

---

І.М. НЕКЛЮДОВ

## ВІДДІЛЕННЯ ЯДЕРНОЇ ФІЗИКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

---

Стратегічні напрями розвитку паливно-енергетичного комплексу України до 2030 р. передбачають збереження та нарощування ядерної складової, зокрема підвищення сумарної потужності атомних електростанцій. У багатьох країнах світу значна увага приділяється піднесенню ролі технологій мирного використання енергії атома, переходу на безпечніші та економічно ефективніші типи ядерних реакторів.

З огляду на ці тенденції та з метою поглиблення наукових досліджень у галузі ядерної фізики, активізації науково-технічного супроводу ядерно-енергетичного комплексу України в 2004 р. було створено Відділення ядерної фізики та енергетики НАН України. Воно покликане організовувати і координувати фундаментальні й прикладні дослідження з перспективних напрямів ядерної фізики, фізики елементарних частинок і високих енергій, фізики плазми та керованого термоядерного синтезу, фізики прискорювачів, радіаційної фізики, радіаційного матеріалознавства, електрофізики, радіогеохімії, створення наукових основ ядерних і радіаційних технологій.

Значну увагу Відділення приділяє вирішенню проблем ядерної енергетики, зокрема дослідженням мінерально-сировинних ресурсів, фундаментальних основ створення елементів ядерно-паливного циклу України, екологічно безпечної атомної енергетики майбутнього; питанням ефективною та

безпечною експлуатації АЕС; роботам з продовження терміну експлуатації енергоблоків атомних електростанцій та зняття їх з експлуатації. Важливим завданням є також розв'язання проблем ядерної, радіаційної і техногенно-екологічної безпеки, які включають оптимізацію системи поводження з відпрацьованим ядерним паливом, радіоактивними відходами та радіоекологію.

Сьогодні в 7 установах Відділення працюють близько 3900 чол., серед яких понад 1700 наукових співробітників, у тому числі 10 академіків і 17 членів-кореспондентів НАН України, близько 150 докторів і 540 кандидатів наук.

Учені Відділення разом із фахівцями інших наукових установ України у 2004–2010 рр. розробили та виконували завдання Державної програми фундаментальних і прикладних досліджень з проблем використання ядерних матеріалів та ядерних і радіаційних технологій у сфері розвитку галузей економіки у 2007–2010 рр. З 2011 р. науковці Відділення беруть участь у виконанні цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Науково-технічний супровід розвитку ядерної енергетики та застосування радіаційних технологій в галузях економіки». У 2012 р. розпочато реалізацію цільової програми наукових досліджень Відділення «Розвиток перспективних напрямів фундаментальних досліджень в ядерній, радіаційній фізиці та ядерній енергетиці».

Установи Відділення залучаються також до виконання завдань багатьох інших національних, державних та академічних цільових

комплексних програм, беруть участь у низці проектів за міжнародними грантами та програм дослідницьких фондів і наукових центрів. З 2012 р. вчені Відділення задіяні в реалізації цільової програми співробітництва НАН України з Європейським центром ядерних досліджень (ЦЕРН) та Об'єднаним інститутом ядерних досліджень «Перспективні фундаментальні дослідження з фізики високих енергій та ядерної фізики».

Щороку установи Відділення організують численні наукові конференції, конгреси, симпозиуми, семінари та школи; з 2008 р. регулярно проводяться міжнародні семінари-наради «Розвиток атомної енергетики — фактор сталого міждержавного співробітництва»; розвивається співробітництво з міжнародними та національними науковими і науково-технічними центрами та організаціями.

**Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України** — найстаріший і найбільший вітчизняний центр фізичної науки, який було створено в 1928 р. Спочатку він мав назву Український фізико-технічний інститут, а з 1966 р. — Харківський фізико-технічний інститут. У різні часи Інститут очолювали такі відомі вчені, як І.В. Обреїмов, О.І. Лейпунський, О.Й. Шпетний, К.Д. Синельников,

В.Є. Іванов, В.Ф. Зеленський, сьогодні його генеральним директором є І.М. Неклюдов.

Уже через 4 роки після заснування установи А.К. Вальтер, Г.Д. Латишев, О.І. Лейпунський, К.Д. Синельников здійснили видатний науковий експеримент — розщепили ядро атома літію. На честь цієї події на території Інституту встановлено пам'ятний знак.

У 1931 р. Л.В. Шубников організував в Інституті першу в СРСР криогенну лабораторію, в якій за короткий час було отримано багато вагомих результатів. Саме тут уперше в Радянському Союзі одержали рідкі водень і гелій, склалася перша в країні школа фізиків-криогенників. Практично в той же час талановитий фізик-теоретик, майбутній нобелівський лауреат Л.Д. Ландау, який працював у ХФТІ з 1932 по 1937 р., створив усесвітньо відому школу теоретичної фізики. У наступні роки в Інституті було розроблено метод радіовиявлення об'єктів, що рухаються, і збудовано перший у СРСР трикоординатний радіолокатор. ХФТІ став родоначальником високовакуумної техніки, на основі якої згодом було розвинуто новий фізико-технологічний напрям — вакуумну металургію.

