



<https://doi.org/10.15407/scin16.06.073>

**Б.В. ГРИНЬОВ¹, Л.А. БУЛАВІН²,
Д.В. СОЛОВЙОВ³, П.О. СТАДНИК¹**

¹Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України,
просп. Науки 60, Харків, 61072, Україна,
+380 57 341 0161, isma@isc.kharkov.com

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
вул. Володимирська, 60, Київ, 01033, Україна,
+380 44 239 3333, office.chief@univ.net.ua

³Об'єднаний інститут ядерних досліджень,
вул. Жоліо-Кюрі, 6, Дубна, 141980, Російська Федерація,
+7 496 216 4040, post@jinr.ru

СПІВРОБІТНИЦТВО З ОІЯД – ЗАПОРУКА РОЗВИТКУ ЯДЕРНОЇ ФІЗИКИ В УКРАЇНІ

Вступ. На сьогодні міжнародна організація Об'єднаний інститут ядерних досліджень (ОІЯД) є своєрідною науково-технічною базою для українських фахівців-ядерників, які безпосередньо беруть участь у проведенні новітніх ядерно-фізичних експериментів.

Проблематика. Важливим аспектом міжнародного співробітництва науковців України у галузі досліджень з ядерної фізики і матеріалознавства є об'єднання науково-технічних і фінансових ресурсів країн для створення міжнародних науково-дослідних організацій і реалізації масштабних проєктів з сучасних проблем науки і техніки.

Мета. Аналіз факторів, що сприяють розвитку досліджень в галузі ядерної фізики та супутніх дисциплін в Україні, а також залученню українських учених до міжнародних дослідних процесів та окреслення перспектив на майбутнє.

Матеріали й методи. Аналіз напрямів наукових досліджень ОІЯД та огляд досягнень українських вчених, зокрема молодих фахівців, у реалізації міжнародних проєктів з ядерної фізики і супутніх дисциплін.

Результати. Проаналізовано витoki досліджень з ядерної фізики в Україні, шлях розвитку міжнародного співробітництва та його вплив на підготовку вчених і фахівців цього наукового напрямку. Наведено приклади наукових результатів діяльності українських фізиків-ядерників, позитивного впливу співпраці українських наукових установ та підприємств з ОІЯД на творчі та інноваційні процеси, зокрема в галузі розробки і вивчення нових високотехнологічних матеріалів. Окреслено перспективи подальшої співпраці.

Висновки. Співробітництво з ОІЯД дає українським ученим можливість доступу до сучасних методів проведення ядерно-фізичних досліджень, до унікального наукового обладнання провідних міжнарод-

Цитування: Гриньов Б.В., Булавін Л.А., Соловйов Д.В., Стадник П.О. Співробітництво з ОІЯД – за-
порука розвитку ядерної фізики в Україні. *Nauka innov.* 2020. Т. 16, № 6. С. 73–82. <https://doi.org/10.15407/scin16.06.073>

них наукових центрів при плануванні і реалізації масштабних експериментів з ядерної фізики, вивчення проблем існування Всесвіту. Викладачам, студентам та учням з України відкриваються додаткові можливості роботи з новітніми методами, сучасним обладнанням та інноваційними підходами в галузі науки і техніки.

Ключові слова: ядерна фізика, дослідження, співробітництво.

Початок системних досліджень з ядерної фізики в Україні слід віднести у далекий 1928 рік, коли у Харкові було створено Український фізико-технічний інститут (УФТІ). За ствердженням одного із організаторів і першого директора УФТІ, в майбутньому академіка АН СРСР, І.В. Обреїмова, фізико-технічний інститут в Харкові був ініціатором розвитку в країні напрямку «фізика атомного ядра». В інших інститутах, за його словами, в той час цією проблемою не цікавилися та і не думали вивчати, вважаючи, що для народного господарства вона є справою далекого майбутнього [1]. Ядерно-фізичні дослідження в УФТІ було розпочато вже на стадії становлення інституту за ініціативою на той час молодого науковця, в майбутньому директора УФТІ і академіка Української академії наук О.І. Лейпунського [2]. Всього через три роки після утворення інституту групою молодих харків'ян за його участю з колегами К. Синельниковим, А. Вальтером та Г. Латишевим було експериментально підтверджено результат Кавендиської лабораторії «батька» ядерної фізики Е. Резерфорда (Англія) про успішне розщеплення атомного ядра літію за допомогою штучно прискорених протонів, отримане за кілька місяців до того. 1932 рік взагалі відзначився цілою низкою яскравих відкриттів у галузі молоді ядерної фізики. Крім зазначеної події, цей рік охарактеризувався відкриттям нейтрона (Дж. Чедвік, один з найталановитіших учнів Е. Резерфорда) і протона (К. Андерсен, Каліфорнійський технологічний інститут, США). Ці результати дали змогу молодому теоретику Д.Д. Іваненку, свого часу начальнику теоретичного відділу УФТІ, висунути гіпотезу про нейтронно-протонну структуру атомного ядра та про відсутність у ньому легких частинок — електронів та позитронів,

