

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Інституту ядерних досліджень
НАН України

Володимир ДАВИДОВСЬКИЙ

« 02 » _____ 2026 р.



ВИСНОВОК

Інституту ядерних досліджень НАН України
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації
Кшиванського Олександра Олександровича
на тему «Моніторинг функціональних характеристик кремнієвої трекерної системи та області
зіткнень ядер в експерименті СВМ», поданої на здобуття ступеня доктора філософії
з галузі знань 10 Природничі науки, за спеціальністю 104 Фізика та астрономія

Витяг

із протоколу № 262026 засідання розширеного наукового семінару відділу фізики високих
енергій від «25» червня 2026 року

Присутні:

В.В. Давидовський – директор ІЯД НАН України, д.ф.-м.н., с.н.с. (голова семінару);
С.Б. Чернишенко – д.філ., н.с. (секретар семінару);
В.М. Пугач – зав. ВФВЕ ІЯД НАН України, чл.-кор. НАН України, д.ф.-м.н., проф.;
Ф.О. Іванюк – зав. ВТЯ ІЯД НАН України, д.ф.-м.н., с.н.с.;
О.Г. Магнер – пров.н.с. ВТЯ ІЯД НАН України, д.ф.-м.н., с.н.с.;
С.М. Федоткін – пров.н.с. ВТЯ, д.ф.-м.н., с.н.с.;
С.П. Майданюк – пров.н.с. ВТЯП ІЯД НАН України, д.ф.-м.н., с.н.с.
Д.В. Касперович – заст. директора ІЯД НАН України, к.ф.-м.н., с.н.с.;
В.В. Кобичев – зав. ВФЛ ІЯД НАН України, к.ф.-м.н., ст. досл.;
В.В. Улещенко – зав. ВФВІ ІЯД НАН України, к.ф.-м.н., ст. досл.;
Т.В. Обіход – с.н.с. ВФВЕ, к.ф.-м.н., с.н.с.;
М.В. Романюк – с.н.с. ВТЯП ІЯД НАН України, д.філ., ст. досл.;
Р.Ю. Чаплинський – с.н.с. ВСЯ ІЯД НАН України, к.т.н., ст.досл.;
О.Г. Поліщук – с.н.с. ВФЛ ІЯД НАН України, к.ф.-м.н., ст.досл.;
С.О. Омельченко – с.н.с. ВТЯП ІЯД НАН України, к.ф.-м.н.;
Н.В. Сокур – н.с. ВФЛ ІЯД НАН України, д.філ.;
Р.В. Клавдієнко – н.с. ВФЛ ІЯД НАН України, д.філ.;
В.О. Кива – заст. зав. ВФВЕ ІЯД НАН України;
Присутні 18 осіб. Серед присутніх 6 докторів наук і 11 кандидатів наук та докторів
філософії, з них 17 – фахівці зі спеціальності, з якої виконано дисертацію.

Порядок денний:

Представлення та обговорення дисертаційного дослідження О.О. Кшиванського на тему
«Моніторинг функціональних характеристик кремнієвої трекерної системи та області зіткнень
ядер в експерименті СВМ», поданого на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10
Природничі науки, за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Науковий керівник – чл.-кор. НАН України, д.ф.-м.н., проф., завідувач відділу фізики

високих енергій Інституту ядерних досліджень НАН України Пугач Валерій Михайлович.

Дисертацію виконано у відділі фізики високих енергій Інституту ядерних досліджень НАН України. Тема дисертації затверджена на засіданні вченої ради Інституту ядерних досліджень НАН України (протокол №1 від 30 січня 2023 року). Уточнену редакцію теми дисертаційного дослідження затверджено на засіданні вченої ради Інституту ядерних досліджень НАН України (протокол №1 від 15 лютого 2026 року).

Виступили:

Голова засідання д.ф.-м.н., с.н.с. В.В. Давидовський у своєму вступному слові проінформував присутніх про те, що аспірант О.О. Кшиванський звернувся з письмовою заявою про проведення попередньої перевірки та наукової експертизи його дисертаційної роботи, оскільки він, за час свого навчання в аспірантурі ІЯД НАН України з 1 листопада 2022 р., повністю виконав освітню складову програми підготовки докторів філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія, провів власне наукове дослідження та оформив свою дисертацію.

Здобувач надав увесь необхідний комплект документів, а саме: рукопис дисертації (електронну копію), копії публікацій, витяг із екзаменаційної відомості про виконання освітньо-наукової програми (освітню компоненту підготовки виконано у повному обсязі (усього 54 кредити) та успішно пройдено усі проміжні атестації наукової роботи), довідку про оригінальність дисертації (плагіату в тексті дисертації не виявлено, дисертаційна робота є оригінальною за своїм науковим змістом) та позитивний висновок наукового керівника про готовність дисертації до офіційного представлення.

Далі здобувач **О.О. Кшиванський** представив наукову доповідь за основними положеннями дисертації «Моніторинг функціональних характеристик кремнієвої трекерної системи та області зіткнень ядер в експерименті CBM», яку подано на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Після закінчення презентації учасники засідання поставили такі запитання доповідачу:

Д.ф.-м.н., с.н.с. В.В. Давидовський: Наскільки отримані результати вже були перевірені експериментально або відповідні експерименти наразі іще плануються до проведення?