У післявоєнні роки Інститут став одним із активних учасників робіт з використання атомної енергії в СРСР, пізніше доєднався до розв'язання проблеми керованого термоядерного синтезу. В ХФТІ створено велику кількість унікальних експериментальних установок, які постановами Кабінету Міністрів України віднесено до наукових об'єктів, що становлять національне надбання України.

Указом Президента України від 23.06.1993 № 224 Інституту було надано статус першого в Україні Національного наукового центру, і на основі наукових відділень у рамках Центру створено інститути фізики плазми (1994), фізики твердого тіла, матеріалознавства і технологій (1995), плазмової електроніки і нових методів прискорення (1995), теоретичної фізики (1996), фізики високих енергій і ядерної фізики, а також Науково-дослідний комплекс «Прискорювач» (1994), Науково-технічний комплекс «Ядерний паливний цикл» (1994) та Науково-виробни-



Пам'ятний знак на честь видатного наукового експерименту — розщеплення атомного ядра, здійсненого 10 жовтня 1932 р. ученими Українського фізико-технічного інституту

чий комплекс «Відновлювані джерела енергії та ресурсозберігаючі технології» (1997). У 2004 р. ННЦ ХФТІ передано до складу новоствореного Відділення ядерної фізики та енергетики НАН України.

Загальна кількість працівників у ННЦ ХФТІ становить понад 2450 чол., з них — 6 академіків і 5 членів-кореспондентів НАН України, майже 80 докторів та 300 кандидатів наук.

У 1967 р. за значні досягнення в розвитку фізичної науки та підготовку висококваліфікованих наукових кадрів Указом Президії Верховної Ради СРСР Інститут було нагороджено орденом Леніна. Понад 90 науковців установи є лауреатами Державних та іменних премій.

Наукові дослідження в Інституті виконуються за такими науковими напрямками: фізика твердого тіла, фізика радіаційних явищ і радіаційне матеріалознавство, наукові основи технологій одержання та оброблення матеріалів; фізика плазми і керований термоядерний синтез; ядерна фізика, фізика електромагнітних взаємодій, фізика і техніка електронних прискорювачів; плазмова електроніка і фізика сильноточових пучків; фізика і техніка прискорювачів важких заряджених частинок; нові методи прискорення; теоретична фізика.

Інститут підтримує і розвиває зв'язки з багатьма міжнародними організаціями і науковими центрами. Фахівці ХФТІ брали участь у створенні частини детекторів CMS, ALICE та LHC-b для адронного колайдера в ЦЕРНі, поляриметрів для Національної лабораторії імені Джеферсона в США та поляризованої мішені для Об'єднаного інституту ядерних досліджень. Інститут славиться своїми авторитетними науковими школами, серед яких школа теоретичної фізики (Л.Д. Ландау, О.І. Ахієзер); фізики твердого тіла, матеріалознавства і вакуумної металургії (К.Д. Синельников, В.Є. Іванов); фізики радіаційних пошкоджень та радіаційного матеріалознавства; фізики твердого тіла (Б.Г. Лазарев); фізики плазми (К.Д. Синельников); ядерної фізики (А.К. Вальтер);

плазмової електроніки та нових методів прискорення заряджених частинок (Я.Б. Файнберг) та ін.

За останні роки в Інституті розроблено мікроскопічну теорію надплинних систем, що ґрунтується на двох незалежних підходах: методі квазісередніх і узагальненні теорії фермі-рідини Ландау – Сіліна на надплинних системах. Розвинуто теорію поляризаційних ефектів для процесів взаємодії фотонів і електронів високих енергій з нуклонами та ядрами на основі загальних принципів релятивістської інваріантності й фундаментальних властивостей симетрії взаємодій. Теорію дифузійного розпаду багатоконпонентних твердих розчинів широко застосовують у матеріалознавстві й фізиці конденсованого середовища. Теоретичні основи сегрегації домішок на міжзеренних межах поширено на матеріали, які зазнають впливу опромінення.

Значну увагу фахівці Інституту приділяють дослідженням з фізики плазми та керованого термоядерного синтезу. Методи оптимізації конфігурації магнітного поля в стелараторах, розроблені в ХФТІ, дали змогу поліпшити рівновагу і стійкість плазми, зменшити неокласичні втрати енергії. Виконуються роботи, спрямовані на наукове забезпечення спорудження міжнародного токамак-реактора ITER, досліджуються та розробляються плазмодинамічні системи, новітні плазмові технології, безконтактні методи діагностики плазми. Показано принципову можливість прискорення плазми у стаціонарному режимі, отримано потоки плазми з рекордними параметрами, які використовуються для моделювання умов на поверхнях дивертора ITER з метою оптимального вибору матеріалів елементів дивертора.

В Інституті розгорнуто роботи із забезпечення безаварійної роботи атомних станцій, підвищення ефективності використання ядерного палива, подовження ресурсу роботи обладнання атомних електростанцій, поводження з відпрацьованим ядерним паливом та радіоактивними відходами, вирішення екологічних питань ядерної енергетики.