і в подальшому теоретично довести її правильність [3]. В подальшому вчені УФТІ активно залучалися до вивчення нейтронної фізики, основним результатом якого було систематичне дослідження перерізів розсіювання і захвату нейтронів великою групою елементів у діапазоні енергій 0,1–1 МеВ. В 1933 р. в план робіт УФТІ було включено тему «Дослідження нейтрона — нового типу матерії», а з 1939 р. інститут починає працювати над новою проблемою — «Вивчення поділу урану» [4].

У 1941 р., коли друга світова війна докотилася до України, в УФТІ майже всі фундаментальні дослідження було згорнуто і тематика стала носити суто оборонний характер, а потім інститут взагалі було евакуйовано в східні міста СРСР. Після визволення України від фашистських загарбників ядерні дослідження відновлюються не лише в УФТІ. В 1943 р. у Київському інституті фізики і математики АН УРСР створено відділ ядерної фізики, основною тематикою якого було дослідження нейтронно-ядерної взаємодії з метою освоєння атомної техніки і, зокрема, ядерних реакторів.

Дослідження з ядерної фізики у всьому світі, на той час, образно кажучи, набули характеру ланцюгової реакції. Вивчення ядра, відкриття все нових елементарних частинок набрали такого розмаху і вимагали таких затрат на матеріальне забезпечення експериментів, що одній, окремо взятій країні реалізувати ці експерименти було надто важко, або й зовсім не під силу. Тоді група видатних вчених-фізиків ХХ століття висунула ідею міжнародного співробітництва в галузі мирного використання атома з метою отримати можливість об'єднувати зусилля багатьох країн для виконання все більш масштабних експериментів в

галузі фізики високих енергій з урахуванням їхньої постійно зростаючої вартості.

У 1954 р. 12 європейських держав підписали угоду про створення європейського центру з ядерних досліджень (CERN), який на сьогодні виріс до найбільшої і найвпливовішої дослідної організації в світі у галузі фізики високих енергій [5]. Центр розташований в Швейцарії, поблизу Женев. Станом на 2020 р. його учасниками є 23 країни, 6 країн мають статус асоційованого члена і ще низка держав і міжнародних організацій мають статус спостерігачів при CERN. Україна у 2016 р. теж приєдналася до CERN на правах асоційованого члена, що дало українським ученим, фахівцям і студентам небачену раніше можливість долучитись до практики роботи і виконання досліджень на унікальному обладнанні, на найвищому рівні і слухати лекції видатних вчених сучасності. Українські підприємства та організації отримали право приймати участь у курсах CERN, демонструючи світові високий рівень української науки, професіоналізм учених і фахівців, зарядженість української промисловості на інноваційність і високу технологічність [6].

У 1956 р. представники 11 країн Східної Європи та Азії підписали у Москві угоду про створення міжнародної міжурядової науково-дослідної організації — Об'єднаного інституту ядерних досліджень (ОІЯД) з метою об'єднання їхнього наукового і матеріального потенціалів для вивчення фундаментальних властивостей матерії. Інститут розташований в м. Дубна (Росія) і зареєстровано в ООН 1 лютого 1957 р. Після розпаду СРСР його союзні республіки стали незалежними державами, більшість з яких приєдналися до ОІЯД уже як суверенні країни. Таким чином на сьогодні членами ОІЯД є 18 держав, на урядовому рівні укладено угоди про співробітництво ОІЯД з Угорщиною, Німеччиною, Єгиптом, Італією, ЮАР, Сербією [7]. Вищим керівним органом інституту є Комітет Повноважних представників усіх 18 країн-учасниць. Наукову політику ОІЯД визначає вчена

рада, до складу якої, крім видатних учених, що представляють країни-учасниці, входять відомі фізики Німеччини, Греції, Індії, Китаю, США, Франції, Швейцарії.

Основними напрямками теоретичних і експериментальних досліджень в ОІЯД є: фізика елементарних частинок, ядерна фізика і фізика конденсованих середовищ. Ученими, що працюють в інституті, вперше в світі синтезовано нові надважкі елементи з порядковими номерами Періодичної таблиці Д.І. Менделєєва 105, 113, 114, 115, 116, 117 і 118.