О.О. Кшиванський: Результати моделювання роботи детекторних модулів КТС вже було неодноразово перевірено, використовуючи експериментальні данні робочої групи КТС отримані у лабораторії КТС в Дармштадті (Німеччина). Розроблений програмний аналог вже продемонстрував здатність передбачати нестандартну поведінку модулів КТС, що вже було використано для розробки та виготовлення нових версій детекторних модулів КТС. Результати моделювання роботи прототипу системи радіаційного моніторингу RMS-CBM наразі плануються до перевірки з використанням нових прототипів RMS-CBM у відділі фізики високих енергій ІЯД НАН України.

С.н.с., С.О. Омельченко: Окрім стріпових сенсорів існують мікропиксельні сенсори із більшою роздільною здатністю. Чому експериментом CBM було обрано застосування саме стріпових сенсорів?

О.О. Кшиванський: Вибір стріпових сенсорів зумовлений простотою та надійністю їх конструкції та необхідністю винесення зчитувальної електроніки поза межі фізичного аксептансу експерименту CBM для уникнення високих радіаційних навантажень, що можуть значно її пошкодити.

К.ф.-м.н., с.н.с., В.В. Улещенко (уточнення щодо наданої відповіді): Простота

конструкції в розумінні надмірна кількість кабелів у випадку піксельних сенсорів?

О.О. Кшиванський: Частково — так. Для випадку піксельних сенсорів кількість необхідних з'єднань значно зростає, що технічно ускладнює конструкцію системи КТС та впливає на загальний матеріальний бюджет системи. Проте розглядається можливість використання піксельних сенсорів у КТС після апгрейду від SIS100 до SIS300.

К.ф.-м.н., с.н.с., В.В. Улещенко: Ви зауважили, що частота зіткнень у CBM буде 10 МГц. Це частота взаємодії пучка з мішенню чи кількість частинок у одному банчі?

О.О. Кшиванський: 10 МГц це частота взаємодії пучка з мішенню. За таких умов КТС має бути спроможна реєструвати приблизно 1000 частинок на одне зіткнення?

К.ф.-м.н., с.н.с., В.В. Улещенко (уточнення щодо наданої відповіді): Всіх частинок чи специфічних?

О.О. Кшиванський: До 1000 заряджених частинок.

Д.ф.-м.н., с.н.с. В.В. Давидовський: За останні декілька років в ІЯД було прослухано декілька наукових робіт щодо системи радіаційного моніторингу для експерименту LHCb — RMS. У випадку RMS-CBM планується використовувати ту ж саму систему чи наявні відмінності від експерименту LHCb?

О.О. Кшиванський: У випадку RMS-CBM планується інакше розташування системи (після області взаємодії, а не до неї), що призводить до більш значних обмежень до кількості матеріалу, що може в ній використовуватися. Також це зумовлює обмеження на її фізичні габарити, що б систему було можливо розмістити між компонентами детекторної системи CBM, що вже існують.

Докт. філ., ст. досл. М.В. Романюк: У третьому розділі вашого дисертаційного дослідження, присвяченого створенню програмного аналога RMS-CBM, не вистачає порівняння результатів виконаних симуляцій із експериментальними даними. Якщо наразі немає експериментальних даних для RMS-CBM, чи можливо для цього використати данні отримані системою RMS-R3?

О.О. Кшиванський: Дякую за доцільне запитання. На жаль, програмний аналог RMS-CBM був розроблений значно раніше за фізичний прототип RMS-CBM, тому не було можливості провести перевірку використовуючи експериментальні данні. Використання даних отриманих з використанням RMS-R3 не розглядалося, оскільки різниця у конструкції між RMS-R3 та RMS-CBM може спричинити значні розбіжності у результатах симуляцій. Наразі планується проведення вимірювань та їх перевірка з використанням прототипу RMS-CBM.

Докт. філ., ст. досл. М.В. Романюк: Коментар щодо оформлення слайдів презентації. Багато зменшити кількість тексту на слайдах та збільшити ілюстрації.

О.О. Кшиванський: Дуже дякую за коментар. Я з Вами погоджуюсь, та відредагую слайди відповідно.

Далі слово було надано науковому керівнику — чл.-кор. НАН України, д.ф.-м.н., проф. В.М. Пугачу.

Науковий керівник:

Відгук абсолютно позитивний. В першому розділі Олександр вичерпно обґрунтував мету та важливість цього дослідження. Олександр в наступних розділах показує себе сформованим науковцем, який вміє поставити завдання та поставивши його, знайти методи вирішення поставлених завдань і досягти позитивного результату.

Що стосується детекторних модулів КТС. Дослідження Олександра будуть дуже корисними, коли з 28-го по 31-й рік почнеться перша серія досліджень на експерименті CBM, оскільки розроблена ним модель показує статус детекторного комплексу. Але під час

виконання експериментів можуть бути, за рахунок радіаційних навантажень, відхилення. І цей моніторинг дуже важливий для того, щоб встановити, чи все йде гаразд, чи накопичення даних відбувається високоєфективним способом.