У результаті вивчення змін механічних і корозійних властивостей конструкційних матеріалів розроблено комплексний підхід для досягнення високого ступеня вигорання ядерного палива, виконано цикл досліджень з подовження терміну експлуатації оболонок тепловидільних елементів та їх поведінки за умов зникнення охолоджуючих речовин в активній зоні реактора.

Виконано комплекс робіт із впровадження нових неруйнівних методів діагностичного контролю металу обладнання і трубопроводів на енергоблоках Південноукраїнської АЕС. На Рівненській АЕС впроваджено комплекс розрахункових програм проектування активних зон реакторів зі змішаними завантаженнями ядерного палива. Визначено найбільш напружені місця корпусів реакторів та зварних швів енергоблоків, які зазнають найбільшого впливу нейтронних потоків і потребують регулярного контролю.

На основі нових композиційних паливних і поглинальних матеріалів розроблено тепловидільні елементи для високотемпературних газоохолоджуваних реакторів, для важководних реакторів з газовим теплоносієм, елементи з паливом підвищеної щільності для водно-водяних реакторів, а також для особливо складних умов роботи в спеціальних апаратах. На термоядерних установках TJ-II (Іспанія), Wega (Німеччина), T-10 (РФ) впроваджено наукові прилади, в основу яких покладено новий метод аналізу параметрів імпульсної плазми, а також унікальну діагностику зондування високотемпературної плазми пучками важких іонів. Створено пучково-плазмові генератори і підсилювачі нового типу регулярних та стохастичних коливань з потужністю понад 100 кВт в імпульсі та підвищеним ККД до 50%, а також сімейство сильнотимових прискорювачів електронів з енергією до 1 МеВ і струмами до 100 кА.

Розроблено нові технології радіаційної стерилізації медичного устаткування; електрофізичні технології та устаткування, які використовуються з метою захисту довкілля і підтримки сільськогосподарського вироб-

ництва; озонаторні системи для очищення та знезараження питної води, промислових та побутових стоків. Модульну систему промислових компресорних озонаторів застосовано для плазмотронного підпалювання вугільної суміші на теплових електростанціях. На ЗАТ «Славагропромсервіс» (Слов'янськ) впроваджено енергоощадну технологію з перероблення відпрацьованих автопокришок. Газофазні технології одержання високоякісних композитних вуглець-вуглецевих матеріалів застосовують для виробництва високотемпературних нагрівачів, теплових екранів і допоміжного оснащення різного призначення.

Відповідно до Меморандуму про взаєморозуміння між урядами України та США щодо співробітництва з питань ядерної безпеки та Указу Президента України від 11.02.2013 № 73/2013, у ХФТІ в 2011 р. розпочато спорудження ядерної підкритичної установки «Джерело нейтронів, засноване на підкритичній збірці, що керується лінійним прискорювачем електронів», введення якої в експлуатацію заплановано на квітень 2014 р. Це буде перша така установка, побудована в Україні за роки незалежності за участю українських фахівців. Вона надасть можливість проводити дослідження низки проблем, характерних для підкритичних систем, зокрема пов'язаних з кінетикою поділу ядер урану, що стимулюється пучками прискорених заряджених частинок, а також дослідження в галузі радіаційного матеріалознавства, нанотехнологій, ядерної фізики, конденсованого стану речовини, молекулярної біології та ін.

**Інститут ядерних досліджень НАН України** було створено в 1970 р. на базі низки відділів Інституту фізики АН УРСР. В установі склалися широковідомі наукові школи з актуальних проблем ядерної фізики: нейтронної фізики (О.І. Лейпунський, М.В. Пасічник), фізики ядерних реакцій із зарядженими частинками (О.Ф. Немець), теорії ядра (В.М. Струтинський), ядерної спектроскопії (Г.Д. Латишев). Нині колектив Інституту налічує 685 працівників, серед яких 1 академік



і 3 члени-кореспонденти НАН України, 43 доктори і 129 кандидатів наук. Останніми роками науковці установи отримали 3 Державні премії України в галузі науки і техніки.

Основні напрями фундаментальних і прикладних досліджень Інституту охоплюють різні галузі ядерної фізики середніх і низьких енергій, атомної енергетики, радіаційної фізики твердого тіла та радіаційного матеріалознавства, фізики плазми і керованого термоядерного синтезу, радіобіології та радіоекології. Експериментальні роботи виконують на ядерно-фізичних установках, які, відповідно до вимог часу, постійно модернізують. Так, на дослідницькому реакторі ВВР-М у 2008 р. встановлено сучасну систему управління реактором. У 2005 р. введено в дію нову систему фізичного захисту. У 2009 р., відповідно до міжнародних вимог, збудовано сховище відпрацьованого ядерного палива. Для роботи з високоактивними матеріалами споруджено унікальні, єдині в Україні захисні бокси — «гарячі камери» з новим унікальним обладнанням для дослідження зразків-свідків. Електростатичний генератор ЕСГ-5 перебудовано в тандем-генератор ЕСП-10К, що удвічі збільшило максимальну енергію прискорення легких частинок.

Проведено також модернізацію практично всіх принципівих вузлів ізохронного циклотрона У-240, який свого часу не мав аналогів у Європі. На цьому прискорювачі отримано багато унікальної експериментальної інформації про взаємодію легких частинок і важких іонів.