Інститут підтримує наукові зв'язки з понад 800 науковими центрами і університетами із 62 країн світу, має свого представника в Експертному комітеті Європейського наукового фонду.

CERN і ОІЯД з 2014 р. мають взаємний статус спостерігача: CERN — в Комітеті Повноважних представників урядів країн-учасниць, ОІЯД — в Раді CERN. Фізики ОІЯД беруть участь в роботах з виконання 20 проєктів CERN.

Українські вчені активно залучені до проведення фундаментальних та прикладних досліджень за всіма трьома напрямками діяльності ОІЯД з самого початку його створення. Серед них не можна не відзначити М.М. Боголюбова, всесвітньовідомого ученого в галузі математики і теоретичної фізики, який сформувався як видатний вчений у Київському університеті. При заснуванні ОІЯД його було обрано на посаду директора лабораторії теоретичної фізики, а в подальшому, з 1965 р., він протягом 23 років незмінно обіймав посаду директора цього міжнародного інституту.

На сьогодні до складу ОІЯД входять 7 лабораторій, кожна з яких за масштабами досліджень співмірна з окремою науковою установою. Лабораторії ОІЯД оснащені низкою унікальних експериментальних установок, на яких проводяться дослідження в різних галузях фізики, хімії, біології та медицини. Крім цього, будуються нові експериментальні комплекси для виконання перспективних наукових програм [8].

Україна як незалежна держава є членом ОІЯД з 1991 р. Ця міжнародна організація стала

своєрідною науково-технічною базою для українських фахівців-ядерників, які безпосередньо беруть участь у проведенні новітніх ядерно-фізичних експериментів. Молоді науковці здобувають практичний досвід роботи на унікальному обладнанні для досліджень з фізики конденсованих середовищ, наукові установи і підприємства України на замовлення ОІЯД займаються розробкою і створенням приладів та комплектувальних вузлів для сучасних наукових установок та комплексів, без яких неможливо уявити ядерні експерименти сьогодення. Новокраматорський машинобудівний завод освоїв виготовлення унікальних виробів для елементів магнітних систем циклотронів і синхротронів, «Львівська політехніка» створила феромагнітні датчики для вимірювання магнітних полів з унікальною точністю при криогенних температурах, представники Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна беруть участь в розрахунках надпровідних магнітів для унікального колайдера «НІКА», який споруджується в ОІЯД. Його основна відмінність від Великого адронного колайдера, що працює в CERN, – це низькі енергії частинок [9].

Особливо тісним є творче співробітництво між НАН України і ОІЯД. Два члени НАН України входять до складу Ученої ради ОІЯД – чл.-кор. НАН України Г.М. Зінов'єв та академік НАН України Б.В. Гриньов. Академік НАН України Л.А. Булавін є членом Програмно-консультативного комітету ОІЯД. Б.В. Гриньов уже понад 10 років успішно виконує обов'язки Повноважного представника уряду України у вищому керівному органі ОІЯД. При НАН України створено координаційну раду з співробітництва з ОІЯД і CERN. Активно здійснюється співробітництво між ОІЯД і Малою академією наук України.

ОІЯД активно співпрацює з 25 організаціями України, зокрема з 15 академічними установами і 8 провідними університетами: вчені Інституту ядерних досліджень НАН України виконують теоретичні розрахунки дифракцій-

ної взаємодії гіперонів з ядрами в рамках наукової програми Лабораторії фізики високих енергій ОІЯД; фізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка проводить спільні дослідження з вивчення структури і фізико-хімічних властивостей різних наносистем: магнітних рідин, розчинів поверхнево-активних речовин, фулеренів; Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України (в минулому УФТІ) виконує за програмами ОІЯД теоретичні дослідження, пов'язані з експериментами з використанням поляризованих пучків і поляризованої мішені, тощо [10]. Плідне співробітництво вже багато років поспіль розвивається між ОІЯД та Інститутом сцинтиляційних матеріалів НАН України (ІСМА). Свого часу було виконано розробку пластмасових сцинтиляторів для спектрометричного комплексу CDF на Теватроні Фермілаб (Fermi National Accelerator Laboratory, США) [11]. В подальшому на основі цих розробок було створено удосконалені сцинтилятори для експерименту ATLAS в CERN. Фахівці ІСМА виготовили понад 20 000 сцинтиляційних стрипів довжиною 7 м кожен, з яких учені ОІЯД створили унікальну детекторну систему для міжнародного експерименту з пошуку осциляцій нейтрино (проєкт «ОПЕРА», Італія). В ІСМА також було розроблено й виготовлено унікальні кристали для сцинтиляційних детекторів, що використовуються в нейтринному експерименті з пошуку рідкісних розпадів мезонів на прискорювачі в Цюріху (Швейцарія).

