

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Директор Інституту теоретичної фізики  
ім. М.М. Боголюбова НАН України  
академік НАН України

А.Г. Загородній



### АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

про виконану роботу у 2020 році в рамках реалізації проєкту  
із виконання наукових досліджень і розробок

Режим фіксованої твердотільної мішені в експерименті LHCb (CERN) і пошук екстремальних станів матерії в зіткненнях важких ядер на Великому Адронному Колайдері

**Назва конкурсу:** Конкурс НФДУ “Підтримка досліджень провідних та молодих учених”

**Реєстраційний номер Проєкту:** 2020.02/0257

**Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок** (реєстраційний номер та назва Проєкту)

2020.02/0257 “Режим фіксованої твердотільної мішені в експерименті LHCb (CERN) і пошук екстремальних станів матерії в зіткненнях важких ядер на Великому Адронному Колайдері”

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу Конкурс НФДУ “Підтримка досліджень провідних та молодих учених” протокол від «16-17» вересня 2020 року № 21

## 1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Тривалість виконання Проєкту

Початок – дата укладання Договору про виконання наукових досліджень і розробок (06 листопада 2020 року)

Закінчення – 2022 рік.

Загальна вартість Проєкту, грн. 4695,101 тис. грн.

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 495,101 тис. грн.

2-й рік 2100 тис. грн

3-й рік 2100 тис. грн.

## 2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту було залучено 6 виконавців, з них:

доктори наук 2;

кандидати наук 0;

інші працівники 4.

**3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(Ї)  
СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ  
УЧАСНИК**

Найменування підприємства/установи/організації (укр.)  
Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова

Організаційно-правова форма підприємства/установи/організації  
Державна організація (установа, заклад, підприємство)

Підпорядкованість підприємства/установи/організації (укр.)  
Національна Академія Наук України (НАНУ)

Код ЄДРПОУ  
05417124

Код(и) КВЕД  
72.19

Стратегічні напрями наукової діяльності (укр.)  
Фундаментальні і дослідження за такими напрямками: фізика елементарних частинок і фізика високих енергій; астрофізика; фізика твердого тіла

ПІБ керівника підприємства/установи/організації (укр.)  
Загородній Анатолій Глібович

Юридична адреса підприємства/установи/організації (укр.)  
Метрологічна вул. 14 б, 03143 Київ

Фактична адреса (укр.)  
Метрологічна вул. 14 б, 03143 Київ

Поштова адреса (укр.)  
Метрологічна вул. 14 б, 03143 Київ

Телефон  
380 44 5213461

Посилання на веб сторінку підприємства/установи/організації  
<http://kiefv.ua>

**СУБВИКОНАВЕЦЬ**

Найменування підприємства/установи/організації (укр.)  
Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України (ІЯД НАН України)

Організаційно-правова форма підприємства/установи/організації  
Державна організація (установа, заклад, підприємство)

Підпорядкованість підприємства/установи/організації (укр.)  
Національна академія наук України

Код ЄДРПОУ  
23724640

Код(и) КВЕД  
72.19

Стратегічні напрями наукової діяльності (укр.)  
Фундаментальні і прикладні дослідження та розробки за такими напрямками: ядерна фізика, фізика елементарних частинок і фізика високих енергій; ядерна енергетика; радіаційна фізика та реакторне матеріалознавство; фізика плазми та керований термоядерний синтез; ядерна, радіаційна та техногенно-екологічна безпека.

ПІБ керівника підприємства/установи/організації (укр.)  
Слісенко Василь Іванович, директор ІЯД НАН України, член-кореспондент НАН України

Юридична адреса підприємства/установи/організації (укр.)  
03028, м. Київ, просп. Науки, 47

Фактична адреса (укр.)  
03028, м. Київ, просп. Науки, 47

Поштова адреса (укр.)  
03028, м. Київ, просп. Науки, 47

Телефон  
(044) 525-23-49

Посилання на веб сторінку підприємства/установи/організації  
<http://www.kinr.kiev.ua>