Серед найвагоміших досягнень Інституту слід відзначити дослідження з нейтронної фізики. Експериментально визначено перерізи взаємодії нейтронів з великою кількістю елементів, що дало змогу створити банк даних нейтронних констант для конструкційних матеріалів ядерних реакторів. Виявлено оболонкові ефекти при розсіянні нейтронів ядрами і визначено відносні внески різних механізмів у перерізи пружного та непружного розсіяння нейтронів ядрами в широкому діапазоні енергій.



Експериментальна установка для дослідження ядерних реакцій на циклотроні У-240

Науковці Інституту запропонували варіант узагальненої оптичної моделі з переважним поглинанням в однофотонних каналах та модель розсіяння нуклонів на деформованих м'яких ядрах. Отримано значення перерізів резонансних реакцій, важливих для розрахунків у ядерній енергетиці. Експериментально встановлено і теоретично обґрунтовано немонотонну залежність перерізів розщеплення дейтрона від маси ядер. При вимірюванні магнітних моментів експериментально підтверджено явище суперсиметрії в ядрах та виявлено аномалію орбітального магнетизму нуклонів.

Розроблено метод оболонкових поправок для розрахунків енергії зв'язку та деформації ядер, який визнано науковим відкриттям, що справило значний вплив на розвиток теорії ядра і дало змогу коректно провести кількісні розрахунки мас та параметрів стабільності ядер, багатьох властивостей процесу поділу атомних ядер, передбачити існування надважких ядер. Отримано нові результати для таких процесів, як поділ атомних ядер, зіткнення важких іонів, збудження гігантських резонансів. Показано, що оболонкова або зонна структура спектра ядер є загальною властивістю скінченних фермі-систем; проаналізовано класичні та квантово-механічні аспекти реакцій з важкими іонами, зроблено значний внесок у розвиток теорії колективного руху з великою амплітудою та скінченною швидкістю в атомних ядрах.

Значних успіхів досягнуто в галузі ядерної спектроскопії. На магнітному  $\beta$ -спектрометрі одержано великий масив прецизійних даних щодо коефіцієнтів внутрішньої конверсії, мультипольностей  $\gamma$ -переходів, виявлено різноманітні аномалії в ядерних процесах. Одержано нові дані про структуру ядер, відкрито явище збудження ядер при анігіляції позитронів з електронами атома. Досліджено динаміку перебудови оболонки атома в процесі радіоактивного розпаду, виявлено зміщення конверсійних та оже-ліній при іонізації атома.

З метою дослідження властивостей нейтрино та слабкої взаємодії елементарних частинок у процесах подвійного  $\beta$ -розпаду атомних ядер створено Солотвинську (Закарпатська обл.) підземну лабораторію, розташовану в соляній шахті, та унікальні надчутливі низькофонові експериментальні установки. Отримано низку пріоритетних результатів з пошуку  $2\beta$ -розпаду ізотопів кадмію, вольфраму та інших рідкісних розпадів.

У галузі радіаційної фізики розвинуто теорію впливу ядерного опромінення на властивості металів, сплавів, напівпровідників, рідких кристалів. Досліджено особливості утворення конденсованої фази екситонів у двовимірній системі. На основі досліджень легованого нейтронами кремнію виготовлено напівпровідникові детектори ядерного випромінювання та проведено комплекс робіт з моделювання нейтронних пошкоджень у напівпровідникових матеріалах, опроміненіх зарядженими частинками середніх енергій.

У галузі ядерної енергетики роботи спрямовано на вирішення науково-технічних проблем безпечної експлуатації атомних електростанцій і фізичних проблем термоядерного синтезу. Зокрема, створено унікальну методику вимірювання параметрів ядерної безпеки об'єктів атомної енергетики, яку реалізовано на об'єкті «Укриття»; в «гарячих камерах» виконуються дослідження фізико-механічних властивостей металу зразків-свідків; розроблено сучасні методики моніторингу радіаційного навантаження корпусів реакторів типу ВВЕР-1000

та дозиметрії опроміненіх зразків-свідків, які дають інформацію, необхідну для визначення експлуатаційного ресурсу корпусу реактора та прийняття рішень щодо можливості подовження терміну його експлуатації.

У галузі керованого термоядерного синтезу відкрито нові властивості транспорту іонів високих енергій у магнітогідромеханічно активній плазмі токамаків. Знайдено домінуючий механізм транспорту надтеплових іонів у оптимізованих стелараторах; передбачено існування нових типів резонансів взаємодії «частинка – хвиля», що можуть бути визначальними при збудженні альфвенівських нестійкостей у стелараторах.

Аварія на ЧАЕС та її наслідки значною мірою актуалізували проблеми радіоекології. Науковці Інституту здійснюють контроль активності  $\alpha$ -,  $\beta$ - і  $\gamma$ -випромінюючих радіонуклідів у компонентах навколишнього середовища; розраховують дозові навантаження на людину; досліджують радіоекологічний стан територій, що зазнали радіоактивного забруднення унаслідок аварії на ЧАЕС, та земель, прилеглих до діючих АЕС; вивчають дію іонізуючого випромінювання на організми тварин і людини, вплив довготривалого опромінення в малих дозах на генетичний матеріал та структуру мембран клітин крові.

