



ЛОКТЄВ

Вадим Михайлович — академік НАН України, академік-секретар Відділення фізики і астрономії НАН України

ФІЗИКА І АСТРОНОМІЯ В НАН УКРАЇНИ: МІЖ МИНУЛИМ І МАЙБУТНІМ

У статті наведено стислий аналіз діяльності установ Відділення фізики і астрономії НАН України в контексті світових тенденцій розвитку відповідних наукових напрямів за кілька останніх десятиліть. Висловлено окремі думки на найближчу перспективу щодо виокремлення і розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень у галузі фізики і астрономії.

У статті, опублікованій нещодавно у журналі «Вісник НАН України» [1] і присвяченій 100-річному ювілею Національної академії наук України, було порушено непросту тему, пов'язану з історією започаткування і розвитку фізичних досліджень в Академії та становлення Відділення фізики і астрономії (ВФА). Проте висвітлити в ній сучасний стан фізичної і астрономічної науки у світі та місце в ній українських дослідників через обмежений обсяг публікації, звісно, не вдалося, а це, на мій погляд, надзвичайно важливий аспект. Тому, в міру сил і можливостей пересічного науковця, спробую коротко проаналізувати діяльність установ ВФА в контексті світових тенденцій останніх десятиліть і окреслити ймовірну, на мій погляд, найближчу перспективу розвитку фізики і астрономії на початку другого століття існування Академії, сподіваючись, що цей період все ж стане періодом розвитку, а не роками споминів про славне минуле...

Ювілей і фактично, і ментально розділив життя Академії на минуле, яке уособлює століття, що завершилося, і майбутнє — початок нового століття. Однак самий цей епохальний рубіж — лише миттєвість у неперервному плині часу. Якою б радісною чи сумною (хто як бачить) не була ця подія, її неможливо обійти увагою саме з точки зору її проєкції на суспільний розвиток, оскільки наука — це чи не найголовніше джерело і одночасно двигун цивілізаційного поступу людства. Зрозуміло, що я можу більш-менш професійно говорити лише про одну галузь науки, освячену славетними іменами наших фізиків і астрономів, зокрема таких відомих у всьому світі велетнів, як

М.М. Боголюбов, С.Я. Брауде, І.М. Ліфшиць, Л.В. Шубніков, та багатьох інших, хто поповнив скарбницю знань людства.

Очевидно, що зробити глибокий і розгорнутий аналіз стану справ у тій чи іншій науці надзвичайно складно, оскільки знання безперервно поповнюються, і будь-який науковий напрям швидко стає майже неосяжним. Крім того, я просто фізично не можу знати про все, що зараз робиться у світі фізики. Тому говоритиму лише про ті наукові проблеми, які досліджуються у нашому Відділенні, але в контексті світових тенденцій, і спробую назвати лише найголовніші напрями розвитку фізики і астрофізики. Характеризуючи їх у міру свого розуміння, я намагатимуся коментувати, що зроблено в цій сфері в Академії, називаючи, через обмежений обсяг статті, лише установи, а не конкретних виконавців.

* * *

Оскільки читацька аудиторія «Вісника» доволі різномірна за фахом, я намагатимуся дотримуватися такого рівня викладу, який, сподіваюся, буде зрозумілим і дозволить мені як автору не розгубити увагу читачів. Тому почну з деяких загальних понять, так би мовити, азів, які всім більш-менш відомі, але так буде легше вибудовувати послідовність змісту.

Нагадаю, що грецьке слово *physis* у буквальному перекладі означає «природа», а отже, *фізика* як «жива» наука є фактично постійно зростаючою *сумою знань* про природу, або про живий і неживий світ, який нас оточує. При цьому слід підкреслити, що фізика, будучи у своїй першооснові наукою насамперед фундаментальною, завжди була і залишається націленою на розкриття найбільш загальних властивостей матеріального світу, виходячи з необхідності вивчати його (для забезпечення якомога більшої повноти і глибини пізнання) через найелементарніші явища¹ зі встанов-

¹ Варто наперед застерегти, що методи дослідження того чи іншого складеного об'єкта через його поділ на більш спрощені, тобто елементарні структури, чудово зарекомендували себе при вивченні неживої природи. Проте вони можуть не спрацювати в

ленням по можливості всіх причинно-наслідкових зв'язків між ними.

За приблизно 300 років свого формування фізика, досліджуючи закономірності, притаманні Всесвіту в його незбагненному розмаїтті, поступово перетворилася на головну природничу дисципліну. І тепер немає сумнівів, що основні фізичні закони становлять концептуально-світоглядний фундамент відомостей про існуючу дійсність.

Усе це правильно — фізика та її інструментарій надзвичайно потужні, а здобуті знання роблять нас сильнішими, тому, здавалося б, будь-хто мав би прагнути їх збільшувати наскільки це можливо. Втім, насправді це не так, що можна пояснити низкою суб'єктивних причин. Однак, на мою думку, є й об'єктивна причина, яка полягає в тому, що в процесі свого розвитку фізика стала надзвичайно складною і набула двох суттєвих «вад». Хоча слово «вада» я беру в лапки, слід зазначити, що ці сумні, але неминучі ознаки спостерігаються не лише у фізиці, а й у деяких інших природничих науках і зумовлюють наявне сьогодні непорозуміння між ученими та суспільством².