Друга частина його роботи — це створення прототипу системи радіаційного моніторингу, яка просто необхідна і якої досі не було передбачено в експерименті — RMS-SBM. Вона була запропонована виходячи із попереднього досвіду розробки та застосування системи RMS-R3, що успішно функціонує в експерименті LHCb. Оригінальним внеском буде фактична можливість, завдяки розробленим алгоритмам, неструктивного спостереження точки взаємодії, що критично важливо для ряду фізичних результатів, які ми плануємо отримати.

Завершуючи, я хочу сказати, що в публікаціях, наведених Олександром він був основним ініціатором цих публікацій, він готував статті до публікації, і вони визнані досягненням колаборації.

Вважаю, що дисертаційна робота та наукові здобутки Кшиванського О.О. повністю відповідають встановленим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 - фізика та астрономія. Робота містить нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності є суттєвим досягненням для розвитку експериментальних методів фізики високих енергій.

Крім того, він продемонстрував свій високий рівень фахівця з фізики високих енергій в експерименті LHCb, ставши одним з семи лауреатів премії Breakthrough Prize in Fundamental Physics у 2025 році. Тому в мене немає сумнівів, що він заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 - фізика та астрономія.

Після виступу наукового керівника виступив рецензент дисертаційної роботи Р.Ю. Чаплинський, який наголосив на позитивних аспектах дослідження та висловив свої побажання та зауваження.

К.т.н., с.н.досл. Р.Ю. Чаплинський :

Я ознайомився з дисертаційною роботою Олександра і його основними публікаціями. Робота безумовно актуальна. Вона має логічну послідовну структуру. Вона важлива для моделювання і діагностики складної детекторної системи і аналогової електроніки для реєстрації подій в експерименті SBM. Всі викладені в роботі результати опубліковані. Ці результати пройшли апробацію на численних інженерних конференціях та спеціалізованих нарадах і в Україні, і за кордоном, і загалом робота відповідає вимогам.

Зауваження (як рекомендація) щодо оформлення роботи. В роботі Олександр велику частину присвятив моделюванню електронних схем. За законодавством України це вимагає використання відповідних термінів. Я відмітив, що Олександр, переважно, вже все виправив, але на деяких ілюстраціях іще залишилися старі схемотехнічні позначення. Зокрема, слід зауважити, що також на слайдах, в схемах і в термінології застосовуються англіцизми. Я пропоную, Олександр, виправити це.

Також є декілька питань до розробленої моделі. На мою думку, в роботі не вистачає опису амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик електронних схем. Також характеристики операційних підсилювачів, що моделювалися, є загальними. Бажано описати характеристики операційних підсилювачів, які будуть застосовуватися в реальній системі.

Загалом я підтримую роботу, вона зроблена сумлінно, результати актуальні та опубліковані. Оформлення дисертації за структурою, стилем представлення матеріалу та мовою відповідає вимогам оформлення дисертацій, затвердженим в наказі № 40 Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. Дисертаційна робота є самостійним дослідженням

здобувача. Відсутні ознаки порушення здобувачем вимог академічної доброчесності. Усі використані результати, матеріали і висновки мають відповідні літературні посилання.

Вважаю, що дисертаційна робота за новизною та важливістю отриманих результатів, за обсягом та змістом наведеного матеріалу цілком задовольняє вимогам до дисертацій за спеціальністю “104 Фізика та астрономія” та вимогам “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор заслуговує присудження вченого ступеня доктора філософії за спеціальністю “104 Фізика та астрономія”.

Я вважаю, що Олександр Кшиванський заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Д.ф.-м.н., с.н.с. В.В. Давидовський: Дякую, Романе. Олександр, коротко прокоментуйте основні зауваження, які були висловлені рецензентом.

О.О. Кшиванський: Романе Юрійовичу, дуже дякую за зауваження. Щодо термінології, я абсолютно згоден, це має бути виправлено. Те ж саме стосується схематичних зображень.

Щодо фазово-амплітудних та фазово-частотних характеристик, під час дослідження були змодельовані ті характеристики, які вже було виміряно в лабораторії робочої групи КТС. Тому проводилося моделювання саме цих характеристик. На початку дослідження були спроби проводити аналіз фазово-амплітудних характеристик, але оскільки не було наявних теоретичних чи експериментальних даних, вони були припинені. Основним акцентом були дослідження відтворення поведінки вихідного сигналу та рівня шуму оскільки вони мають найбільше значення для якості роботи системи КТС.

Далі виступила рецензентка дисертаційної роботи М.В. Романюк, яка наголосила на позитивних аспектах дослідження та висловила свої побажання та зауваження.

Докт. філ., ст. досл. М.В. Романюк:

Безперечно, робота актуальна та цікава. Основною метою дослідження здобувач зазначив створення ефективних підходів до моделювання, аналізу та оптимізації роботи детекторних модулів КТС і також розробка прототипу системи радіаційного моніторингу RMS-SBM.