Це далеко не повний перелік досліджень, проведених науковими установами і університетами України в рамках співпраці з ОІЯД. Варто зауважити, що більшість цих та інших робіт зі створення унікальних нових матеріалів та технологій виконано за рахунок внесків України в ОІЯД, замість їх виплати у вигляді валютних грошових коштів. Суттєвому розширенню співробітництва українських учених з ОІЯД сприяла угода, яку було підписано у березні 2011 р. Повноважним представником уря-

ду (ППУ) України в ОІЯД Б.В. Гриньовим і в. о. директора ОІЯД М.Г. Іткісом про започаткування Програми ОІЯД-Україна з теоретичної фізики (Боголюбівська Програма). Метою програми визначено підтримку двостороннього та багатостороннього співробітництва в галузі теоретичної і математичної фізики та суміжних з ними дисциплін. Так, передбачено підтримку фундаментальних досліджень в напрямках фізики високих енергій, фізики взаємодії важких іонів, теорії ядерної структури, теорії конденсованих середовищ і нових матеріалів, сучасної математичної фізики та інших. Для досягнення заявленої мети сторони зобов'язуються здійснювати фінансову підтримку дослідницьким проектам вищого рівня, підтримувати взаємні обміни ученими, заохочувати обдарованих молодих учених до участі в передових актуальних проектах, організовувати та підтримувати підготовку бакалаврів, магістрів і аспірантів, що беруть участь у науково-навчальних проектах Програми ОІЯД—Україна, допомагати організовувати літні школи, студентські наукові семінари та інші тематичні заходи, заохочувати співпрацю вчених Сторін з відомими вченими інших країн. Відповідальність за ефективне управління бюджетом Боголюбівської програми взяв на себе Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України.

За Проблемно-тематичним планом науково-дослідних робіт і міжнародного співробітництва ОІЯД на 2020 р. співпраця між українськими організаціями і фахівцями та ОІЯД здійснюється в наступних обсягах: теоретична фізика — за 5 темами, фізика елементарних частинок і релятивістська ядерна фізика — за 8 темами, ядерна фізика — за 4 темами, фізика конденсованих середовищ, радіаційні та радіобіологічні дослідження — за 4 темами, мережі, комп'ютинг, обчислювальна фізика — за 1 темою, навчальна програма — за 1 темою [10, 12].

Особливо цікавим напрямком співробітництва України з ОІЯД, з огляду на можливості творчого зростання молодих українських фізи-

ків, є навчальні програми, завдяки яким українські вчені мають доступ до унікального фізичного обладнання, беруть участь у сучасних дослідженнях з ядерної фізики, фізики конденсованих середовищ, радіобіології тощо.

З перших років існування ОІЯД його керівництво почало вживати активні заходи для залучення до діяльності в інституті талановитої молоді. В основі цих заходів було розуміння того, що підготовку студентів-старшокурсників потрібно проводити в лабораторіях інституту під керівництвом науковців інституту з використанням всього доступного новітнього наукового обладнання. Для початку перший директор інституту Д.І. Блохінцев і директор Лабораторії високих енергій В.І. Векслер відкрили в ОІЯД філіали кафедр, якими вони керували в Московському державному університеті — філіал кафедри теоретичної ядерної фізики і філіал кафедри елементарних частинок відповідно [13].

Пізніше стало зрозуміло, що філіали не можуть задовольнити потреби ОІЯД у підготовці фахівців широкого кола спеціальностей, котрі необхідні для забезпечення наукової діяльності інституту на сучасному рівні, і врахувати побажання інших країн-учасниць інституту направляти своїх молодих учених на стажування і творчу роботу в інститут. Зважаючи на це, у 1991 р. ОІЯД спільно з провідними московськими вищими навчальними закладами заснували Навчально-науковий центр ОІЯД (ННЦ). З 1993 р. ННЦ став структурним підрозділом ОІЯД, на який покладено функції організації, забезпечення і розвитку в інституті самостійної навчальної програми. У 1994 р. в м. Дубна за участю ОІЯД було відкрито міжнародний університет природи, суспільства і людини «Дубна», а у 1995 р. в ОІЯД — власну аспірантуру, діяльністю якої теж опікується ННЦ. На сьогодні ННЦ здійснює цільову підготовку студентів із країн-учасниць, створює спеціальні лекційні курси для старшокурсників, проводить вагомими міжнародні заходи, зокрема Міжнародну літню студентську практику. Кожен



Учасники 7-го щорічного звітнього семінару українських науковців, які працюють в ОІЯД за направленням Повноважного представника уряду України в ОІЯД

рік через різні навчальні програми центру проходить кілька сотень студентів старших і молодших курсів університетів країн-членів ОІЯД. Важлива роль у діяльності ННЦ відводиться роботі зі школярами: проведення науково-дослідних конференцій для учнів, праця в шкільному практикумі ННЦ, екскурсії базовими установками ОІЯД тощо. Для студентів ВНЗ країн-учасниць ОІЯД щорічно організуються практикуми на установках інституту.

