Антон Иванов Каравасилев, успешно защитени в ПУ „Паисий Хилендарски“, Пловдив, под ръководството на д-р Мариана Шопова и д-р Румяна Хаджийска, като научен консултант.

За пълна замяна на електрониката за работа с VME крейт, на следващия етап от договора ще бъдат сменени и блоковете в КАМАК крейта с блокове на CAEN за VME крейт. С това ще бъде изпълнена задачата за конструиране на система от сцинтилационни детектори напълно съвместима с подобните системи в ЦЕРН.

РП 2. Център за Grid и облачни технологии към ИЯИЯЕ

По задача Д1.3 - Етап II на модернизация и разширение на електрическата инсталация на центъра за данни в ИЯИЯЕ, е извършено следното:

- Изградено е електрическо трасе, свързващо новозакупения по задача Д1.4 дизелов генератор (виж Фигура 5).
- Направени са необходимите промени в електрическото табло след свързване на дизеловия генератор, с цел да се осигури автоматично преминаване към резервно електрозахранване в непрекъснат режим на работа.
- Тестване на функционалността за автоматично превключване от основно към резервно електрозахранване.

По задача Д1.4 - Закупуване и инсталиране, монтаж и включване на дизелов генератор за резервиране на електрозахранването на центъра за данни на ИЯИЯЕ, е извършено следното:

- Провеждане на процедура за избор на изпълнител за доставка на дизелов генератор (виж Фигура 5).
- Доставка, монтаж, включване в електрическата мрежа на центъра за данни на ИЯИЯЕ на дизелов генератор Grupel, модел G0043BDGR.
- Тестване функционалността на дизеловия генератор.
- Провеждане на обучение на специалисти на ИЯИЯЕ-БАН за експлоатация на дизеловия генератор.



Фигура 5: Компоненти от новоизградената система за резервно електрозахранване.

По задача Д1.6 „Етап I от изграждане на високоскоростна комуникационна система“ е извършено следното:

- Закупуване на високоскоростни комутатори за свързване на компонентите на центъра за Grid и облачни технологии.
- Провеждане на процедура за закупуване на мрежово оборудване за защита на инфраструктурата на центъра за Grid и облачни технологии и мрежовата инфраструктура на ИЯИЯЕ-БАН като цяло. –
- Доставка, първоначална настройка и въвеждане в експлоатация на закупеното по т. 2 мрежово оборудване Hillstone, модел A2600.
- Провеждане на обучение за експлоатация, наблюдение и отстраняване на проблеми, доколкото е възможно, за доставеното мрежово оборудване.

Частичното изменение на обхвата на задача Д1.6 и закупуването на допълнителното мрежово оборудване се наложи във връзка с усложнената международна обстановка и установеното значително увеличение на кибератаките към инфраструктурата на ИЯИЯЕ-БАН.

РП 3. Център за Grid и облачни технологии към Софийския университет

Научният колектив, изпълняващ работния пакет, е в състав от Физически факултет на Софийски университет: доц. д-р Борислав Павлов, доц. д-р Пейчо Петков, проф. дфзн Леандър Литов, физик Антон Петров, г-н Тодор Трендафилов (докторант), г-н Елтон Шумка (докторант) и от Факултет по математика и информатика на Софийски университет: проф. д-р Владимир Димитров, доц. д-р Радослава Христова.

През отчетния период бяха проведени пилотни изследвания с помощта на GRID клъстера в СУ с цел използване на Българският суперкомпютър Discoverer <https://discoverer.bg/>, като GRID инфраструктура. Целта е на суперкомпютъра Discoverer да могат да се запускат изчислителни задачи от експериментите в CERN (например CMS) и той да може да се ползва като GRID сайт. Ползите от такъв подход са двойни - от една страна ще се разширят изчислителните мощности достъпни през GRID, а от друга страна суперкомпютърът ще бъде натоварен по-ефективно. Бяха проведени работни срещи на които бе договорена рамката за използване на суперкомпютъра, като GRID инфраструктура и техническите подробности.

РП 4. – Изграждане и експлоатация на лаборатория за изработване и изследване на сцинтилационни детектори към Софийския университет

Научният колектив, изпълняващ работния пакет, е в състав доц. д-р Венелин Кожухаров, доц. д-р Мариан Богомилов, д-р Симона Илиева, Радослав Симеонов, Симеон Иванов, Светослав Иванов, Валентин Бучакчиев, Галин Бистрев (студент), Вероника Асова (студент). По голямата част от членовете, всички без доц. Кожухаров и доц. Богомилов спадат в категорията „Млади учени“.

Лабораторията за сцинтилационни детектори е организирана в две основни и допълващи се направления:

- дизайн, изработка и тестване на активните компоненти на сцинтилационните детектори.
- дизайн, изработка и тестване на електронни компоненти за събиране на данните от сцинтилационните детектори и интегрирането им в автоматизирани системи за набор на данни.