Багато результатів досліджень Інституту впроваджено у виробничу сферу. Наприклад, на практиці використовуються розроблені фахівцями установи технології, методики, експериментальні установки, призначені для робіт з радіаційного матеріалознавства, радіоелементного аналізу, ядерної медицини, плазмових технологій, контролю радіоактивного забруднення довкілля тощо. Інститут виконує поточні регламентні роботи з визначення ресурсу конструкційних матеріалів діючих реакторів. Учені досліджують вплив радіаційних навантажень на фізичні властивості конструкційних матеріалів ядерних реакторів; виконують роботи з відбору нових перспективних конструкційних матеріалів для реакторобудування; виготовляють напівпровідникові детектори; розробляють методи підвищення радіаційної стійкості

матеріалів; впроваджують радіаційні технології для збільшення строків зберігання деяких видів медичної, харчової сільськогосподарської продукції.

Використовуючи напрацювання з фізики плазми, розроблено методику для деструкції без утворення пилу та знезараження матеріалів, забруднених радіоактивними та біологічно активними домішками, плазмові технології осадження й травлення; для потреб мікроелектроніки створено універсальний іонізатор для нанесення плівок і захисних покриттів.

Здійснено аналіз радіологічної ситуації в районах діючих АЕС України, сформовано базу даних параметрів радіаційного стану компонентів наземних і водних екосистем у зоні впливу деяких з них. Розроблено програмне забезпечення для статистичного аналізу даних та їх представлення у вигляді карт. Результати радіоекологічних і радіобіологічних досліджень Інституту мають важливе значення для проведення екологічної експертизи під час проектування об'єктів ядерної енергетики та для оцінювання впливу підприємств ядерного промислового комплексу на довкілля.

Медико-біологічні дослідження з терапії онкологічних захворювань нейтронним опроміненням доведено до практичного застосування. Спільно з медичними установами України триває робота з одержання радіофармацевтичних препаратів на ядерно-фізичних установках Інституту.

**Інститут прикладної фізики НАН України** засновано у грудні 1991 р. на базі Сумського відділення Інституту металофізики НАН України. Незмінним директором установи є В.Ю. Сторіжко. За роки існування в Інституті склалися наукові школи з дослідження ядерних реакцій при низьких енергіях та квантової електродинаміки. Загальна кількість співробітників становить понад 210 осіб, з яких — 1 академік і 1 член-кореспондент НАН України, 6 докторів і 38 кандидатів наук.

Головними напрямками наукової діяльності Інституту є дослідження процесів взаємодії іонів та електронів низьких енергій з речовиною; розроблення ядерно-фізичних

методів із субмікронною роздільною здатністю та електростатичних прискорювачів для досліджень складу і структури матеріалу, в тому числі біофізичних об'єктів; створення науково-навчальних приладів.

Найвагоміших фундаментальних результатів досягнуто в галузі фізики вакуумних конденсатів і квантової хромодинаміки, у релятивістській теорії надплинності та фізиці керрівських чорних дірок, що обертаються, розвинено квантово-вихрову теорію релятивістських струменів (джетів) у квазарах, радіогалактиках і активних ядрах галактик. Знайдено закон еволюції енергетики джетів у часі та залежність їх ефективної довжини від середньої густини міжзоряного газу, з яким вони зіштовхуються.

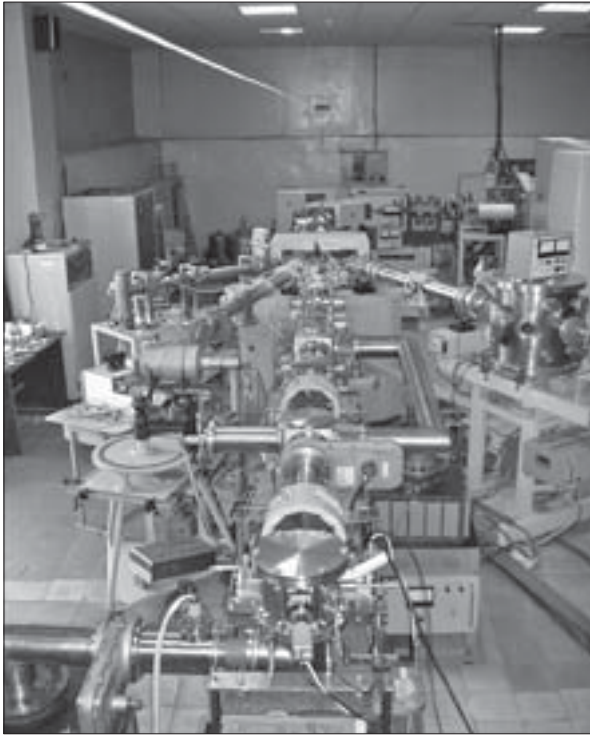
Уперше запропоновано та досліджено імерсійні зондоформуєчі системи з суміщенням процесів прискорення та зондоформування, які відкривають можливість створення компактних установок іонного мікроаналізу МеВ-них енергій широкого призначення.