Крім традиційних форм навчального процесу ННЦ практикує регулярне проведення літніх шкіл та спеціалізованих семінарів, в яких беруть участь не лише учні й студенти країн-учасниць інституту, а і слухачі з країн Західної Європи, Єгипту, Південно-Африканської Республіки та ін. Майбутнім фізикам із країн, що розвиваються, ОІЯД надає стипендії для навчання у міжнародному університеті «Дубна». Серед викладацького складу університету — провідні вчені інституту, вчені світового рівня. ОІЯД щорічно проводить до 10 великих конференцій, понад 30 міжнародних наукових нарад і семінарів, традиційні школи молодих учених тощо [14].

У спільноті учених ОІЯД, особливо серед молодих вчених та стажистів, поширеним є створення неформальних національних об'єднань — груп, членів яких, крім суто наукових

проблем, об'єднують ще й національні традиції та інтереси. За роки існування в ОІЯД склалися певні взаємовідносини як усередині національних груп, так і форми співпраці з іншими національними групами. Українська національна група історично вважається однією із найбільш чисельних об'єднань [9]. Починаючи з 2011 р., за ініціативою Повноважного Представника Уряду України в ОІЯД Б.В. Гриньова в українській групі започатковано щорічні наукові звітні семінари українських науковців, направлених в ОІЯД, від результатів яких значною мірою залежить рішення Повноважного Представника щодо продовження або закінчення контрактів на роботу в ОІЯД.

Українська національна група в ОІЯД стала прикладом для таких груп інших країн у проведенні подібних звітних семінарів (фото). Наразі подібні семінари стають популярними серед вчених Польщі, Казахстану, Азербайджану та інших країн. Для поліпшення координації діяльності та підвищення ефективності роботи члени групи на своїх зборах обирають керівника групи. З 2015 р. керівництво групою вже 5 років поспіль доручено старшому науковому співробітнику Лабораторії нейтронної фізики ім. І.М. Франка (ЛНФ) Д.В. Соловійову.

Більшість українських фахівців, які працюють в ОІЯД за направленням ППУ, здійсню-

ють дослідження в ЛНФ. Серед наукових напрямів ЛНФ є матеріалознавчий напрямок, який представлено науково-дослідним відділом нейтронних досліджень конденсованого стану. Відділ застосовує методи нейтронографії для дослідження як кристалічних тіл, так і м'якої матерії. Зокрема, методами малокутового розсіяння нейтронів та нейтронної рефлектометрії досліджується структура багатокомпонентних рідинних систем на надатомному рівні. Установки нейтронного розсіяння, побудовані навколо імпульсного реактора ІБР-2, дозволяють визначати характерні розміри включень (у колоїдних системах, порошках та в твердих матрицях) у масштабах від 1–2 нм до 100 нм, що і забезпечує популярність методів дифракції для вирішення задач молекулярної фізики, колоїдної хімії [15]. Українські вчені — незмінні активні учасники новітніх досліджень в галузі матеріалознавства, що виконуються в лабораторії, в яких отримано чимало цікавих результатів: методом непружного розсіяння рентгенівського випромінювання високої роздільної здатності вивчено дисперсійні криві ліпідних мембран; доведено існування в ліпідних мембранах акустичних поздовжніх та поперечних фононних мод, які свідчать про наявність у них двох різних механізмів розповсюдження звуку; на основі отриманих експериментальних даних запропоновано модель структури ліпідної мембрани, згідно з якою пасивний транспорт молекул крізь мембрану реалізується шляхом проходження них між областями локального впорядкування [16]; досліджено колективні коливання молекул в двокомпонентних ліпідних мембранах з холестерином; доведено існування в таких системах оптичної фононної моди, яка пов'язана з протифазними коливаннями молекули ліпиду та молекули холестерину в ліпідній парі]; вперше знайдено, що оптична фононна мода в ліпідній мембрані має розрив, що пояснюється наявністю ліпідних комплексів, розмір яких не залежить від концентрації холестерину в мембрані [17]; вивчено поведінку літєвих елемен-

тів, що наразі широко використовуються в різних галузях техніки. В дослідженнях показано, що деградація електродів літєвих батарей проходить в два етапи — на першому на поверхні електрода формується щільний збагачений літєм шар із продуктів хімічної взаємодії іонів літію з розчинником, а на другому етапі починає формуватися перехідний шар, що свідчить про початок появи великих мезоскопічних неоднорідностей (голчатих структур). При модифікаціях електроліту шляхом добавлення неелектроактивної речовини спостерігається сильне пригнічення росту і значна зміна складу приповерхневого шару.