Перший розділ був присвячений огляду теорії, експерименту SBM, системи КТС та її компонент. Все описано коротко але змістовно і зрозуміло.

Другий розділ описує розробку та тестування моделі відгуку детекторного модуля КТС, що є дуже важливим.

Про третій розділ ми вже сьогодні говорили.

Щодо апробації результатів, присутні виступи на міжнародних конференціях та конференціях в Україні, колабораційні обговорення, все на гарному рівні.

Щодо публікацій, другий розділ ґрунтується на двох публікаціях і третій на одній. Перший журнал має категорію Q2, дуже гарна публікація. Також варто зазначити, що в двох публікаціях здобувач є відповідальним автором.

Зауваження (до з'ясування) журнал «Наука і техніка сьогодні». На даний момент цей журнал не має категорії Б. На момент публікації він мав категорію Б зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

Зауваження (як рекомендація) у роботі присутній ряд одруків. Це не впливає на загальну

результатів, за обсягом та змістом наведеного матеріалу цілком задовольняє вимогам до дисертацій за спеціальністю “104 Фізика та астрономія” та вимогам “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор заслуговує присудження вченого ступеня доктора філософії за спеціальністю “104 Фізика та астрономія”.

Текст дисертації написаний зрозумілою мовою, стиль написання дисертації задовольняє вимоги до написання дисертації.

Д.ф.-м.н., с.н.с. В.В. Давидовський: Дякую, Марія. Я хочу прокоментувати зауваження щодо публікацій. Публікація у другому кварталі закордонного видання Scopus рахується за дві умовні публікації. В третьому кварталі наш журнал, який також відноситься до категорії А українських видань, це одна умовна публікація. Тобто, мінімум три публікації присутні. Додатково, журнал, який втратив категорію Б, на момент публікації мав цю категорію. Вона важлива тим, що всі результати, які представлені в дисертації, мають бути опубліковані. Щодо спеціальності журналу, це не є проблемою. Це питання було з'ясовано під час захистів дисертацій у минулі роки.

К.ф.-м.н., ст. досл. В.В. Кобичев: Коментар щодо Q3, також, мені здається, вважається зараз за дві публікації.

К.ф.-м.н., с.н.с., В.В. Улещенко: Це залежить від кількості авторів.

Д.ф.-м.н., с.н.с. В.В. Давидовський: Наскільки я пам'ятаю, Q1 – це дві публікації в іноземних наукових виданнях. Стаття в українському журналі категорії А, який індексується в Скопус, – прирівнюється до однієї публікації безвідносно до кількості співавторів. В будь-якому разі, чи ви погоджуєтесь, що Олександр набирає мінімальну кількість публікацій?

Ст. досл. М.В. Романюк: Згодна.

Д.ф.-м.н., с.н.с. В.В. Давидовський: Дякую, Маріє. Олександр, коротко прокоментуйте основні зауваження, які були висловлені рецензентом.

О.О. Кшиванський: Маріє В'ячеславівно, дякую за зауваження. Більшість питань ми вже з'ясували раніше. Щодо одруківок, безумовно їх треба виправити.

Далі було обговорення дисертаційного дослідження. В обговоренні дисертаційного дослідження взяли участь:

Д.ф.-м.н., с.н.с. В.В. Давидовський: Прошу присутніх коротко висловити свої думки із оцінкою результатів дисертаційної роботи О.О. Кшиванського, враховуючи новизну отриманих результатів дослідження, їх теоретичне та практичне значення. Чи заслуговує, на Ваш погляд, дисертаційна робота Олександра Кшиванського подання до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії? Будь ласка, якщо можна лаконічно, який Ваш загальний висновок?

Зі свого боку хочу зауважити, що як гарант освітньої програми і як людина, яка була членом комісії, коли Олександр Кшиванський складав підсумковий іспит із спеціальності, я вважаю, що Олександр успішно завершив освітню частину програми. Його відповіді на питання і представлення своїх знань у ядерній фізиці, фізиці елементарних частинок справляють гарне враження, як вже підготовленого молодого вченого.

Інший важливий факт, до Олександра, як до фахівця, є неабиякий інтерес і зацікавленість колег з GSI (Дармштадт, Німеччина), які за період його роботи над дисертаційним дослідженням багаторазово запрошували його для наукового стажування, досліджень системи КТС та виступів на колабораційних зібраннях.

Це справляє дуже позитивне враження, я підтримую роботу Олександра і рекомендую її до подальшого проходження до захисту.

Канд. фіз.-мат. наук, С.О. Омельченко: Також підтримую Олександра. Він продемонстрував легку адаптацію до нових наукових напрямів досліджень, що є дуже важливою рисою для науковця-дослідника.

К.ф.-м.н., с.н.с. Т.В. Обіход: Також підтримую Олександра. Він вивчав два моїх освітні курси: з суперсиметрії і з заряджених частинок. В обох курсах він демонстрував неперевершені здібності. Він безумовно заслуговує на присудження ступеня доктора філософії.