Розв'язано задачу з вибору оптимальних параметрів ядерних сканувальних мікрозондів на основі введення фізичної величини — густини аксептанса, що являє собою відношення аксептанса зондоформуєчої системи мікрозонда до величини площі плями пучка на мішені за фіксованого значення величини струму пучка.

Уперше створено релятивістську теорію резонансних і когерентних процесів квантової електродинаміки першого і другого порядків у сильних лазерних полях. Передбачено нові фізичні ефекти: пригнічення інтерференції прямої та обмінної амплітуд, інтерференційний когерентний ефект, резонанси, посилення електромагнітного випромінювання та ін. Запропоновано експериментальну перевірку цих ефектів у сильних лазерних полях.

В Інституті здійснено запуск першого в СНД ядерного сканувального мікрозонда у складі аналітичного прискорювального комплексу на базі електростатичного прискорювача з максимальною напругою 2 МВ.

Розроблено геліконові плазмові джерела іонів на постійних кільцевих магнітах для



Ядерний сканувальний мікросонд на базі електростатичного прискорювача

генерації високояскравих іонних пучків з яскравістю пучка (аргону, гелію, водню) на рівні  $100 \text{ A/m}^2 \cdot \text{рад}^2 \cdot \text{eB}$ , що характеризуються утворенням значних концентрацій плазми ( $n \sim 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ) при малому споживанні ВЧ-енергії ( $P < 300 \text{ Вт}$ ) та тиску робочого газу ( $h < 10 \text{ мТорр}$ ).

Розроблено інтенсивне джерело негативних іонів водню зі струмом  $\sim 50 \text{ mA}$  та великим ресурсом роботи, в якому вперше реалізовано новий механізм збільшення щільності струму негативних іонів, пов'язаний зі створенням різниці потенціалів між емісійним електродом та розрядною плазмою в магнітному полі.

Особливу увагу в Інституті приділяють розвитку досліджень у галузі ядерної медицини, зокрема новим високоефективним ядерним методам ранньої діагностики і терапії онкологічних та серцево-судинних захворювань; ядерної криміналістики; нанотехнологій.

ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» створено у 2001 р. на основі реорганізації Державного наукового центру радіогеохімії навколишнього середовища НАН і МНС України. З дня заснування до березня 2013 р. установу очолював Е.В. Соболевич. Чисельність працівників Інституту становить понад 190 чол., серед яких 3 члени-кореспонденти, 8 докторів і 40 кандидатів наук.

В Інституті виконують фундаментальні та прикладні дослідження за такими напрямками: мінерально-сировинна база ядерної енергетики; радіаційна та екологічна безпека; поводження з радіоактивними і токсичними відходами; геохімія довкілля, радіохімія та космохімія. Творчі здобутки вчених Інституту 5 разів відзначалися Державною премією України в галузі науки і техніки.

Інститут є беззаперечним лідером в Україні у вирішенні багатьох питань радіаційної та екологічної безпеки, передусім проблеми поводження з радіоактивними й токсичними відходами, проблем розвитку мінерально-сировинної бази ядерної енергетики, геохімії та космохімії. В установі сформувалися наукові школи космічної мінералогії; геохімії довкілля; урановорудна; металогенічна.

За останні роки в Інституті отримано важливі наукові та науково-практичні результати. Знайдено і вивчено нові типи космічної речовини; розроблено геохімічний метод встановлення взаємозв'язку вод підземних горизонтів за розподілом природних ізотопів вуглецю, водню, кисню, урану; досліджено еволюцію уранового рудоутворення в докембрії Українського щита та обґрунтовано можливість виявлення на території щита багатих і комплексних уранових руд.

Створено єдиний для України, Росії та Білорусі банк даних про наслідки Чорнобильської катастрофи; отримано оцінки екологічних ризиків від наслідків аварії на ЧАЕС та запропоновано стратегічні рішення щодо подальшої їх мінімізації; виявлено ефект біодеструкції опроміненого реакторного графіту; розроблено мінералоподібні композиційні матеріали для іммобілізації та надійної



ізоляції від біосфери найбільш радіотоксичних довгоіснуючих радіонуклідів; встановлено механізми дезактивації техногенних і природних об'єктів, механізми природного самоочищення екосистем, моделі прогнозування радіоекологічної обстановки на забруднених територіях; оцінено потенційну радіоекологічну небезпеку радіоактивних відходів (РАВ), зосереджених у Чорнобильській зоні відчуження, та запропоновано стратегічні рішення щодо мінімізації їх небезпеки; визначено потенційно придатні райони і геологічні утворення для захоронення короткоіснуючих РАВ у приповерхневих сховищах та довгоіснуючих РАВ у глибинних геологічних сховищах.

Розроблено Інтегровану програму поводження з РАВ на етапі припинення експлуатації ЧАЕС і перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему; запропоновано комплексний метод оцінювання та прогнозу радіоекологічної ситуації на забруднених територіях за допомогою інтегрованих геохімічних показників; виділено геохімічні процеси, які контролюють темпи природної дезактивації довкілля, встановлено динаміку еволюції радіаційної обстановки після великих радіаційних аварій; визначено чинники техногенно-екологічної небезпеки та оцінено ризики від їх прояву в зоні Південноукраїнської АЕС; розроблено класифікацію природних і техногенних чинників впливу відходів на довкілля; створено електронні карти поширення сучасних геодинамічних екзогенних процесів на території України.