#### 4. ОПИС ПРОЄКТУ

##### 4.1. Мета Проєкту (до 200 знаків)

Мета цього проєкту - дослідити закономірності, спричинені впливом «холодної» ядерної речовини та кварково-глюонної плазми (QGP) в диференціальних перерізах генерації важких адронів при релятивістських ядерних зіткненнях. Ми прагнемо розширити та поглибити цю область досліджень новими результатами аналізу даних експерименту LHCb (ЦЕРН) при енергіях поблизу  $\sqrt{s_{NN}} = 0,1, 5, 8, 13$  та  $14$  TeV. Ми також маємо намір внести свій внесок у розробку унікального для Великого Адронного Колайдера режиму фіксованої мішені, заснованого на металевих мікροстріпових детекторах (розроблених в Інституті ядерних досліджень НАН України), введених в гало пучка LHC. Це гарне наближення для дослідження зіткнень важких ядер у значно розширеному діапазоні ядер енергіями приблизно  $\sqrt{s_{NN}} = 0,1$  TeV, включаючи пошук сигналів у слабо дослідженій області фазової діаграми КХД.

##### 4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)

1. Підготувати та опублікувати в фаховому науковому виданні детальний опис пропозиції на проведення експериментів на БАК, націлених на дослідження різних фізичних явищ в залежності від характеристик основного стану ядра-мішені, із використанням нового багатомішенного комплексу на основі металевих мікродетекторів для режиму фіксованої мішені.
2. Представити Раді Технічної Координації експерименту LHCb проєкт технічного завдання на створення багатомішенного комплексу для нової серії досліджень на БАК (RUN4. 2027-2030 р.р.).
3. Здійснити аналіз даних експерименту LHCb в унікально широкому діапазоні енергій (0.1, 5, 8, 13 та 14 TeV), розрахувавши диференційні поперечні перерізи генерації дивних та чарівних адронів в зіткненнях ядерно-ядерних систем. Такі дані є надзвичайно цінним і ефективним підґрунтям для пошуку сигналів кварк-глюонної плазми.
4. Прийняти участь в чергуваннях на пульті керування експерименту LHCb під час набору фізичних даних, (RUN3. 2021-2024 р.р.). Забезпечити функціонування нової системи моніторингу інтенсивності ядерних зіткнень та фону (LHCb-RMS-R3), розробленої у та виготовленої в ІЯД НАН України.

5. Здійснити аналіз даних експерименту LHCb з використанням нового режиму фіксованої газової мішені (SMOG2).

6. Розробити технічну документацію створення багатомішенного комплексу на основі металевих мікродетекторів для режиму фіксованої металевої мішені експерименту LHCb. Обґрунтувати переваги цього режиму: суттєве покращення просторової фіксації області ядерних взаємодій; розширення діапазону досліджуваних ядер; прецизійна стабілізація парціальної світимості від багатьох мішеней з унікальною можливістю проводити експеримент одночасно на кількох мішенях, реалізуючи очевидну фізичну та економічну ефективність; тощо.

7. Результати досліджень ретельно узагальнити для 5-7 публікацій в наукових виданнях світового рівня та представлення на міжнародних конференціях, а також 2 кандидатських дисертаціях та 2 магістерських роботах.

#### 4.3. Детальний зміст Проекту:

- Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Процеси утворення різних станів кварконіїв досліджуються у відомих експериментах в ЦЕРН (ALICE, ATLAS, CMS, LHCb) при енергіях зіткнення до  $\sqrt{s_{NN}} = 13$  TeV. Міжнародні Колаборації STAR та PHENIX вивчають зіткнення протонів з протонами, протонів з ядрами та ядер з ядрами при енергіях до 200 GeV / нуклон на прискорювачі RHIC (Брукхейвен, США). Ці експерименти, націлені, зокрема, на пошук сигналів кварк-глюонної плазми, вивчаючи модифікацію поперечних перерізів генерації дивних та чарівних адронів. Повідомляється, що Колаборації LHCb та ALICE (ЦЕРН) виявили докази проявів «холодної» ядерної матерії при зіткненнях p-208Pb при енергіях  $\sqrt{s_{NN}} = 5$  TeV, а також при  $\sqrt{s_{NN}} = 8$  TeV. Однак брак статистики вимагає додаткового вивчення цього ефекту.