К.ф.-м.н., ст. досл. В.В. Кобичев: Також підтримую Олександра. Очевидно, що він чудово розуміє всі особливості свого дослідження та фізику елементарних частинок в цілому.

Далі голова засідання В.В. Давидовський зробив підсумок семінару та обговорення.

Д.ф.-м.н., с.н.с. В.В. Давидовський: В цілому ми отримали схвальні оцінки дисертаційної роботи Олександра Кшиванського. Ця робота дійсно є актуальною, а її результати є суттєвими для моделювання, створення і впровадження двох надзвичайно важливих систем в міжнародному експерименті CBM, метою якого є дослідження стиснутої баріонної матерії.

Думаю, що семінар може підтримати загальний позитивний висновок щодо наукової новизни, теоретичного та практичного значення результатів дисертації О.О. Кшиванського.

Перед голосуванням прошу В.М. Пугача озвучити склад разової спеціалізованої ради, який пропонується.

Чл.-кор. НАН України В.М. Пугач: голова – А.М. Саврасов, рецензенти — Р.Ю. Чаплинський та М.В. Романюк, опоненти – В.Є. Аушев (КНУ імені Тараса Шевченка) та А.С.Усачов (Vrije Universiteit Amsterdam, Нідерланди).

Заперечень щодо запропонованого складу разової ради не було висловлено. Єдине зауваження було висловлено щодо необхідності перевірки, чи А.С. Усачова внесено до системи СДЕБО.

Більше не було охочих взяти участь в обговоренні. Враховуючи висловлену підтримку від обох рецензентів, наукового керівника, голови та учасників засідання, голова засідання підсумував результати обговорення та аналізу дисертаційного дослідження Олександра Кшиванського, тим, щоб видати на цьому розширеному семінарі висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації О.О. Кшиванського із позитивною оцінкою.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації
Кшиванського Олександра Олександровича на тему
«Моніторинг функціональних характеристик кремнієвої трекерної системи та області зіткнень ядер в експерименті CBM», поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія

Обґрунтування вибору теми дослідження.

Фазова діаграма сильно взаємодіючої речовини (фазова діаграма КХД) є одним з основних об'єктів дослідження у ядерній фізиці. Область високих температур було

експериментально досліджено в експериментах на Релятивістському Колайдері Важких Іонів – RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) та БАК (Великому Адронному Колайдері) з використанням релятивістських зіткнень важких іонів. У цих експериментах відтворюються стани матерії, що існували дуже короткий час після Великого вибуху. Фундаментальний інтерес становлять властивості такої матерії, особливо рівняння її стану. Ці характеристики є важливими для розуміння таких об'єктів як нейтронні зірки, їх злиття, тощо. Ефективним шляхом утворення такої матерії в лабораторних умовах є використання пучків важких іонів.

Майбутній експеримент з дослідження щільної баріонної матерії – CBM (Compressed Baryonic Matter) розроблено для дослідження фазової діаграми КХД за високих баріонних густин та помірних температур. Для цього будуть використані пучки іонів або протонів та золота.

Критично важливою складовою детекторної системи CBM є Кремнієва Трекерна Система (КТС). КТС є головним трекерним детектором CBM, мета якого полягає у високоточній реєстрації та реконструкції треків заряджених частинок з високою ефективністю.

Головна частина КТС – це детекторні модулі КТС. Складові модуля КТС: кремнієвий двосторонній сенсор (1024 стріпи на кожній стороні), передня зчитувальна електроніка, яка містить вісім інтегральних схем специфічного призначення – ASIC (application-specific integrated circuit), що підключені до стріпів кремнієвого сенсору через надтонкі алюмінієво-поліімідні мікрокабелі. Від якості роботи модулів КТС залежить ефективність головної трекерної системи, та усього експерименту.

Дослідження, заплановані для експерименту CBM, розраховані на вимірювання даних з високою статистичною точністю, для досягнення якої частота ядерних взаємодій пучка іонів у прискорювачі SIS100 із ядрами мішені має бути до 10 МГц при кінетичних енергіях пучків важких іонів та протонів до 14 ГеВ та 29 ГеВ на нуклон відповідно, що вимагає швидких, радіаційно стійких детекторів та надійного контролю пучка і створюваних радіаційних навантажень.

За таких умов, надійний моніторинг та аналіз характеристик пучка та області зіткнень ядер є гарантією контролю радіаційного навантаження компонент CBM, що забезпечить довший термін служби детектора та покращить якість отриманих даних. Моніторинг просторової стабільності пучка надасть можливість дослідження еліптичних потоків досліджуваних частинок, як свідків утворення кварк-глюонної плазми (КГП) у ядро-ядерних зіткненнях. Прототипом RMS-CBM обрано надійно функціонуючу систему радіаційного моніторингу RMS-R3 в експерименті LHCb (CERN). Її було виготовлено за технологією металевих-фольгових детекторів (МФД), розробленою в Інституті ядерних досліджень НАН України. Принцип роботи МФД базується на явищі вторинної електронної емісії з поверхні фольги при бомбардуванні потоками заряджених частинок. Для максимальної продуктивності RMS-CBM необхідно виконати симуляції її функціонування. Моделювання детекторних систем є передумовою для глибокого розуміння їхньої роботи, що є необхідним для оптимального вибору конструкції та для отримання достовірних фізичних результатів.