Також вченими ОІЯД за допомогою методу малокутового розсіювання нейтронів (МКРН) досліджено заповнення шпарин вуглецевого катода кінцевим продуктом електрохімічної реакції — пероксидом літію — при розрядженні літій-кисневих комірок. Цей тип батарей має значно більшу ємність порівняно з більш поширеними в застосуванні літій-іонними батареями. Але їхньому використанню заважає низка труднощів, пов'язаних з блокуванням дифузії кисню в електроліті через захарачення шпарин пероксидом літію. Дані МКРН дозволили поєднати зміни у катоді на нанометровому масштабі з електротехнічними характеристиками комірок і допомогли з'ясувати механізми, що обмежують ємність комірок [18].

Українські фахівці беруть безпосередню участь в міжнародних дослідженнях особливостей кристалічної та магнітної структур сполук на основі барієвих та стронцієвих гексаферитів [19] і подвійних перовскитів [20]. Методами рентгенівської та нейтронної дифракції досліджено еволюцію кристалічної і магнітної структур твердих гексаферитів (Ba/SR) $\text{Fe}_{12-x}\text{In}_x\text{O}_{19}$ ($x = 0, 1, 2$). Методом рентгеноструктурного аналізу зі співвідношення інтегральних інтенсивностей дифракційних піків $I_{(101)} = (I_{(200)} + I_{(112)})$ встановлено ступінь структурного безладу зразка $\text{Ba}_2\text{FeMoO}_6$. Зроблено вимірювання магніторезистивного ефекту у широкому інтервалі температур (10–300 К) та

інтенсивності індукції магнітного поля (0–12 Тл). Виявлено вплив температури на ступінь спінової поляризації носіїв заряду Ba_2FeMoO_6 .

В ОІЯД досліджено структурні зміни ферофлюїдів, спричинені електричним полем. Виявлено, що ці зміни в'язкості ферорідини аналогічні магнітов'язкому ефекту і обумовлені ефективною електричною поляризацією наночастинок у розчині. Показано, що цей електрореологічний ефект потрібно враховувати при виборі ферорідин для застосування у високовольтній техніці, тому що він може впливати на термомагнітну конвекцію або характеристики пробою діелектрика [21]. Теоретичними розрахунками показано, що однорідний розподіл діелектричних частинок у діелектричному носіїві може стати неоднорідним під дією електричного поля. Перехід до неоднорідного розподілу має пороговий характер. Критичне значення прикладеного поля збільшується з ростом температури, зі зменшенням кількості частинок та їхнього радіуса, а також зі зменшенням різниці між діелектричними проникностями частинки і середовища. Виявлений розподіл концентрації наночастинок, відповідно до запропонованого теоретичного підходу, добре узгоджується з експериментальними спостереженнями неоднорідного розподілу частинок ферорідини під дією зовнішнього електричного поля [22].

За останні 10 років ученими української національної групи було захищено понад десять кандидатських та три докторські дисертації. У 2013 р. цикл спільних робіт молодих учених Київського національного університету імені Тараса Шевченка і ОІЯД було відзначено премією Президента України. Слід зазначити активну участь українських учених у виконанні мега-сайенс проєкту «NISA» – світового лідера в галузі досліджень з фізики важких ядер високих енергій. Уже понад 300 учених і 70 наукових установ з 32 країн беруть участь в його підготовці. Метою проєкту є проведення фундаментальних досліджень, недо-

ступних в інших прискорювальних центрах світу, направлених, в першу чергу, на вивчення надгустої ядерної речовини, яка існувала на ранніх стадіях еволюції Всесвіту і існуючої в надрах нейтронних зірок, а також на виконання широкого спектра інноваційних і прикладних робіт [12].