Запатентовано новий метод динамічного аналізу радіаційних полів для розроблення технічних засобів протидії незаконному обігу ядерних і радіоактивних матеріалів; розроблено серію технічних засобів для моніторингу радіаційного стану складових навколишнього середовища та контролю технологічних процесів виробничих об'єктів ядерно-паливного циклу.

Впроваджено автоматизований комплекс оцінювання внутрішнього опромінення людини «СКРИНЕР»; автоматизовану систему дистанційного радіаційного контролю

забруднених територій «АСПЕК»; портативну  $\gamma$ -спектрометричну робочу станцію радіаційного контролю «Вектор» та відповідні методики вимірювань; аналізатор тритію; прилад для радіометричного аналізу керну свердловин «МАК»; метод одержання біомінеральних сорбентів для очищення вод і стоків від техногенного забруднення.

Підготовлено комплексну програму поводження з РАВ; технічне завдання на створення комплексної системи моніторингу довкілля Південноукраїнського енергокомплексу; проведено екологічну експертизу аварії потягу з фосфором у Львівській обл.; комплексний екологічний моніторинг у зоні Ташлицької ГАЕС за 1998–2008 рр.; екологічні експертизи будівництва Дністровської і Ташлицької ГАЕС.

**Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України** створено в 1990 р. на базі лабораторій ННЦ ХФТІ НАН України. В установі, яку очолює В.Ф. Клепиков, працює 48 чол., серед яких 1 член-кореспондент НАН України, 6 докторів і 16 кандидатів наук. В Інституті проводять дослідження радіаційних і ядерних, нелінійних, нестационарних і стохастичних процесів, забезпечують їх впровадження в ядерній енергетиці та радіаційних технологіях, в ядерній фізиці та електрофізиці.

У рамках фундаментальних досліджень запропоновано синергетичний опис процесів формування радіаційного ефекту в речовині, який взаємоузгоджено враховує основні фактори радіаційних полів та опромінюваних середовищ. Узагальнено методи квантової електродинаміки в умовах нелокальних полів матерії та застосовано їх для розв'язання проблем фізики електромагнітних взаємодій у ядрах, розвинено нелокальний квантово-електродинамічний підхід для дослідження релятивістської структури атомних ядер в електромагнітних процесах з урахуванням точного дотримання вимог квантової теорії калібрувальних полів.

Встановлено точні розв'язки хвильових рівнянь у конформній квантовій теорії поля з довільними, зокрема нецілими, градієнтами,

що описують нетривіальні об'єкти (топологічні солітони, магнітні монополі тощо). Для польових теорій з градієнтами та нелінійностями довільного порядку вперше аналітично здобуто точні умови перенормування і конструктивності пертурбативних методів. Створено теорію фазових перетворень для таких моделей; знайдено спектри частинок у нелінійних теоріях поля в критичній області.

Методом унітарних одягаючих перетворень у релятивістській квантовій теорії поля в моделі нуклонного і нейтрального піонного полів із взаємодією типу Юкави побудовано генератори групи Пуанкаре, перенормовано вершини взаємодії і визначено умови їх регуляризації у вищих порядках за константою зв'язку. Розвинуто обчислювальні методи для електроядерної фізики, квантової електродинаміки та процесів ядерного розсіяння. На основі еволюційних алгоритмів запропоновано новий метод визначення з експериментальних даних числових залежностей характеристик взаємодії мікрооб'єктів, які безпосередньо не вимірюються.

У рамках прикладних досліджень здійснено прямий термоактиваційний аналіз процесу розвитку зеренномежової пористості опромінених матеріалів в умовах структурної та високотемпературної надпластичності. Встановлено, що для сплавів, які виявляють структурну надпластичність у твердому стані, енергія активації надпластичної деформації збігається з енергією активації зеренномежової або об'ємної самодифузії. Одержані результати сприяють впровадженню технологічного оброблення матеріалів із застосуванням ефекту надпластичності.

Встановлено, що методами термографічної дефектометрії можна реєструвати аномальні температурні градієнти, які виникають унаслідок конверсії енергії іонізуючого випромінювання, поглиненої твердим тілом, у механічні напруження, що призводять до утворення мікротріщин. Здійснено аналіз механізмів розвитку тріщиноутворення в конструкційних матеріалах через гальмування частинок і формування теплових піків. Розроблено концепцію термографічної

діагностики зон потенційного дефектоутворення в матеріалах устаткування АЕС на основі застосування активаційного способу кореляційної інфрачервоної радіометрії в комплексі з іншими методами неруйнівного контролю. Розроблено і створено нові джерела випромінювання, унікальні радіаційні технології й обладнання для низки галузей науки, техніки і виробництва.

В Інституті активно розвивають співробітництво з міжнародними організаціями та центрами, зокрема з Об'єднаним інститутом ядерних досліджень.