Метою даної роботи є дослідження прототипів детекторних модулів КТС експерименту CBM, за різних умов та виконання симуляцій прототипу RMS-CBM та їх аналіз.

Мета і завдання дослідження.

Метою дослідження є

1. Розробка програмного аналогу детекторного модуля КТС. Вивчення принципів роботи детекторного модуля КТС, дослідження відгуку та рівня шуму від параметрів детекторного модуля.
2. Розробка методу симуляції повного ланцюга подій при реєстрації частинок детекторним модулем КТС.

3. Розробка програмного аналогу прототипу детекторного модуля RMS-CBM. Дослідження його характеристик: відгуку, рівня шуму, впливу паразитних ємностей.

Досягнення поставленої мети потребує виконання наступних завдань:

1. Дослідження принципів роботи детекторного модуля КТС, визначення основних складових, їх будови та артефактів, що виникають при їх роботі (паразитні ефекти, перерозподіл заряду, шум тощо).
2. Проведення симуляцій спрощених аналогів та їх порівняння з наявними результатами фізичних вимірювань.
3. Розбудова спрощеного аналога шляхом врахування додаткових структурних елементів та присутніх ефектів.
4. Застосування методів Монте-Карло для виконання симуляцій взаємодії іонізуючого випромінювання із кремнієвим сенсором модуля КТС.
5. Відтворення відгуку детекторного модуля КТС використовуючи розроблений програмний аналог та Монте-Карло симуляції.
6. Дослідження принципів роботи прототипу детекторного модуля RMS-CBM, визначення основних складових, їх будови та артефактів, що виникають при їх роботі (паразитні ефекти, перерозподіл заряду, шум тощо).
7. Проведення симуляцій аналогу RMS-CBM та оцінка їх результатів.

Об'єкт дослідження — кремнієвий двосторонній мікростріповий сенсор, детекторний модуль КТС, металеві-фольгові детектори, прототип системи радіаційного моніторингу RMS-CBM.

Предмет дослідження — характеристики електроніки детекторних модулів КТС та процесів, що у ній відбуваються, передбачення можливих проблем при їх експлуатації та шляхи їх подолання, дослідження характеристик електроніки прототипу RMS-CBM, оцінка можливості його застосування в експерименті CBM.

Методи дослідження.

LTspice для виконання симуляцій аналогової електроніки та базових обчислень симульованих величин. Allpix² для симуляції взаємодії іонізуючого випромінювання із кремнієвим двостороннім кремнієвим сенсором та реєстрації утворених носіїв заряду, ROOT та код на основі Python для аналізу отриманих даних.

Наукова новизна дослідження.

- Розроблено першу модель відгуку детекторних модулів КТС, що дозволяє детально досліджувати процеси реєстрації, транспорту та обробки зареєстрованого заряду,
- Отримані результати дозволили покращити дизайн нових ітерацій детекторних модулів КТС,
- Вперше розроблено програмну модель прототипу системи радіаційного моніторингу RMS-CBM.

Теоретичне та практичне значення отриманих результатів.

Детекторний модуль є основною функціональною складовою детектора КТС, що є головним трекерним детектором експерименту CBM. Якість роботи детектора КТС, його ефективність реєстрації та реконструкції треків є критичними для успішного виконання програми фізичних досліджень CBM. Якість роботи детектора КТС визначається якістю його компонент – детекторних модулів.

Розроблені симуляції роботи детекторних модулів КТС надають можливість отримати глибше розуміння їх функціонування, удосконалити їх дизайн та використовувати їх у якості еталону під час проведення експерименту CBM.

Фізична програма CBM передбачає високі радіаційні навантаження та вимагає гарного контролю пучка, для уникнення пошкоджень компонент детектора. Запропонована концепція системи радіаційного моніторингу RMS-CBM передбачає запровадження нової, легкої системи, призначеної для моніторингу радіаційних навантажень та положення пучка.

Розроблені симуляції прототипу RMS-CBM надають можливість оцінити характеристики прототипу та можливості його застосування в експерименті CBM.

Особистий внесок здобувача.

Автором було розроблено, проведено тестування та удосконалено модель відгуку детекторного модуля КТС. Автором використано розроблені симуляції для дослідження функціональних характеристик детекторних модулів, процесу обробки зареєстрованих ними сигналів та удосконалення дизайну їх зчитувальної електроніки. Автором розглянуто різні типи детекторних модулів (централі, периферичні тощо). Автором було виконано оцінки впливів паразитних ефектів, що впливають на функціонування детекторних модулів.

Автором було розроблено перший програмний аналог прототипу RMS-CBM. Автором було розглянуто шляхи опису металево-фольгових детекторів з використанням електричних компонентів. Автором було проаналізовано отримані результати та оцінено можливість використання RMS-CBM при проведенні експерименту.

