



КОРДЮК

Олександр Анатолійович — академік НАН України, директор Державної наукової установи «Київський академічний університет» НАН України та МОН України

ВЕЛИКІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ ПЕРЕДОВИХ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Шановний Анатолію Глібовичу!

Шановні колеги!

Насамперед хотів би підтримати звітну доповідь президента НАН України, особливо в тих її аспектах, які стосуються залучення молоді до наукової діяльності, міжнародної співпраці та розвитку наукової експериментальної інфраструктури.

Саме ці напрями є головними в діяльності Київського академічного університету (КАУ), оскільки мета його існування — залучення талановитої молоді до науки, а засіб її досягнення — наш основний принцип: навчання через дослідження. І щоб ці дослідження справді могли мотивувати молодих людей присвятити своє життя науці, вони мають бути цікавими, а отже, передовими. А це можливо лише за наявності якісної сучасної експериментальної інфраструктури та широкої міжнародної співпраці.

Розуміючи, що без наявності і взаємодії цих трьох складових — мотивовані студенти, міжнародне співробітництво й експериментальна інфраструктура, передові дослідження в університеті розвиватися не можуть, у 2018 р. ми спільно з німецьким науковим центром IFW Dresden (Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstofforschung Dresden) започаткували проєкт «Топологічний порядок електронів у твердих тілах: нові матеріали, явища та концепції застосування» (UKRATOR), профінансований Федеральним міністерством освіти і наукових досліджень (BMBF) Німеччини. Цей проєкт, розрахований на чотири роки, мав на меті створення віртуального українсько-німецького центру досліджень як прикладу організації взаємовигідного наукового співробітництва. Основним механізмом реалізації проєкту стала система наукових стажувань: більш як 20 наших студентів та аспірантів отримали цінний досвід роботи в ідеально оснащених німецьких лабораторіях, а ми — досвід перетворення «відтоку мізків» на їх циркуляцію. Також у рамках цього проєкту КАУ було передано унікальне для України дослідницьке обладнання.

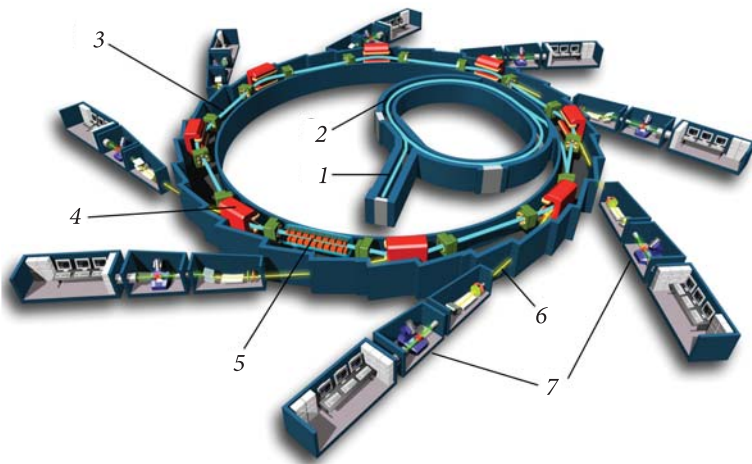


Рис. 1. Загальна схема синхротрона. Лінійний (1) та круговий (2) синхронний «бустер», що, власне, і є «синхротроном», розганяють електрони (блакитний пучок на рисунку) майже до швидкості світла. Потім вони «інжектуються» до основного «зберігального» кільця (3). Електрони прискорюються електричними полями на прямих ділянках, але коли траєкторія електронів викривлюється поворотними магнітами (4) чи в ондуляторах (5), вони випромінюють фотони. Це і є синхротронне випромінювання (6), показане на рисунку жовтим, яке монохроматизують і фокусують на досліджувані зразки у відповідних наукових приладах (7) для проведення експериментів

Ідейним продовженням UKRATOR став проєкт зі створення в КАУ вже реального Німецько-українського центру передового досвіду для пошуку нових квантових матеріалів — GU-QuMat (German-Ukrainian Center for Quantum Materials), один із чотирьох проєктів, що отримав фінансування за програмою BMBF «Cores of Excellence in Ukraine» (Центри досконалості в Україні).

Важливою складовою обох цих проєктів є підтримка розвитку як локальної дослідницької інфраструктури, так і інтеграції наших учених до європейського дослідницького простору. І для нас це насамперед — синхротрони.