По първото направление бяха изследвани възможностите за конструиране на пластмасови сцинтилационни детектори за нуждите на експериментите ALICE, SND@LHC и NA61/SHINE. Един от най-евтините и лесен за реализиране начин за производството на пластмасови сцинтилатори е чрез екструдирани на прецизно приготвена смес от специфичен термопластичен полимер (най-често полистирен или поливинилтолуен) и флуоресциращи вещества (2,5-дифенилоксазол; 1,4-Bis (5-phenyloxazol-2-yl) benzene и други), съставляващи около 1 % от цялата смес. Полученият материал може да бъде използван като активна област за сцинтилационен детектор, като точните параметри за производството му са производствена тайна. В рамките на НПКНИ-ЦЕРН се предлага изследването на възможността за производство за изследователски и експериментални цели на пластмасови сцинтилатори, които да бъдат използвани за изработката на сцинтилационни детектори. Изпълнението на тази дейност не може да бъде със 100 % гарантиран успех, но евентуалното постигане на каквото и да е напредък ще бъде ключово за българското участие в серия от предстоящи експерименти в областта на елементарните частици. Към момента екструдер все още не е закупен, поради изключително нарасналите цени през последните две години. Колективът преценява две възможности - закупуване на екструдер за сцинтилационни влакна и закупуване на малък лабораторен екструдер за тестови образци. След оценка на двата варианта ще се пристъпи към закупуването на екструдер, като това ще се случи най-вероятно през следващия етап.

През изминалия период бяха тествани нов дизайн и нови технологии за изработване на сцинтилационни детектори. Беше предложен алтернативен дизайн на адронния калориметър за експеримента ALICE, при който се редят фрезовани широкоплощни медни плочи, в чийто жлебове са поставени сцинтилационни влакна, както е показано на Фигура 6.



Фигура 6: Фрезовани широкоплощни медни плочи

Към настоящия момент предложената технология е все още на етап разработка, като се планира да бъде изграден пълномасшабен прототип с размер $250 \times 200 \times 1100 \text{ mm}^3$, който да бъде тестван на ускорителните комплекси в ЦЕРН и да бъде определен откликът му на високоенергетични частици.

По второто направление, През 2022 - 2023 г. лабораторията за електроника за сцинтилационни детектори беше приведена във функциониращо състояние. Макар че по-голямата част от оборудването ѝ е от вече съществуващи модули (включително измервателни и за разработка), настоящия договор изигра ключова роля за привличане на млади учени, пускане в експлоатация на съществуващо оборудване и оптималното му използване. През изминалия период за нуждите на лабораторията за сцинтилационни детектори бяха закупени следните компоненти:

- FPGA базирана специализирана платформа за четене на данните от силициевы фотоумножители с H2GCROC3 чипа, която ще позволи изграждането на тестова система за проверката на работоспособността на модулите на детектора FoCal-H в София, като системата се планира да има вид, сходен с този, показан на фигура 7. Тази система беше използвана при един от тестовите набори на данни именно за валидиране работоспособността на H2GCROC3 чипа.

- Радиационни сензори за дозиметрични измервания за погълната доза в областта 1 cGy - 1 kGy (1 Rad - 100 kRad), които ще са необходими за придобиване на технологическа експертиза за работа с такива сензори с оглед на голямото дозово натоварване на планираните за конструиране детектори за експеримента ALICE.



Фигура 7: FPGA базирана специализирана платформа за четене на данните от силициеви фотоумножители с H2GCROC3 чип

- Електронни компоненти и консумативи, включително и силициеви фотоумножители за регистриране на светлина от сцинтилационни детектори.

Електронните модули най-общо могат да бъдат категоризирани и като тестово оборудване, позволяващо изследването на новоразработени прототипи на сцинтилационни детектори и оценяване на характеристиките им. Освен комерсиалните модули в рамките на лабораторията бяха предприети действия към разработването и на собствени електронни модули, покриващи текущите нужди за тестване на прототипи на сцинтилационни детектори. Пример за това са многоканални NIM - LVTTTL и LVTTTL - NIM конвертори, които да позволят съвместната работа на CAEN DT5202 модули (базирани на LVTTTL) с наличната вече NIM-базирана електроника. Схемата на единичен канал е представена по-долу, като допълнителна комплексност възниква от организирането и едновременната работа на множество независими канали.