Річ у тім, що сучасна фізика з її доволі абстрактним математичним апаратом і передовими експериментальними засобами втратила будь-яку безпосередню наочність, і зрозуміти її пересічній людині стало практично неможливо. Ну як донести до неспеціаліста, далекого від переднього фронту фізичної науки, такі уявлення, як кривий простір, суперсиметрія, конфайнмент? Як пояснити можливість поєднання в одному об'єкті хвильових і корпускулярних проявів, причини виникнення гравітаційних коливань, явища надпровідності, народження та зникнення квантових станів, а

разі звертання до природи живої, коли наслідком якогось наступного дроблення може стати втрата життєвої сутності.

² Крім того, переважна більшість людей свідомо чи ні хочуть від науки одного — відчутної і часто-густо негайної «товарної» корисності, чого наука, передусім її фундаментальна складова, не може не тільки забезпечити, а й навіть обіцяти, тоді як «чиста» наука як «виробник» одних лише *знань* нікого, на жаль, посправжньому не хвилює.

також їх можливість бути невизначеними через так звані суперпозиції, тобто існування тієї чи іншої системи в різних, іноді взаємовиключних, іпостасях (наприклад, відомий «учасник» уявного експерименту, шредингерівський кіт, одночасно перебуває у двох станах — живому і мертвому)? Проте все це вже усталені та звичні поняття для будь-якого фахівця фізичного профілю.

Втрата наочності пов'язана не лише з понятійним збагаченням фізики, а й з тим, що її розвиток урешті-решт привів до необхідності вивчення таких просторових і часових проміжків, на яких людина без спеціальних приладів, а головне, без фахової підготовки не спроможна бодай щось сприйняти, а тому й не може зацікавитися. На мій погляд, це дуже серйозна проблема, вирішити яку до кінця не допоможе навіть популяризація науки, яка, тим не менш, залишається вкрай потрібною для ознайомлення суспільства з досягненнями наукового прогресу і, як зазначено в Статуті НАН України, є одним із головних завдань академічної спільноти. Отже, надалі я намагатимуся дотримуватися досить спрощеного викладу і не зловживати спеціальною термінологією.

Фізика — надзвичайно розгалужена наука з численними галузями і напрямками, які перетинаються як між собою, так і з багатьма іншими науками. Один із поділів фізики, який досить легко сприймається навіть нефхівцями, ґрунтується на суто просторово-часових міркуваннях. За такого підходу все суще, що підлягає вивченню, може бути умовно віднесено до одного з трьох доволі великих і відносно незалежних «світів»: мікросвіту, макросвіту і мегасвіту. Перший вивчає мікрофізика, другий — макрофізика, а третій — астрофізика і космологія.

Звичайно, чітких границь ці світи не мають, проте вважається, що *мікросвіт* — це світ невидимих оком об'єктів, які мають розміри менші за мікромметр. Усі вони, незалежно від часу існування, описуються виключно законами квантової механіки і квантової електродинаміки, характеризуються дискретністю і невизначеністю.

Макросвіт — це світ предметів, що нас оточують, а також явищ довкола нас. Розміри об'єктів у ньому можуть коливатися від міліметрів до космічних відстаней порядку, наприклад, Сонячної системи чи навіть галактики, а часи можуть сягати від мілісекунд до, скажімо, десятків і сотень років. Більшість явищ макросвіту вкладаються у класичну фізику — переважно механіку разом з електродинамікою і термодинамікою.

Мегасвіт — це об'єкти з розмірами, що вимірюються світловими роками, або відстанями, які світло проходить за рік, а часи — мільйонами, мільярдами років і більше. Макросвіт описується головним чином законами спеціальної або загальної теорії відносності, але для адекватності картини, як це не дивно, часто постає потреба у застосуванні також квантових законів та уявлень.

Класичну фізику було створено протягом XVII–XIX ст., і я на ній зупинятися не буду, а сконцентруюся на напрямках, які виникли впродовж XX — на початку XXI ст.

1) *Фізика елементарних частинок* (тепер — *фізика високих енергій*) вивчає фундаментальну будову матерії, або мікросвіт. В її основі лежить так звана *Стандартна модель* (СМ), яка поєднує всі основні взаємодії, крім гравітаційної. За попередні 25–30 років передбачення цієї моделі багаторазово були перевірені експериментально, і жодного серйозного відхилення зафіксовано не було. Найвідоміший успіх СМ — відносно недавнє відкриття передбаченого ще півстоліття тому бозона Гігса на Великому адронному колайдері (ВАН), який є чи не найскладнішою інженерною спорудою у світі.

Я не фахівець у фізиці елементарних частинок і можу помилятися, але, на мою думку, після цього грандіозного підтвердження теорії щодо існування бозона Гігса епоха гарантованих відкриттів завершилася. Проте стриманий оптимізм щодо *Нової фізики*, яку не містить СМ, спирається на той самий ВАН, потенціал якого насправді величезний, але попереду у науковців уточнення вимірювань, підвищення чутливості приладів для спостережень нових

частинок або таких процесів за їх участю, які не вписуються в рамки СМ. Поки що нічого такого не виявлено, але принципово певні явища можливі, оскільки нічим не заборонені. Зокрема, це стосується так званої *суперсиметрії*, або симетрії між двома абсолютно різними сімействами частинок — бозонами і ферміонами, кожна з яких повинна мати так званого суперпартнера. Гадаю, варто наголосити, що ідея про таку (ймовірну) властивість частинок зародилася в Україні, і тепер пошук суперпартнерів є чи не основною метою фізики високих енергій, зокрема експериментів, які плануються на ВАК.