**Навчально-науковий центр «Фізико-хімічне матеріалознавство» КНУ імені Тараса Шевченка і НАН України** засновано у 1997 р. У липні 2004 р. Центр підпорядковано Відділенню ядерної фізики та енергетики НАН України. Директор установи — В.А. Макара.

Співробітники Центру, серед яких 1 член-кореспондент, 1 доктор і 6 кандидатів наук, проводять дослідження фізико-хімічних властивостей матеріалів, перспективних для використання в ядерній техніці, технологіях мікро- та нанокомпозиційних матеріалів і структур; вивчають механізми впливу фізичних полів та радіаційного опромінення на мультифункціональні наногетеросистеми, що включають біомолекули та біосумісні фази. Установа бере участь у здійсненні ступеневої підготовки фахівців вищої кваліфікації (магістрів і кандидатів наук) у галузі матеріалознавства для промислових підприємств, системи НАН України, ВНЗ України та зарубіжних країн.

Серед найважливіших фундаментальних результатів Центру варто відзначити вивчення явищ, спричинених комбінованою дією слабого радіаційного випромінювання та слабого постійного магнітного поля на прикладі модельних монокристалів кремнію. Встановлено, що радіаційне опромінення може бути використане як інструмент для селективного регулювання магніточутливого стану структурних нанокластерів. Розроблено модельні уявлення, що пояснюють магнітомеханічний ефект у кристалах кремнію. Досліджено особливості впливу НВЧ, елек-

тронного та нейтронного випромінювання на метастабільні композиційні матеріали на основі диборидів титану або гафнію. За допомогою аналізу зміни механічних і структурних характеристик матеріалів під дією опромінення встановлено механізми радіаційно-стимульованих релаксаційних процесів.

У рамках прикладних досліджень розроблено технології синтезу нових високоміцних мікрокомпозиційних керамічних матеріалів на основі боридів гафнію, цирконію, титану з високими радіаційними характеристиками, які уможливають виготовлення надміцних радіаційно- та високотермостійких виробів для використання в ядерній техніці й технологіях, зокрема контейнерів для екологічно безпечного зберігання відпрацьованого ядерного палива.

**ДП «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки» Державної інспекції ядерного регулювання України та НАН України** було створено 1992 р. У грудні 2000 р. підприємство було віднесено до сфери управління Державного комітету ядерного регулювання України. З метою посилення ефективності та подальшого розвитку науково-технічного потенціалу в 2008 р. Центру було надано статус подвійного підпорядкування: Держатомрегулювання та НАН України. У штаті установи та її філій — 235 співробітників, серед яких 2 доктори і 16 кандидатів наук.

Головне завдання Центру — всебічна науково-технічна підтримка державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки в Україні, спрямованого на захист населення й довкілля від радіаційного впливу техногенного походження. Центр бере участь у розвитку нормативно-правової бази з ядерної та радіаційної безпеки; забезпечує науковий, аналітичний та експертний супровід процесів державного регулювання діяльності, пов'язаної з використанням ядерної енергії; проводить оцінку поточного стану безпеки ядерних установок та безпеки використання радіаційних технологій, оцінку ризику від їх використання; розвиває інструментарій для здійснення аналізу безпеки використання ядерної енергії.

Напрями наукових досліджень Центру: теплогідравлічні процеси; імовірнісний аналіз безпеки; нейтронно-фізичні процеси; міцність та конструкційна надійність; надійність систем контролю й управління ядерними установками; поведження з відпрацьованим ядерним паливом та радіоактивними відходами; радіаційний захист; фізичний захист ядерних установок та ядерних матеріалів.

Експертно-аналітичну діяльність установи зосереджено, зокрема, на виконанні технічних оцінок документів щодо підвищення безпеки та модернізації діючих енергоблоків АЕС; подовження терміну їх експлуатації; проектів спорудження нових енергоблоків АЕС, заводу з виробництва ядерного палива, нового дослідницького реактора; впровадження нових типів палива; забезпечення рівня безпеки об'єктів, призначених для поведження з РАВ та ВЯП; фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, РАВ тощо.

У Центрі було здійснено експертизу з ядерної та радіаційної безпеки таких важливих проектів, як добудова енергоблоків № 2 Хмельницької АЕС та № 4 Рівненської АЕС, їх модернізація після введення в експлуатацію в 2004 р.; спорудження сухого сховища ВЯП на майданчику Запорізької АЕС; створення комплексів з перероблення РАВ і сховища для захоронення низько- та середньоактивних РАВ у зоні відчуження; виконання плану здійснення заходів на об'єкті «Укриття»; реалізація заходів, передбачених Концепцією підвищення безпеки діючих енергоблоків атомних електростанцій та Зведеною програмою підвищення безпеки енергоблоків АЕС України; проект кваліфікації ядерного палива виробництва компанії Westinghouse; впровадження ядерного палива російського виробництва типу ТВСА на українських енергоблоках з реакторами ВВЕР-1000.

З часу заснування Центру його фахівці брали участь у розробленні понад 150 нормативних, рекомендаційних та методичних документів, що набули чинності й стосуються регулювання всіх видів діяльності у сфері використання ядерної енергії.