Възможността за дизайн и разработка на нови сцинтилационни детектори на територията на Физически факултет, СУ “Св. Кл. Охридски” допринесе за засилване на интереса на студентите към областта и за повишаване на знанията им чрез пряко участие в дейностите по изследването и конструирането на тези детектори. През 2023 г. заедно с настоящия екип в различни дейности се включиха и ученици от НИМГ “Акад. Л. Чакалов”, като трима от тях се записаха в бакалавърските специалности на ФзФ-СУ през учебната 2024/2025 г. Очаква се да продължат да се включват активно в работата в лабораторията за подобряването на инфраструктурата за изследването на нови сцинтилационни детектори, свързани с участието на български екипи на експерименти в CERN.

През изминалия период в рамките на лабораторията за сцинтилационни детектори двама от младите сътрудници преминаха през курс за повишаване на квалификацията. Курсът е свързан с изработването на механични компоненти за конструираните сцинтилационни детектори и ще позволи да се използва налично оборудване във ФзФ-СУ за нуждите на колектива по пътната карта. Този курс също така предоставя увереност за успешната бъдеща реализация на младите сътрудници дори и извън академичната среда, което също ще повиши интереса на други млади учени към работата на колектива.

РП 5 – Изграждане и експлоатация на лаборатория за разработване и характеризирание на детектори използвани в експерименти с ускорени снопове от радиоактивни йони към Софийския университет

Наученият колектив, изпълняващ работния пакет, е в състав проф. дфзн Георги Райновски, доц. д-р Калин Гладнишки, гл. ас. д-р Диана Кочева, Иван Анастасов (студент), Диана Христова (студент), Любен Кодинев (студент).

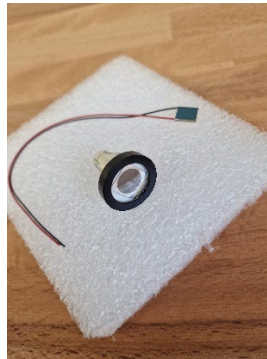
През изминалия период приключиха ремонтните дейности в помещения B25a и B34, в които се разполага научната и научно-учебната част на лабораторията. Бяха закупени необходимите електронни модули и детектори, позволяващи разработването и тестването на детектори за нуждите на експеримента ISOLDE, а именно:

- изграден е и е тестван стенд за разработване и тестване под вакуум на детектори за заредени частици. Стенда е оборудван с вакуумна камера и основната необходима електроника за спектрометрични измервания (виж фигура 8). Допълнително са осигурени радиоактивни източници за алфа частици и фрагменти на делене.



Фигура 8: Стенд за разработване и тестване под вакуум на детектори за заредени частици и прилежащата електроника за спектрометрични измервания.

- закупени са полупроводникови сензори, които ще се използват за конструиране на детектори за заредени частици (виж фигура 9).



Фигура 9: Полупроводникови сензори за конструиране на детектори за заредени частици.

- изградена е и е тествана система за натрупване данни и компютърна комуникация и управление на модулите.
- закупени са сцинтилационни детектори с кристали от LaBr₃, които са бързи детектори за гама лъчение със висока средна разделителна способност (виж фигура 10). Тези детектори предстои да бъдат интегрирани към стенда за разработване на детектори за заредени части, така че да позволяват извършване на измервания на съвпадения между заредена частица и гама квант.



Фигура 10: Сцинтилационни детектори с кристали от LaBr₃.

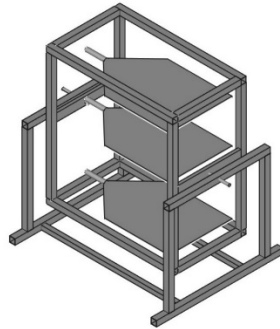
Към настоящия момент и през следващия период завършва пълното интегриране и тестване на системата като цяло. Развитието на лабораторията се осъществява съгласно работния план на консорциума. За пълното и завършване е

необходимо придобиването и интегрирането в системата на поне един детектор HfGe за гама кванти. Работещите части от системата вече се използват и за учебни дейности за студенти във Физическия факултет.

РП 6. – Изграждане и експлоатация на лаборатория за детектори на йонизиращи лъчения за високопрецизни измервания към Софийския университет

Научният колектив, изпълняващ работния пакет, е в състав доц. д-р Борислав Павлов, доц. д-р Пейчо Петков, проф. д-р Леандър Литов, физик Антон Петров, г-н Елтон Шумка (докторант).

През отчетния период бе проектиран, разработен и асемблиран тестов стенд за изследване на детектори с помощта на космични лъчи. На фигура 11 е представена CAD схема на тестовия стенд. Стендът ще позволява разполагане на няколко детекторни модула и и изследване на техните параметри (ефективност, разделителна способност, собствен шум и т.н.) посредством космични лъчи.



Фигура 11: Разработеният тестов стенд за изследване на детектори с помощта на космични лъчи.

През отчетния период колективът на проекта се включи в колаборацията DRD1 за разработване на технологии за газонапълнени детектори <https://drd1.web.cern.ch/>. Бяха проведени ред работни срещи <https://drd1.web.cern.ch/meetings> и бе подготвено предложение за R&D колаборация: <https://cds.cern.ch/record/2885937/files/DRDC-P-DRD1.pdf>.