Крім того, є багато й інших питань, які не інтерпретуються СМ, а отже, ця модель потребує узагальнення та розширення з подальшою перевіркою за ще більших енергій. І навіть з огляду на те, що ВАК далеко ще не вичерпав своїх можливостей, усе більше дискусій точиться навколо пропозицій будівництва нових прискорювачів, для чого потрібні свіжі неординарні ідеї і припущення. Експериментатори чекають на них, оскільки неперервно продовжується інтенсивна робота теоретиків зі створення нових моделей та доведення до спостережних чисел опису величезного обсягу отриманих даних щодо різних процесів, які спостерігаються у різних і широких інтервалах енергій за участю колосальної кількості елементарних частинок.

У ВФА цю галузь фізики впродовж останніх 10–15 років представлено дослідженнями за напрямом «Фундаментальні взаємодії та мікроскопічна будова речовини», в якому ми здобули загально визнані успіхи. Найважливіші результати отримано в Інституті теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова та Фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б.І. Веркіна. Вони пов'язані з суттєвим внеском у розвиток ідеї щодо *спонтанного порушення симетрії*, яка є базовою для СМ. Зокрема, було запропоновано і обґрунтовано механізм динамічного порушення симетрії, який породжується магнітним полем. Це так званий *магнітний каталіз*, коли магнітне поле, попри як завгодно малу взаємодію між час-

тинками, ініціює перебудову основного стану багаточастинкових або польових систем, тобто відіграє роль каталізатора змін. Зараз уявлення про магнітний каталіз стало настільки широко вживаним, що ним користуються навіть при описі явищ і ефектів, далеких від фізики частинок.

Співробітники Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова дуже тісно співпрацюють з експериментаторами ВАК, беруть участь у низці міжнародних колаборацій. Завдяки цьому вони мають змогу першими дізнаватися про найсвіжіші вимірювальні дані, що дозволяє їм отримувати пріоритетні результати. Так, один із таких результатів стосується розрахунку деяких властивостей сильно взаємодіючої речовини, так званої *кварк-глюонної плазми*, яка утворюється на найменших часових проміжках після зіткнення важких іонів. В іншому спільному дослідженні було наведено нетривіальні аргументи на користь народження нової частинки — *оддерона*, яка забезпечує скінченну і донедавна незрозумілу експериментально спостережувану різницю між перерізами високоенергетичних протон-протонного і протон-антипротонного розсіань. У фаховій спільноті ця робота вже здобула схвальні відгуки.

Загалом слід зазначити, що розвиток теорії на цій ділянці фізики і результати, отримані в установах ВФА, справляють непогане враження і свідчать про те, що нам вдається утримуватися на передньому рубежі поточних досліджень у цій галузі. Говорити ж про наші експериментальні роботи у фізиці високих енергій немає сенсу, оскільки таких досліджень просто немає.

2) Наступним пріоритетним світовим напрямом є *фізика ядра*, розвиток якої припадає приблизно на середину і другу половину минулого століття. Її найбільші досягнення добре відомі. Це встановлення протон-нейтронної структури ядра, з'ясування причин і наслідків ядерних реакцій, передусім ланцюгових, на основі чого було сконструйовано та побудовано потужні енергетичні установки різного призначення, зокрема атомні станції, без яких прогрес людства був би неможливим.

Крім того, було створено ядерну і термоядерну зброю масового знищення, без якої, на думку багатьох експертів, було б неможливим мирне співіснування народів.

Останніми десятиліттями ядерна фізика повернулася обличчям до наших повсякденних потреб, її досягнення було впроваджено в медицину і діагностику, застосовано для відновлення технічних параметрів робочих елементів різних машин і механізмів, виробництва двигунів різного призначення, дослідження фізичних і хімічних структур тощо.

В Академії ядерна фізика спочатку розвивалася у ВФА, де було отримано вагомні результати (також теоретичні), але згодом у НАН України створили профільне Відділення ядерної фізики та енергетики, тому відповідних робіт я зі зрозумілих причин не торкатимуся.

3) *Астрофізика* як окрема наука визріла з дуже давньої і однієї з найперших спостережних наук — астрономії. Поєднуючи методи фізики високих енергій і фізики ядра, астрофізика вивчає питання, пов'язані з умовами існування, властивостями та розвитком різних об'єктів Всесвіту — галактик, зір, планет, зокрема займається пошуком екзопланет, тобто таких планет, на яких можливе життя, подібне до земного. Що стосується еволюції Всесвіту як єдиного організму, в якому народжуються і вмирають не лише зорі, а й галактики, зіштовхуються чи колапсують чорні діри, поширюються передбачені А. Ейнштейном і зафіксовані два роки тому гравітаційні хвилі, то ці питання належать до сфери *космології*.

На сьогодні обидві ці галузі фізичної науки є, мабуть, найменш вивченими, оскільки нерозкритих таємниць мегасвіту ще ціла купа. Наприклад, ми не знаємо, яку структуру має матерія за величезної густини речовини, яка спостерігається, скажімо, в нейтронних зорях або у чорних дірах. Невідома нам природа квазарів та їх випромінювання, в тому числі радіохвильового, а також походження різниці мас нейтрино, яка зумовлює їх осциляції, тобто перетворення одного типу нейтрино на інший. Ще мають бути встановлені причини Великого вибуху, або миттєвого народження

Всесвіту³ в певний момент часу, фактори, які зумовлюють його прискорене розширення. Ми ще маємо з'ясувати, що таке темна енергія і темна матерія.