Наведені приклади наглядно демонструють плідність співпраці з ОІЯД для українських фахівців, особливо молодих учених. Завдяки співробітництву існує можливість здійснювати експерименти на унікальному обладнанні, яке наша країна самотужки не має можливості будувати та виготовляти. Іншим вагомим фактором на користь цієї співпраці є низка великих міжнародних експериментів Європейського союзу, США, Німеччини, Франції, Італії, у виконанні яких через ОІЯД безпосередню участь беруть фізики-ядерники України. Важко кількісно оцінити користь наукової школи такого співробітництва для педагогічних працівників, старшокласників та студентів української спільноти.

Серйозною перешкодою для отримання найвищих результатів від співробітництва є те, що Україна з 2014 р. не платить членські внески в ОІЯД. І хоч багаторічними зусиллями Повноважного представника уряду України в ОІЯД у 2017 р. вдалося зафіксувати заборгованість України перед ОІЯД, відсутність поточних платежів суттєво знижує можливості направлення українських фахівців до цієї установи. Наприклад, у 2015 р. за направленням Повноважного представника уряду України в ОІЯД працювали і стажувалися 31 особа, а у 2020 р. – лише 20. Через відсутність платежів ОІЯД за статутом не може направляти українських молодих вчених у закордонні відрядження в провідні наукові центри інших країн, тобто зменшується кількість делегатів від України на наукові та освітні заходи, що регулярно проводяться в ОІЯД тощо.

Надія залишається лише на те, що Україна, після того як оговтається від нового коронаві-

рису і кризи, пов'язаної з ним, зможе виконувати свої фінансові обов'язки за міжнародними угодами, зокрема й на проведення наукових досліджень, і українська національна група

в ОІЯД знову займе своє чільне місце як одна з найбільш плідних і впливових груп серед країн-учасниць однієї з найкрупніших міждержавних наукових організацій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Обреїмов І.В. Історія природничо-наукової думки за півстоліття. *Вісник Академії наук Української РСР*. 1971. Т. 10.
- Лейпунский А.И. Избранные труды. Воспоминания. / Под ред. Б.Ф. Громова. Киев, 1990. 133 с.
- 50 лет современной ядерной физике*. Москва, 1982. 255 с.
- Ранюк Ю. *Лабораторія №1. Ядерна фізика в Україні*. Харків, 2001. 588 с.
- ЦЕРН. URL: ru.wikipedia.org/wiki/ЦЕРН (дата звернення: 15.04.2020).
- Гриньов Б.В., Тітов М.П., Стадник П.О. Україна — CERN: шлях до співпраці. *Наука та інновації*. 2019. Т. 5. С. 93–105.
- ОИЯИ. URL: jinr.ru/about/ (дата звернення: 15.04.2020).
- История создания ОИЯИ. URL: jinr.ru/wp-content/uploads/JINR_Docs/Booklet_2015-rus.pdf (дата звернення: 15.04.2020).
- Трубников Г. Технологический уровень многих украинских предприятий височайший по мировым меркам. URL: https://ltu.ua/ru/news/technological_level/ (дата звернення: 17.04.2020).
- Гринев Б.В., Волкова Ю.Г. Украина и Объединенный институт ядерных исследований: опыт и перспективы сотрудничества. *Наука та інновації*. 2015. Т. 11, № 4. С. 55–61.
- Артиков А., Будагов Ю., Гринев Б., Жмурин П. *Детекторы ОИЯИ на основе украинских пластмассовых сцинтилляторов в экспериментах ТэВ диапазона*. Харьков, 2013. 86 с.
- Ольшевский А.Г. Сотрудничество ОИЯИ–Украина. URL: jinr.ru/posts/map_maps/ukraine/ (дата звернення: 17.04.2020).
- Учебно-научный центр ОИЯИ. URL: newsc.jinr.ru (дата звернення: 17.04.2020).
- Образовательная программа ОИЯИ. URL: ucnew.jinr.ru/ru/about (дата звернення: 17.04.2020).
- Булавін Л.А., Авдєєв М.В., Ключников О.О., Нагорний А.В., Петренко В.І. *Нейтроннографія магнітних рідинних систем*. Київ, 2015. 244 с.
- Zhernenkov M., Bolmatov D., Soloviov D., Zhernenkov K., Toperverg B., Cunsolo A., Bosak A., Cai Y.Q. Revealing the mechanism of passive transport in lipid bilayers via phonon-mediated nanometre-scale density fluctuations. *Nature Communications*. 2016. V. 7. P. 11575. doi: 10.1038/ncomms11575.
- Soloviov D., Cai Y.Q., Bolmatov D., Suvorov A., Zhernenkov K., Zav'yalov D., Bosak A., Uchiyama H., and Zhernenkov M. Functional lipid pairs as building blocks of phase-separated membranes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2020. V. 117, no. 9. P. 4749–4757. doi: 10.1073/pnas.1919264117.
- Avdeev M.V., Rulev A.A., Ushakova E.E., Kosiachkin Ye.N., Petrenko V.I., Gapon I.V., Kataev E.Yu., Matveev V.A., Yashina L.V., Itkis D.M. On nanoscale structure of planar electrochemical interfaces metal/liquid lithium ion electrolyte by neutron reflectometry. *Applied Surface Science*. 2019. V. 486. P. 287–291. doi: 10.1016/j.apsusc.2019.04.241
- Turchenko V.A., Balagurov A.M., Trukhanov S.V., Trukhanov A.V. Refinement of the Atomic and Magnetic Structures of Solid Solutions $\text{BaFe}_{12-x}\text{In}_x\text{O}_{19}$ ($x = 0.1-1.2$) by the Neutron Diffraction Method. *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*. 2019. V. 13, no. 1. P. 69–81. doi: 10.1134/S1027451019010361
- Turchenko V., Kalanda N., Yarmolich M., Balasoiu M., Lupu N. Features of crystalline and magnetic structure of barium ferromolybdate in a wide temperature range. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2019. V. 477. P. 42–48. doi: 10.1016/j.jmmm.2018.12.096
- Rajnak M., Timko M., Kopcansky P., Paulovicova K., Tothova J., Kurimsky J., Dolnik B., Cimbala R., Avdeev M.V., Petrenko V.I., Feoktystov A. Structure and viscosity of a transformer oil-based ferrofluid under an external electric field. *JMMM*. 2017. V. 431. P. 99–102. doi: 10.1016/j.jmmm.2016.10.008
- Selyshchev P.A., Petrenko V.I., Rajnak M., Dolnik B., Kurimsky J., Kopcansky P., Timko M., Bulavin L.A.. Non-uniform distribution of ferrofluids spherical particles under external electric field: Theoretical description. *Journal Mol. Liq.* 2019. V. 278. P. 491–495. doi: 10.1016/j.molliq.2019.01.001