Київський академічний університет тісно пов'язаний з Інститутом металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України. Тут розміщуються наш центральний офіс, одна з перших наших кафедр та наукові лабораторії, тому і наші наукові тематики тісно пов'язані. Нагадаю, що ще наприкінці 1990-х років була ідея побудувати в Інституті металофізики синхротрон, однак цей проєкт, на жаль, так і не вдалося реалізувати.

У 2022 р., після початку широкомасштабної воєнної агресії РФ, до Академії звернулися європейські колеги, зокрема Леонід Рівкін, заступник директора Інституту Пауля Шеррера (PSI) у Швейцарії і тодішній президент Ліги європейських джерел фотонів на основі прискорювачів (League of European Accelerator-based

Photon Sources — LEAPS). Вони запропонували повернутися до задуму спорудження синхротрона в Україні.

Для нефахівців поясню, що синхротрони — це прискорювачі релятивістських заряджених частинок. Ці установки являють собою кільцеву вакуумну камеру, в якій частинки розганяють практично до швидкості світла ($0,999999995\ c$), а потужне світло, що вони випромінюють, використовують для наукових досліджень.

Геометрія синхротрона певною мірою подібна до колайдера — мабуть, усі чули про Великий адронний колайдер у ЦЕРНі. І хоча в обох випадках ідеться про фізику високих енергій, ці установки мають різні цілі та завдання. У колайдері дві групи частинок рухаються в кільцях назустріч одна одній і зіштовхуються, породжуючи нові частинки, а в синхротроні електрони циркулюють уздовж замкнутої кільцевої траєкторії та випромінюють фотони. Для кругових прискорювачів це синхротронне випромінювання є паразитним. Однак десь у середині 1960-х років американські дослідники зрозуміли, що таке випромінювання, здебільшого рентгеновське, в мільйони разів потужніше, ніж у рентгеновському кабінеті, можна фокусувати і використовувати для досліджень (рис. 1).

Сьогодні спектр наукового використання синхротронного випромінювання надзви-



Рис. 2. Синхротрон SLS у Швейцарії



Рис. 3. Синхротрон Elettra в Італії

чайно широкий — це не лише фізичні, хімічні, матеріалознавчі, геологічні дослідження структури речовини, а й важливі способи вивчення біологічних об'єктів, медичні методики діагностики та лікування різних захворювань і навіть зручні методи досліджень археологічних артефактів та давніх предметів мистецтва. І надзвичайно важливо, що синхротрони є потужними міждисциплінарними науковими центрами.

Синхротрони бувають різних розмірів — від 100 м до 2 км по периметру. Загалом на сьогодні у світі налічується понад 60 синхротронів, 19 з яких розташовані в Європі. Найбільш знайомі мені — це SLS (Swiss Light Source) в Інституті Пауля Шеррера у Швейцарії (рис. 2), Elettra в Італії у передмісті Трієста (рис. 3), Diamond Light Source, побудований на території Національної лабораторії Резерфорда — Еплтона у містечку Дідкот у графстві Оксфордшир



Рис. 4. Синхротрон Diamond Light Source у Великій Британії



Рис. 5. Синхротрон BESSY в Німеччині

(Велика Британія) (рис. 4), німецький синхротрон BESSY, розташований в одному з районів Берліна (рис. 5) — Адлерсхофі. До речі, саме науково-технологічний парк «Адлерсхоф» став взірцем для побудови нашого проекту Academ.City в Академмістечку в Києві.

Важливість X-променів для науки можна продемонструвати тим, що понад 25 Нобелівських премій у галузі фізики, хімії та медицини було присуджено за дослідження, в яких рентгенівські методи відігравали ключову роль. Починаючи від відкриття самої природи рентгенівського випромінювання, дифракції на кристалах і до визначення структури білків та ДНК — ці методи стали основою сучасної науки про матеріали та біомолекули.

На сьогодні провідні рентгенівські дослідження виконують на синхротронних джерелах, які забезпечують надзвичайно яскраве, когерентне та енергетично точне випромінювання.



Рис. 6. Синхротрон SOLARIS у Польщі

Отже, синхротронні установки стали критично важливою інфраструктурою для фундаментальної та прикладної науки.