Встановлення обставин, що спричинили Великий вибух, є однією з головних загадок сучасної фізики. Тому не можемо не нагадати, що найвірогідніша на сьогодні гіпотеза щодо Великого вибуху також має українське «громадянство». Саме у Харкові свого часу вперше було зроблено дуже глибоке припущення, що цей вибух є *гравітаційною нестійкістю* фізичного вакууму, спонтанно породженою квантовою флуктуацією метрики простору-часу. Наразі вивчення цих питань є найімовірнішим джерелом нової інформації, на яку очікують усі фахівці. Методи вимірювань, які тут використовуються, дуже різнопланові (з поверхні Землі, з космічних апаратів) і пов'язані з відстеженням усього доступного простору та об'єктів у ньому в різних діапазонах електромагнітного випромінювання — радіохвильовому, інфрачервоному, оптичному, ультрафіолетовому, рентгенівському, гамма-діапазоні. Ці методи дають дослідникам змістовну інформацію щодо властивостей і еволюції Всесвіту, а тепер до них додалися ще й гравітаційні хвилі, на які покладають певні надії, сподіваючись, що вони дозволять нам більше дізнатися про Всесвіт на будь-яких відстанях і часах його існування.

У ВФА відповідний напрям «Астрофізика, астрономія і радіоастрономія» представлено кількома установами, серед яких, якщо говорити про експеримент, провідними є Головна астрономічна обсерваторія та Радіоастрономічний інститут. Їхні експериментальні методи включають радіо- і оптичний діапазони, і за цим напрямом ми маємо першорядні досягнення. Зокрема, співробітники Головної

³ Якщо бути точним, то нинішні теоретичні уявлення певною мірою розрізняють поняття мегасвіту і Всесвіту. До першого належить увесь взагалі можливий і нічим (навіть нашою фантазією) не обмежений простір, а от всесвітів, як припускають, може бути скільки завгодно, і всі вони мають межі. В одному такому Всесвіті й існує наша галактика, а в ній — Сонячна система з планетою Земля.



Рис. 1. Відкрита карликова галактика з найнижчим вмістом елементів, важчих за Ne, і типова спіральна галактика. Насправді ці галактики дуже далекі одна від одної, і їх показано разом лише для порівняння розмірів

астрономічної обсерваторії, здобувши через міжнародний конкурсний відбір заявок можливість працювати на найсучасніших телескопах, відкрили й дослідили так звані *карликові галактики*. Вважають, що вони є аналогами первинних галактик, які існували в ранньому Всесвіті через усього 400 млн років після його появи. При цьому нашим ученим вдалося спостерігати наймолодшу з відомих галактик, яка містить найменше елементів, важчих за гелій (рис. 1).

Певні досягнення має також Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова в теоретичному вивченні проявів темної матерії, до яких належать лінії галактичного світіння у рентгенівському діапазоні, що відповідає процесам розпаду темної матерії.

Окремо слід зупинитися на дослідженнях Сонця. Це важливо, оскільки сонячне випромінювання безпосередньо і через космічну погоду істотно впливає майже на всі процеси на Землі. Приємно зазначити, що частину досліджень сонячної активності та моніторинг зовнішніх шарів його поверхні здійснюють на модернізованому телескопі Головної астрономічної обсерваторії, який якнайкраще пристосований для такого типу завдань. Для підсилення цих важливих астрономічних спостережень було б

бажано забезпечити подальше вдосконалення наявної апаратури, а може, й будівництво нового телескопа. У цьому ж ключі розвиваються й дослідження іоносфери Землі на потужному радарі Інституту іоносфери НАН України і МОН України, за допомогою якого вдалося незалежним чином підтвердити переважно водневий склад геокорони, що вкрай важливо для супутникової навігації (зокрема, військового призначення), прогнозів погоди тощо.

Слід також відзначити здобутки вітчизняної радіоастрономії, яка завдяки потужній харківській радіофізичній школі посідає одне з найпомітніших місць на світовому радіоастрономічному небосхилі. Наші радіотелескопи, насамперед найбільший у світі УТР-2 (рис. 2), якому поки що вдається утримувати пальму першості за своїми розмірами, дали змогу відкрити радіовипромінювання космічних атомів водню і вуглецю зі станів з головним квантовим числом ≥ 1000 . Якби вони знаходилися на Землі, їх можна було б розгледіти неозброєним оком! На базі цього телескопа створено унікальний інструмент декаметрового діапазону ГУРТ, рекордна чутливість якого зумовила відкриття втричі більшої кількості пульсарів, ніж їх було відомо до цього. Тепер ГУРТ є невід'ємною ланкою радіоастрономічної мережі Європи. Серед відкритих на ньому несподіваних явищ згадаю фіксацію блискавок на Сатурні, що значно збагатило наші знання про цю планету Сонячної системи.

Не побоюся сказати, що радіоастрономія є однією з візитівок нашої Академії у світі, і цим, безумовно, можна пишатися. Втім, дуже прикро, що ці досягнення спираються не стільки на матеріальну підтримку, яка є вкрай недостатньою, скільки на ентузіазм і високий професіоналізм колективу Радіоастрономічного інституту, які не можна експлуатувати вічно...