Стаття надійшла до редакції / Received 23.04.20

Статтю прорецензовано / Revised 26.06.20

Статтю підписано до друку / Accepted 07.07.20

Grynyov, B.V.¹, Bulavin, L.A.², Soloviov, D.V.³, and Stadnik, P.O.¹

¹ Institute for Scintillation Materials, the NAS of Ukraine,
60, Nauky Ave., Kharkiv, 61072, Ukraine,
+380 57 341 0161, isma@isc.kharkov.com

² Taras Shevchenko National University of Kyiv,
60, Volodymyrska St., Kyiv, 01033, Ukraine,
+380 44 239 3333, office.chief@univ.net.ua

³ Joint Institute for Nuclear Research,
Dubna, Moscow Region, Russian Federation, 141980,
+7 496 216 4040, post@jinr.ru

COLLABORATION WITH JINR AS KEY FOR NUCLEAR PHYSICS DEVELOPMENT IN UKRAINE

Introduction. Today, the Joint Institute for Nuclear Research (JINR) is a kind of scientific and technical framework for Ukrainian nuclear researchers who are directly involved in conducting the cutting-edge nuclear physics experiments.

Problem Statement. An important aspect of international cooperation for the Ukrainian researchers in the field of nuclear physics and materials science is to consolidate scholarly research, engineering, and financial resources of countries for creating international research organizations and implementing large-scale projects in modern science and technology.

Purpose. Analysis of the factors that contribute to the development of nuclear physics and research in related disciplines in Ukraine, involvement of Ukrainian researchers in international research processes, and assessment of the future prospects.

Materials and Methods. Analysis of scholarly research trends in the Joint Institute for Nuclear Research (JINR) and review of achievements of Ukrainian researchers, in particular, young researchers, in implementation of international projects in nuclear physics and related disciplines.

Results. The background of nuclear physics research in Ukraine, the way of international cooperation development, and its impact on education and training of researchers have been analyzed. The examples of research results of Ukrainian nuclear physicists have been given. The cooperation of Ukrainian R&D organizations and companies with JINR has been shown to have a positive effect on creative and innovative processes, including the development and study of new high-tech materials.

Conclusions. Collaboration with JINR gives Ukrainian researchers access to modern methods of physical research and unique equipment at leading international R&D centers, while planning and implementing large-scale experiments in nuclear physics, and enables studying the problems of the Universe. Teachers, students, and schoolchildren from Ukraine have additional opportunities to work with the cutting-edge methods, modern equipment and innovative approaches in the field of science and technology.

Keywords: nuclear physics, research, and cooperation.