3. Организационни дейности

Дейностите на консорциума в изпълнение споразумение Д01-175/28.07.2022 между Министерството на образованието и науката и Софийския университет се регулират от Договора за партньорство между Софийския университет и ИИЯЕ-БАН Договора за партньорство № 80-08-119 от 15.07.2019 г., Анекс № 1 и 3 (виж **Приложение 5**).

Изграден е и функционира интернет страница на проекта: <https://cem.phys.uni-sofia.bg/>

4. Финансов отчет

4.1 Финансов отчет на ИЯИЯЕ – БАН

Виж **Приложение 4.**

1.2 Финансов отчет на Софийския Университет

Виж **Приложение 3.**

5. Необходимо финансиране за 2025 г.

По отношение на основната задача на консорциума, а именно интензифициране на експлоатацията на научната инфраструктура на ЦЕРН, през 2025 г. предстоят вноски към общите фондове на експериментите, към които България се е присъединила през 2021 г. (ALICE, ISOLDE, NA61), през 2022 г. (SND@LHC) и инициативата SCOPE3. Необходимо финансиране за тези вноски е сравнимо с това за 2024 г., но трябва да се отчете увеличаването на вноската за ISOLDE и увеличаването на вноската за SCOPE3 при подписването на новите меморандуми за разбирателства (MoUs). Предвид увеличените разходи за командировки, констатирани във финансовите отчети, и увеличените цени на ДМА, консумативи и материали, е необходимо да се завишат и разходите по тези пера спрямо предварителния „Финансов план“ от 2020 г. Така необходимият бюджет за 2025 г. е както следва:

1. Присъединяване и осигуряване членството в експерименти в ЦЕРН

- Вноска в общия фонд на експеримента NA61/SHINE	–	30 000 лв.;
- Вноска в общия фонд на експеримента ALICE	–	50 000 лв.;
- Вноска в общия фонд на експеримента ISOLDE	–	120 000 лв.;
- Вноска в общия фонд на експеримента SND@LHC	–	20 000 лв.;
- Вноска към консорциума SCOPE3	–	25 000 лв.;
		Общо: 245 000 лв.

2. Осигуряване на участието български групи в научните програми на експериментите по точка 1.

- Разходи за командировки	–	205 000 лв.;
- Разходи за материали, консумативи, ДМА, студенти, млади учени и постдокторанти, свързани с изпълнение на научните програми на експерименти по точка 1	–	143 000 лв.;
		Общо: 348 000 лв.

3. Средства за изграждане и експлоатация на лаборатории на територията на Физически факултет на Софийски университет „Св. Климент Охридски“ и ИЯИЯЕ – **365 000 лв.**, по **182 500 лв.** съответно за ФзФ и ИЯИЯЕ.

Общо по точки 1, 2 и 3 необходимата сума е 958 000 лв., с включване на 5% разходи за административно обслужване и одит и отчитане на курсови разликите (MoUта са в CHF) общата пълна сума е **1 015 000 лв.**

Заклучение: за успешно осъществяване на дейностите по изграждане на експлоатация на обекта от Националната пътна карта за научна инфраструктура „Европейски център за ядрени изследвания – ЦЕРН“ **през 2025 г. е необходимо финансиране в размер на 1 015 000 лв.**

Приложения

1. Меморандум за разбирателство (MoU) и Анекс към Меморандума за разбирателство (MoU) за създаването и работата на SCOAP³ за периода 2022 – 2024 г.
2. Меморандум за разбирателство (MoU) за поддръжката и експлоатацията на експеримента SND (виж страница 7).
3. Пълен списък (виж файла Публикации-НПКНИ-ЦЕРН-22-2024.pdf) и текст на научните публикации (виж архива Публикации-НПКНИ-ЦЕРН-22-2024.zip) включващи благодарности към МОН за финансирането получено по „НПКНИ – Обект ЦЕРН“.
4. Обновен Меморандум за разбирателство (MoU) поддръжката и експлоатацията на експеримента ISOLDE (виж страници 35 и 36). Този MoU е одобрен от съвета на колаборацията през 2023 г., но все още не е приет от Управителния съвет на консорциума НПКНИ-ЦЕРН.
5. Анекс № 3 към Договора за партньорство между Софийския университет и ИЯИЯЕ-БАН Договора за партньорство № 80-08-119 от 15.07.2019 г.
6. Финансов отчет и одит на Софийския университет.
7. Финансов отчет и одит на ИЯИЯЕ.

Координатор на Консорциума:

/проф. дфзн Георги Райновски/

Ректор на Софийски университет “Св. Климент Охридски”:

/проф. д-р Георги Вълчев/