4) *Оптика і квантова електроніка* зросли на ґрунті класичної оптики, доповненої геніальним передбаченням А. Ейнштейна про вимушене, або стимульоване, випромінювання, що принципово розширило її можливості. Ця галузь фактично нескінченна, а її практичні за-

стосування настільки різноманітні, що спроба проаналізувати весь їх спектр була б безнадійною затією. Нагадаю лише, що широко визнані досягнення сучасної оптики (у найзагальнішому розумінні — науки про світло, його випромінювання та взаємодію з речовиною) пов'язані зі створенням надчутливих приймальних систем і відкриттям когерентного (скорельованого за фазами окремих хвиль) випромінювання та його джерел — *лазерів*. Це уможливило спостереження об'єктів, які до того вважали неспостережуваними; визначення спектрів усіх відомих атомів і молекул, що було покладено в основу створення високочутливих датчиків розпізнавання хімічного складу речовин; розроблення та широке використання дуже продуктивних і швидких засобів запису і зчитування інформації, а також заміни плоских фотозображень об'ємними у вигляді голограм. Серед безлічі застосувань лазерів і лазерних технологій назву, лише для прикладу, оптичне матеріалознавство, тобто створення середовищ із заданими властивостями, необхідними для роботи надпотужних лазерів. Одним із найперспективніших напрямів використання таких лазерів є спроби ініціювати за їх допомогою термоядерний синтез, а це потребує збільшення робочих частот світіння до діапазону ультрафіолетових хвиль. Варто також згадати лазери медичного призначення.

У ВФА дослідження за напрямом «Оптика і лазерна фізика» ведуться в багатьох установах, але провідною можна вважати Інститут фізики, який у січні 2019 р. відзначає 90-річчя від часу свого заснування. Найголовніші наші досягнення стосуються саме лазерів і оптики. Обсягу журнальної публікації не вистачить, навіть щоб просто перелічити результати, отримані в цій галузі, тому обмежуся лише констатацією того факту, що за деякими розділами цієї науки ми стоїмо на досить пристойних позиціях у світі. Так, Інституту фізики належить пріоритет у створенні нового напрямку — *сингулярної оптики*, яка, на відміну від звичайної оптики, оперує оптичними хвилями, що мають неоднорідний (наприклад, вихровий) фронт, і вивчає їхні властивості та особливості поширення.



Рис. 2. Панорама радіотелескопа УТР-2, ефективна площа якого становить 150 000 м²

Інший пріоритетний результат — експериментальне здійснення інтерференції та голографічного запису зображень з використанням фемтосекундних (частота 10^{15} Гц) імпульсів різного кольору. За допомогою таких імпульсів в Інституті фізики вивчають абсолютно нові, зокрема нестационарні, явища на поверхнях твердих середовищ, що стало приводом для виокремлення цього розділу оптики, який назвали *фемтооптикою*. Фемтооптика ставить цікаві фундаментальні завдання і водночас має неабиякі прикладні перспективи, такі як створення мікролінз (рис. 3) та мікродзеркал, а також розроблення пристроїв для оптоелектроніки.

Варто також згадати і так звані *метаматеріали* (хоча ажіотажний інтерес до них трохи спав), або композиційні штучні структури з від'ємним показником заломлення, що кардинально змінює їхню реакцію на опромінення. Ідея таких матеріалів виникла майже піввіку тому, але знайти в природі метаматеріали так і не вдалося, і лише близько 20 років тому їх навчилися вирощувати. Метаматеріали проявляють дивовижні оптичні властивості, яких я тут детально не торкатимуся, але зазначу, що Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова долучився до створення таких систем і навіть робить спроби їх викорис-

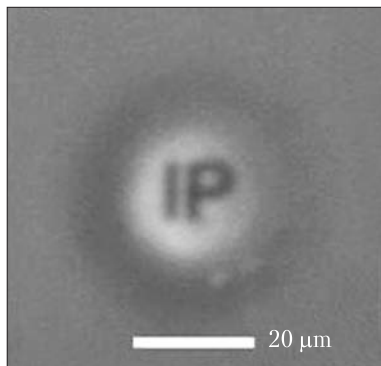


Рис. 3. Зображення літер І та Р, створені мікролінзою

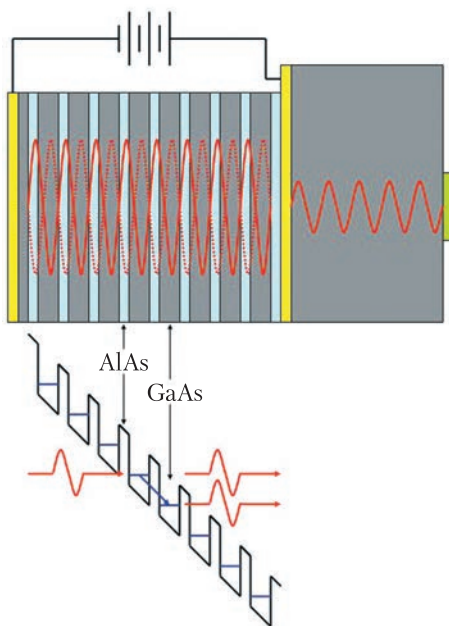
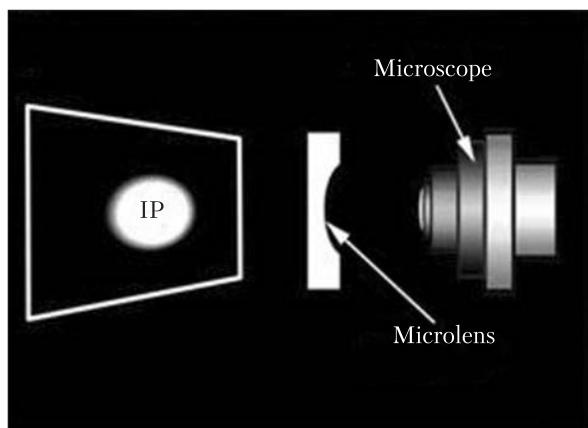


Рис. 4. Схема гетероструктури, яка під дією струму генерує акустичні хвилі терагерцового діапазону

тання у пристроях зв'язку, а також у приладах неруйнівного контролю.