Результати розробки програмних аналогів детекторних модулів КТС та прототипу RMS-CBM були представлені автором на робочих і наукових засіданнях у GSI, Інституті ядерних досліджень НАН України та на міжнародних та українських конференціях.

Апробація результатів дослідження.

Результати дослідження було виголошено здобувачем дисертації на таких наукових конференціях (семінарах):

1. O. Kshyvanskyi et al. STS powering and grounding circuits optimization. 41st CBM Collaboration Meeting. Presentation. Mixed conference. Darmstadt, Germany, March 2023.
2. O. Kshyvanskyi et al. Understanding the response of the STS: Simulations of the analog electronics of the STS module. Highlight talk. Mixed conference. Bucharest, Romania, September 2023.
3. М. Теклішин, О. Кшиванський. Оцінка прототипів детекторних модулів для Кремнієвої Трекерної Системи CBM. Моделювання аналогової електроніки. XXX Щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України: тези доповідей (Київ, 25–29 вересня 2023 року (відеоконференція)). – Київ: Інститут ядерних досліджень НАН України, 2023. – 248 с. – с. 63. URL: http://www.kinr.kiev.ua/Annual_Conferences/KINR2023/index.html. Eprint: http://www.kinr.kiev.ua/Annual_Conferences/KINR2023/book%20of%20abstracts_2023.pdf
4. O. Kshyvanskyi et al. Understanding, modeling and implementing the analogue response of the silicon tracking system of the CBM experiment at GSI/FAIR. High Energy Physics Theoretical and Experimental Challenges 2025. Video conference. Kyiv, Ukraine, January 2025. URL: <https://indico.kinr.kyiv.ua/event/2/contributions/>
5. О. Кшиванський та ін. Симуляції детектування та обробки сигналу детекторними модулями Кремнієвої Трекерної Системи (КТС) Експерименту CBM. XXXII Щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України: тези доповідей (Київ, 26–30 травня 2025 року (відеоконференція)). – Київ: Інститут ядерних досліджень

- НАН України, 2025. – 209 с. – с. 73. URL: <https://indico.kinr.kyiv.ua/event/4/overview>. Eprint: <https://indico.kinr.kyiv.ua/event/4/book-of-abstracts.pdf>
6. O. Kshyvanskyi et al. Simulation of the radiation monitoring system prototype for the CBM experiment. High Energy Physics Theoretical and Experimental Challenges 2026. Video conference. Kyiv, Ukraine, January 2026. URL: <https://indico.kinr.kyiv.ua/event/5/overview>
 7. О. Кшиванський та ін. Моніторинг функціональних характеристик Кремнієвої Трекерної Системи та області зіткнень ядер в експерименті CBM. XXXIII Щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України: тези доповідей (Київ, 25–29 травня 2025 року (відеоконференція)). – Київ: Інститут ядерних досліджень НАН України, 2026. URL: <https://indico.kinr.kyiv.ua/event/13/>.
- Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:
1. O. Kshyvanskyi, M. Teklishyn. CBM Progress Report 2023: Simulation of the analogue response of STS modules using LTSpice. GSI-2024-00765 (2024), 35. (URL: <https://dx.doi.org/10.15120/GSI-2024-00765>)
- В складі колаборації LHCb (CERN):
1. Лауреат премії 2025 р. “BREAKTHROUGH IN FUNDAMENTAL PHYSICS” (Certificate attached): <https://cernbox.cern.ch/pdf-viewer/public/FYr1d3cHuJ51Ulf/Oleksandr%20Kshyvanskyi.pdf>
<https://breakthroughprize.org/Laureates/1/L3995>
 2. Співавтор 97 публікацій в наукових виданнях квартилів Q1, Q2: <https://www.researchgate.net/profile/Oleksandr-Kshyvanskyi-2/publications>
 3. Індекс Гірша становить 12 за даними ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Oleksandr-Kshyvanskyi-2>

Публікації.

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 3 наукових праці, з них 1 стаття у фахових періодичних виданнях України (категорія Б), 1 стаття у реферованих наукових виданнях України, проіндексованих в наукометричній базі даних Scopus (Q3), 1 стаття у реферованому науковому виданні, проіндексованому в наукометричній базі даних Scopus (Q2) та WoS (Q2). Дисертант є співавтором звіту колаборації CBM про виконання НДДКР.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. О.О. Кшиванський, В.М. Пугач. Симуляція прототипу системи радіаційного моніторингу для експерименту CBM. Наука і техніка сьогодні, 13(54) (2025), 2744-2754. (Категорія Б, [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-13\(54\)-2744-2754](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-13(54)-2744-2754), фахове видання України. Внесок здобувача: відповідальний автор, розглянуто перспективи використання системи радіаційного моніторингу для експерименту CBM, розроблено програмний аналог прототипу RMS-CBM, виконано симуляції реєстрації сигналу та рівня шуму).
2. M. Teklishyn, ..., O. Kshyvanskyi et al. Minimal material, maximum coverage: Silicon Tracking System for high-occupancy conditions. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 1080, 2025, 170714. (Q2, Q2, <https://doi.org/10.1016/j.nima.2025.170714>, SCOPUS, WoS. Внесок здобувача: виконано дослідження поведінки залежності рівня шуму детекторного модуля КТС від параметрів контуру зворотного зв'язку, оптимізовано дизайн передньої зчитувальної плати).
3. О.О. Кшиванський, В.М. Пугач, М.А. Теклішин. Дослідження аналогового відгуку сенсорів кремнієвої трекерної системи експерименту CBM за допомогою пакета LTSpice. Ядерна Фізика та Енергетика, 26(2) (2025), 193-199. (Q3, <https://doi.org/10.15407/jnpae2025.02.193>, фахове видання України, SCOPUS. Внесок