- Новизна Проекту (до 400 знаків)

Плануються дослідження протон-протонних, протон-ядерних та ядроядерних зіткнень спрямовані на визначення закономірностей в поперечних перерізах генерації важких адронів, які обумовлені ефектами «холодної» ядерної матерії або кварк-глюонної плазми. Автори проекту мають намір розширити та поглибити цей напрямок досліджень як новими результатами з аналізу даних експерименту LHCb при енергіях біля 0.1, 5, 8, 13 та 14 TeV, так і розробкою унікального для ВАК режиму фіксованої мішені з використанням металевих мікростріпових детекторів, розроблених в ІЯД НАНУ. Застосування металевих мішеней суттєво збагатить фронт таких робіт, надаючи, зокрема, можливість вивчення залежності характеристик взаємодій від таких факторів як деформація ядер, нейтронне гало, високі спіни основного стану, тощо. Реалізація пропонованого багатомішенного комплексу дозволить суттєво підвищити фізичну та економічну ефективність виконання досліджень на ВАК, оскільки дані можна буде одержувати одночасно на 8-ми мішенях

- Методологія дослідження (до 400 знаків)

Методологія досліджень базується як на теренах нових теоретичних розрахунків так і на безпосередньо вимірюваних залежностях різних спостережуваних величин в експерименті LHCb. Будуть розраховані та порівняні з новими теоретичними передбаченнями залежності поперечних диференційних перерізів утворення дивних та чарівних адронів від таких кінематичних змінних як поперечний імпульс, швидкісність, енергія та тип зіткнень (від центральних до ультра-периферичних), множинності подій, тощо.

Розробку багатомішенного комплексу для режиму фіксованої металевої мішені буде здійснено за методологією, розвинутої авторами проекту для експерименту HERA-B. На першому етапі будуть виконані ретельні Монте-Карло симуляції по генерації фізичних подій в металевій тонкій мішені, введеної в гало пучка ядер, що циркулюють на ВАК.

#### 5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/ в рамках реалізації Проекту, зокрема:

##### 5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проекту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)

За звітний період нами проведена підготовча робота до наступного етапу Проекту, а саме розроблено модель для обчислення процесів дифракційної дисоціації, а також складено

комп'ютерну програму для обчислення деталей розпаду резонансів методом Монте Карло. Про актуальність проблеми свідчить зокрема недавня публікація.

Отримані результати про перерізи та спектри резонансів будуть корисні також для вивчення колективних властивостей ядерної речовини, зокрема можливого фазового перетворення адронного газу в "супі" з кварків та глюонів.

Визначено оптимальні характеристики режиму фіксованої твердотільної мішені експерименту LHCb. З метою їх валідації на наступному етапі робіт прототип мішенного комплексу із використанням мікросріпкових металевих детекторів в якості внутрішніх мішеней та системи радіаційного моніторингу RMS-R4 в якості пристрою для автоматизованого управління їх положенням буде запропоновано для тестування в гало пучка накопичувального кільця SPS в ЦЕРН.

За успішних результатів тестування реальну конструкцію мішенного комплексу планується встановити в районі 3-ї, 4-ї станції вершинного детектора з використанням мініатюрних крокових двигунів, придатних для експлуатації в умовах ультрависокого вакууму ВАК.

Сформульовано фізико-технічні переваги режиму фіксованої твердотільної мішені. З технічного боку, це локалізація взаємодії в товщі металевій мішені всього-на-всього кілька мікрон у порівнянні 40 см газової мішені, що може сприяти суттєвому зменшенню фону та відкрити можливість дослідження раніше замаскованих просторовою невизначеністю фізичних явищ. З фізичної точки зору суттєве розширення діапазону ядер дозволить виконання цілого ряду досліджень неможливих з використанням лише ядер інертних газів (вплив особливостей основного стану ядер, можливість пошуку сигналів КГП в трьох-ядерних зіткненнях, ланцюгове розсіяння на ядрах кристалічної ґратки тощо).

Досліджено залежність від множинності подій двічі диференційних поперечних перерізів генерації нейтральних К мезонів та лямбда баріонів в p-Pb зіткненнях при енергіях 5 та 8 TeV в ссм пари нуклонів. Одержані попередні результати свідчать про спостереження внеску колективної моди проміжного середовища з температурою, яка суттєво зростає при селекції подій з високою множинністю.

**5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами**

-

**5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проекту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)**

-

**5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проекту в суспільній практиці.**

Написана комп'ютерна програма для обчислення деталей розпаду резонансів методом Монте Карло, яка може бути використана в подібних дослідженнях вчених з CERN'у.

Примітка: Анотований звіт не повинен містити відомостей, заборонених до відкритого опублікування

**Науковий керівник Проекту**  
Провідний науковий співробітник  
Єнковскі Л.Л.



(підпис)