Є у ВФА досягнення й у створенні терагерцових лазерів, потреба в яких постійно зростає. Зокрема, співробітники Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова разом з британськими колегами запропонували і реалізували новий тип підсилювача/генератора когерентних акустичних хвиль, для якого використали багат шарову напівпровідникову ґратку (рис. 4). Змінюючи струм, який проходить крізь неї, можна контрольовано впливати на частоту генерації.

Інші генератори – енергоефективні оптичні мікролазери (рис. 5), які є якіснішими за відомі аналоги, створено в Міжнародному центрі «Інститут прикладної оптики». У цьому Інституті розроблено також принципово нові – цифрові – методи оптичного запису і зчитування інформації.

У галузі оптики працює й Інститут електронної фізики, в якому суто спектроскопічними методами навчилися визначати хімічний склад ряду напівпровідникових сполук в аморфних матрицях, а також достатньо точно вимірювати ймовірності утворення небезпечних радіаційних ушкоджень молекул деяких амінокислот, життєво важливих для перебігу клітинних процесів обміну речовин.

Наступний результат, хоча й опосередковано стосується оптики, проте, на мою думку, заслуговує на згадування саме в цьому розділі. В Інституті фізики конденсованих систем розроблено і вже успішно застосовано нову інформаційну технологію для кольорового друку, яка дозволяє зекономити до 60% фарби, зберігаючи при цьому високу якість зображення (рис. 6). Це, без сумнівів, достойний уваги приклад характерного для нашої Академії цілеспрямованого фундаментального дослідження міждисциплінарного характеру.

Я назвав лише невелику частину наших результатів, отриманих у цій галузі, але попри наявні «оптичні» успіхи стверджувати, що ми працюємо на всіх ділянках світового фронту оптичних, лазерних і оптоелектронних досліджень, не можна. Ми ще маємо висококваліфі-

кованих фахівців-оптиків, але, на жаль, вони мало кому потрібні в нашій країні.

5) *Фізика плазми*. Актуальність досліджень у цій галузі пояснюється двома обставинами. Перша пов'язана з тим, що переважна частина речовини у Всесвіті, зокрема іоносфера Землі, зорі, є прикладами плазмового середовища. Нагадаю, до нього, як правило, відносять у цілому нейтральний газ, що складається з електронів та іонів (зокрема, протонів), а тепер вже і кварків. Друга обставина впливає з небезпідставних надій на створення на Землі штучного Сонця, оскільки воно є гігантським плазмовим кулеподібним утворенням, у якому відбуваються спонтанні термоядерні реакції, що породжує практично необмежене виробництво екологічно чистої енергії. Ми вже є свідками того, що недостатні енергетичні можливості людства починають гальмувати його поступ до більш розвиненої, безпечної і комфортної сфери буття, тому реалізація керованої термоядерної реакції — один з найочікуваніших суспільством науково-технічних результатів.

Як фізична система плазма доволі складний і багатий на різні (насамперед нелінійні) процеси об'єкт, у якому майже не існує ситуацій, коли можна знехтувати кулонівською взаємодією між його зарядженими одиницями. І хоча плазмові середовища відомі нам зі шкільних років, послідовне їх урахування не є простим, оскільки явища в плазмі відбуваються як за високих, так і за низьких густин і температур.

Науковий пошук у цій галузі установи ВФА проводять за напрямом «Фізика плазмових процесів». Такі процеси можуть здійснюватися, зокрема, в обмежених об'ємах, у тому числі таких, що містять порошок. У реальних умовах його не можна уникнути, тому вивчення так званої *запорошеної плазми* створює окрему нішу, яку впевнено заповнюють роботи нашого Відділення. Зокрема, співробітники Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова зробили помітний внесок у кінетичну теорію запорошеної плазми, що дозволило пролити світло на значну різницю температур порошків і самої плазми, зрозуміти, чому їх розподіл за швидкостями відрізняється від максвелівського.

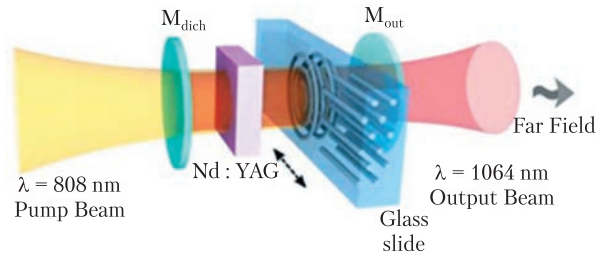


Рис. 5. Схема компактного енергоощадного мікролазера



а



б

Рис. 6. Зображення, отримані за допомогою традиційної (а) і фарбоощадної інформаційної (б) технологій

Все це важливо для здійснення керованого термоядерного синтезу, про що в Україні можна лише мріяти, оскільки відповідні установки не на часі.