здобувача: відповідальний автор, розроблено програмні аналоги варіацій детекторного модуля КТС, результати тестування перевірено використовуючи відповідні вимірювання характеристик виконані в лабораторії КТС).

Структура та обсяг дисертації.

Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, висновків, основної частини, списку використаних джерел; викладена на 146 сторінках комп'ютерного тексту (основна частина – 107 сторінок), містить 56 рисунків, 1 таблицю, список використаних джерел складається з 138 найменувань вітчизняних та зарубіжних авторів (14 сторінок).

Характеристика особистості здобувача.

Дисертант має високу кваліфікацію в галузі фізики, математики, застосуванні програмних методів, володіє декількома мовами програмування, достатньо вільно володіє англійською мовою.

Оцінка мови та стилю дисертації.

Дисертація виконана фаховою українською мовою, текстове подання матеріалу відповідає стилю науково-дослідної літератури.

Рецензенти рекомендують: відповідно до п.15 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, *пропонується такий склад разової ради:*

Голова ради:

Саврасов Андрій Миколайович, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), провідний науковий співробітник відділу структури ядра ІЯД НАН України.

Рецензенти:

Чаплинський Роман Юрійович кандидат технічних наук (спеціальність 05.27.02 – Вакуумна, плазмова та квантова електроніка), старший науковий співробітник відділу структури ядра Інституту ядерних досліджень НАН України.

Романюк Марія В'ячеславівна доктор філософії з природничих наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), старший науковий співробітник відділу теорії ядерних процесів Інституту ядерних досліджень НАН України.

Офіційні опоненти:

Аушев Володимир Єгорович, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри ядерної фізики та високих енергій фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Усачов Андрій Сергійович, доктор філософії, Вільний університет Амстердама та Нідерландський національний інститут субатомної фізики (Vrije Universiteit Amsterdam), Амстердам, Нідерланди.

У результаті попередньої експертизи дисертації Кшиванського Олександра Олександровича і повноти публікації основних результатів дослідження

УХВАЛЕНО:

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Кшиванського Олександра Олександровича на тему «Моніторинг функціональних характеристик кремнієвої трекерної системи та області зіткнень ядер в експерименті СВМ».

2. Констатувати, що за актуальністю, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація О.О. Кшиванського відповідає спеціальності 104 Фізика та астрономія та вимогам **Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах)**, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261, пп. 6, 7, 8 **Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії**, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

3. Рекомендувати дисертацію О.О. Кшиванського на тему «Моніторинг функціональних характеристик кремнієвої трекерної системи та області зіткнень ядер в експерименті СВМ» до захисту на здобуття ступеня доктора філософії у разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

4. Рекомендувати вченій раді Інституту ядерних досліджень затвердити склад разової спеціалізованої вченої ради:

Голова ради:

Саврасов Андрій Миколайович, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), провідний науковий співробітник відділу структури ядра ІЯД НАН України.

Рецензенти:

Чаплинський Роман Юрійович кандидат технічних наук (спеціальність 05.27.02 – Вакуумна, плазмова та квантова електроніка), старший науковий співробітник відділу структури ядра Інституту ядерних досліджень НАН України.

Романюк Марія В'ячеславівна доктор філософії з природничих наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), старший науковий співробітник відділу теорії ядерних процесів Інституту ядерних досліджень НАН України.

Офіційні опоненти:

Аушев Володимир Єгорович, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри ядерної фізики та високих енергій фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Усачов Андрій Сергійович, доктор філософії, Вільний університет Амстердама та Нідерландський національний інститут субатомної фізики (Vrije Universiteit Amsterdam), Амстердам, Нідерланди.

Результати голосування щодо рекомендації до захисту дисертації О.О. Кшиванського:

«За» – 18;

«Проти» – немає;

«Утримались» – немає.

Презентація наукової доповіді за основними результатами дисертаційного дослідження
Кшиванського Олександра Олександровича на 36 сторінок у додатку.

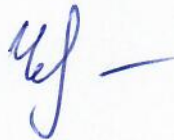
Голова семінару
Директор
ІЯД НАН України
д.ф.-м.н., с.н.с.

Секретар семінару
н.с. ВФВЕ

Учений секретар
ІЯД НАН України



Володимир ДАВИДОВСЬКИЙ



Сергій ЧЕРНИШЕНКО



Наталія ДОРОШКО