Найбільш поширеними методами досліджень на синхротронному випромінюванні є рентгенівська дифракція і фотоemisія. Рентгенівська дифракція — це метод, який дозволяє вивчати атомарну структуру речовин, розшифровувати складні структури макромолекулярних комплексів і білкових кристалів. За допомогою синхротронного випромінювання вже встановлено більш як 100 тис. макромолекулярних структур, зокрема й протеїнів.

Фотоemisійний метод для дослідження електронної структури речовини відомий досить давно. Він дозволяє вивчати нові матеріали, зокрема й квантові, аналізуючи їхні спінові та магнітні стани. Однак однією з основних переваг синхротрона в цьому методі є можливість змінювати енергії фотонів.

Наведу лише кілька прикладів використання синхротронів. Сьогодні жодна компанія, яка виробляє матеріали для літій-іонних акумуляторів, не може обійтися без синхротронних досліджень. Їм потрібно відстежувати фазові зміни та реакції електродів під час циклу заряджання-розряджання, що є вирішальним фактором для підвищення продуктивності акумуляторів. Або що стосується перовскітних сонячних елементів — синхротронне розсіювання рентгенівських променів дає змогу вивчати кристалічну структуру та шляхи деградації в

гібридних перовскітах, прискорюючи прогрес у галузі фотоелектричних елементів наступного покоління. Синхротронні експерименти розширили також наше розуміння механізмів високотемпературної надпровідності, дали змогу з'ясувати такі особливості, як псевдощілина та спін-зарядове впорядкування, уточнити теорії про механізми спарювання.

Власне, можна сказати, що синхротрони — це універсальна експериментальна інфраструктура. У промисловості синхротронні дослідження забезпечують контроль якості продукції та оптимізацію виробничих процесів; аграрії з їх допомогою визначають схожість зерна; мистецтвознавці, вивчаючи шедеври живопису, можуть побачити попередні зображення на полотні, приховані під шаром фарби; палеонтологи мають змогу зазирнути всередину скам'янілих решток, не руйнуючи їх; археологи можуть прочитати, що написано на папірусі, навіть не розгортаючи його.

Однак повернімося до ідеї побудови синхротрона в Україні. Як я вже сказав, ініціативу наших швейцарських партнерів підтримала Ліга європейських джерел фотонів на основі прискорювачів. Польські колеги погодилися координувати цей процес і запропонували створити спочатку, як перший крок, українську експериментальну лінію синхротронного випромінювання на їхньому синхротроні SOLARIS (рис. 6), розташованому в Кракові.

Це слушна думка, оскільки будівництво нового синхротрона коштуватиме орієнтовно 400 млн євро і триватиме 5—10 років, а лінія значно дешевша — десь 5—6 млн євро і перше «світло» на ній планують отримати вже у 2026 р., в крайньому разі в 2027 р. Швейцарські колеги з PSI вже зробили свій внесок — передали для української лінії ключовий її елемент — ондулятор, вартість якого становить приблизно 1,5 млн євро, та знайшли ще близько 1 млн євро на його інсталяцію. І коли ми побудуємо в Україні власний синхротрон (а я впевнений, що це реально), лінію можна буде перенести до нас.

В Європі діє організація ESUO, яка об'єднує користувачів синхротронів та лазерів на віль-

них електронах з 32 країн. Ми створили Українське синхротронне та нейтронне товариство, (УСиНТ), яке і стало 32-м членом ESUO.

Так для чого ж Україні потрібен власний синхротрон? Для розвитку науки, освіти, медицини, зміцнення обороноздатності, відновлення інфраструктури, поглиблення міжнародної співпраці та глобального партнерства, залу-

чення молоді до наукових досліджень, повернення науковців в Україну, а також для сприяння економічному й регіональному розвитку.

Отже, синхротрон — це інструмент, який одночасно зміцнює оборону, сприяє відновленню, розвиває економіку і підвищує міжнародний статус країни. І він нам дуже потрібен.

Дякую за увагу!

Alexander A. Kordyuk

Kyiv Academic University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6737-9172>

LARGE EXPERIMENTAL INFRASTRUCTURES FOR ADVANCED SCIENTIFIC RESEARCH

Speech at the session of the General Meeting of the National Academy of Sciences of Ukraine, April 30, 2025

Cite this article: Kordyuk A.A. Large experimental infrastructures for advanced scientific research (speech at the session of the General Meeting of the National Academy of Sciences of Ukraine, April 30, 2025). *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2025. (6): 63—67. <https://doi.org/10.15407/visn2025.06.063>