6) Ще один надзвичайно широкий і надважливий світовий напрям — *фізика твердого тіла* (тепер його частіше називають більш загальною — *фізика конденсованого стану*). Фор-

мування цього напрямку очевидне, оскільки практично все, що ми бачимо і з чим стикаємося у повсякденному житті, — це тверді, або сконденсовані, тіла. Наприклад, ІТ-прогрес, свідками і користувачами якого є ми всі, зумовлений досягненнями саме фізики твердого тіла. Ця галузь настільки багатогранна, що без перебільшення можна стверджувати про її сумірність з фізикою взагалі, оскільки твердий стан проявляє і механічні, і електричні, і оптичні, і ядерні, і релятивістські, і плазмові властивості, не кажучи вже про такі явища, як квантове тунелювання, тобто проникнення частинок туди, де стара фізика перебувати їм строго забороняє, надпровідність, лазерна генерація, магнетизм тощо. Тому не дивно, що у фізиці твердого тіла працює найбільша кількість фахівців фізичного профілю.

Саме тверді тіла є основою конструкційних і функціональних матеріалів, можливості яких постійно зростають разом із потребами суспільства. Можу також назвати таку глобальну проблему, як створення матеріалів, які є надпровідниками за кімнатної температури, — вони дадуть людству можливість позбавитися зайвих енерговитрат, пов'язаних з досить великим опором навіть найкращих електропровідників.

Серед «найтоповіших» світових трендів у фізиці твердого тіла слід відзначити *топологічні діелектрики*⁴, *вейлівські метали/напівметали*⁵, або, як правило, тривимірні провідники з безмасовими носіями, а також *мультиферойки*⁶, що лежать в основі *спінтроніки* — но-

вої багатообіцяючої гілки електроніки, в якій основною керованою і водночас керуючою характеристикою є не заряд, а магнітний момент (спін) електрона. Зараз вони є скоріше суто фундаментальними напрямами, але, без сумніву, в майбутньому матимуть широке практичне застосування.

Можу засвідчити, що з усіх цих актуальних і навіть модних⁷ питань установи ВФА (Інститут фізики, Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова, Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова, Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б.І. Веркіна, Інститут фізики конденсованих систем та ін.) мають публікації, багато з яких є піонерськими. Красномовним прикладом є передбачення нестандартності прояву квантового ефекту Холла в графені. Ця робота, виконана в Інституті теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова, за кілька років збрала понад 1300 цитувань, відігравши головну роль у визнанні фізичною спільнотою унікальності релятивістськи подібного спектра електронів у цьому кристалі, що спростувало одне (здавалося б, бездоганне) теоретичне твердження щодо неможливості існування двовимірних кристалічних систем.

Отже, установи нашого Відділення досить плідно працюють за напрямом «Фізика твердого тіла». Останніми роками, крім згаданих уже досліджень низьковимірних структур типу графену, фулерену, нанотрубок, вагомі результати ми маємо в галузі *надпровідної спінтроніки*, так званих *фотонних кристалів* (Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова, Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О. Галкіна), *магнетизму*. Зокрема, встановлено механізми надшвидкої (за 10^{-12} с) переорієнтації намагніченості магнетиків потужними ультракороткими лазерними імпульсами (Інститут магнетизму, Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О. Галкіна), також в Інституті теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова зроблено передбачення обертального руху вектора

⁴ До них відносять кристалічні тіла скінченного розміру, які, будучи ізоляторами в об'ємі, мають металеві властивості на поверхнях, а отже, проводять електричний струм. Такий «альянс» є дуже стійким і стає в пригоді для подальшої мініатюризації робочих елементів сучасних гаджетів.

⁵ Речовини (першою був одноатомний шар графіту — *графен*), опис яких потребує застосування апарату, що раніше використовували лише в задачах релятивістської фізики.

⁶ Кристали складеної структури, яка містить області з різним впорядкуванням (скажімо, магнітним і сегнетоелектричним), що розширює їхні властивості і тим самим коло застосувань.

⁷ Так трапляється, коли якийсь відкрите явище є не лише цікавим і красивим з фізичної точки зору, а й несподівано виявляється перспективним, так що брати участь у його дослідженні стає престижним.

антиферромагнетизму в антиферромагнетиках під дією спін-поляризованого електричного струму, що тривалий час вважали неможливим, але тепер для цього явища є не лише експериментальне підтвердження, а й практичні застосування.

Останнє є важливим, оскільки, незважаючи на те, що діяльність ВФА спрямовано переважно на розв'язання фундаментальних проблем, прикладним розробкам приділяється багато уваги. Серед них особливим попитом користуються роботи Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова, в якому, нагадаю, було відкрито ефект пам'яті форми. Тепер на основі запропонованої концепції багатокомпонентних, спеціально структурованих, високоентропійних сплавів (які належать до групи *смарт-матеріалів*⁸ — див. рис. 7) у цій установі навчилися виготовляти такі матеріали, в яких пам'ять форми набуває виключної стабільності. За оцінками експертів, застосування таких сполук у різних галузях виробництва, а також у медицині вже найближчими роками зросте настільки, що обсяг їх світового ринку досягне десятків мільярдів доларів на рік.

Загалом саме економіка (на жаль, не вітчизняна) цілеспрямовує науку. Мало хто знає, що, наприклад, у світі річний оборот напівпровідників для ІТ-галузі сягає \$ 300 млрд, причому половину з них виробляють у США, 9% — в країнах ЄС і всього 4% — у Китаї. Від експорту цих матеріалів США щороку отримують близько \$ 50 млрд, більше лише від літако- і автомобілебудування! Ось що таке високі (у цьому випадку інформаційні) технології, які без науки не народжуються!⁹ Я не знайшов да-

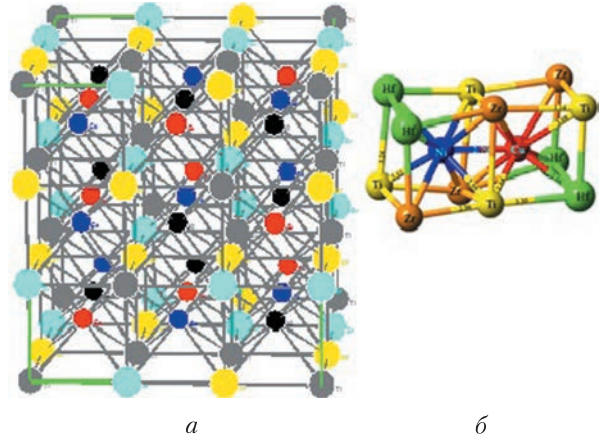


Рис. 7. Гратка (а) та елементарна комірка (б) багатокомпонентного смарт-сплаву TiZrHfCoNiCu

них про виробництво напівпровідникових процесорів чи обчислювальних модулів в Україні, що свідчить про сумний стан цієї нашої промисловості, насамперед наноелектроніки, яка працює на ІТ-сферу¹⁰.

Про що можна говорити, якщо в інститутах ВФА немає жодної (підкреслюю, жодної!) сучасної ростової установки або необхідних для них чистих кімнат? Ми також не будемо такі потрібні для вирішення багатьох актуальних завдань установки, як синхротрони, прискорювачі нейтронів. І гадаю, всім зрозуміло, наскільки ми через це залежимо від імпорتنих приладів, витратних матеріалів і ... грошей.

До фізики твердого тіла нерозривно приймають ще два напрями ВФА — «Фізика низьких та наднизьких температур» та «Радіофізика і електроніка», дослідження в яких природно спираються на знання про твердий

⁸ Смарт-, або *розумні*, матеріали відрізняються від решти тим, що, змінюючи свої властивості під дією зовнішніх факторів (температура, тиск, різні поля), вони змінюють їх не довільно, як звичайні, а завдяки підібраним складу і структурі, відповідно до того чи іншого їх застосування.

⁹ З цього приводу наведу відомі дотепні, проте справедливі слова: «Кам'яний вік завершився не тому, що виник дефіцит каміння». І зрозуміло — він вичерпав себе тому, що з'явилися нові технології. Було б непогано, якби це збагнули ті, від кого залежить хоч щось істотне.

¹⁰ У цьому сенсі нам нема чого протиставити світу і у сфері створення суперкомп'ютерів, до першої сотні яких наші й не наближаються. Якщо у США, Японії, Китаї працюють машини, спроможні здійснювати понад 10^{17} операцій за секунду, в Росії — десь 10^{15} , то найкращі українські комп'ютери — не більш як 10^{13} , що недвозначно свідчить про те, як сильно ми відстали. З іншого боку, як повідомляє «Економічна правда», навіть це не заважає вітчизняній ІТ-індустрії посідати друге місце в українському експорті послуг, щорічні сплачені податки якої зросли до 4,1 млрд грн [2].

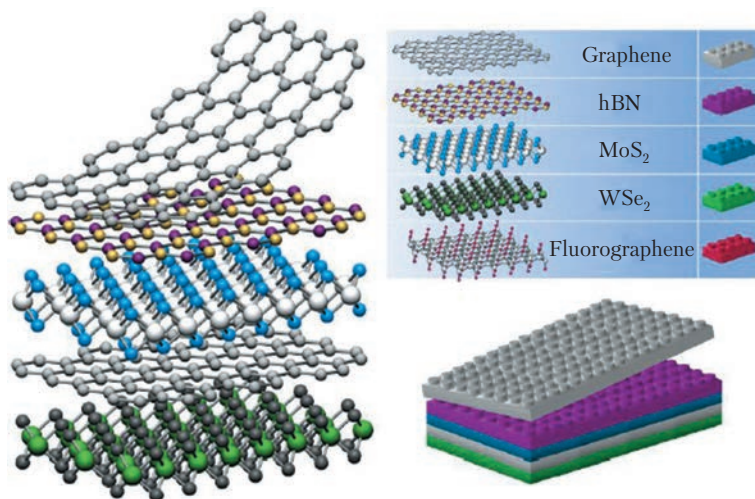


Рис. 8. П'ятишарова змішана ван-дер-ваальсова гетероструктура з різних одно- і двоатомних плівок [3]

стан. У світі, наскільки я можу судити, вони не стоять на передньому фронті науки, але від цього їх важливість не меншає, особливо якщо зважати на велике прикладне значення відповідних робіт для створення сучасного промислового і побутового обладнання, а також виробів оборонного призначення. З іншого боку, в обох цих напрямках залишається багато відкритих питань фундаментального характеру. Тому більшість країн світу підтримують розвиток цих напрямів.

Так, у Фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б.І. Веркіна виявлено надшвидкий рух абрикосовських вихорів у надпровідних плівках, по яких тече високий струм, що дуже корисно для розробників надпотужних магнітів. В Інституті радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова встановлено вплив магнітного поля на транспорт радіохвиль у шаруватих надпровідниках, тобто знайдено спосіб керування їх прозорістю.

У цьому ж Інституті створено оригінальні високоякісні вакуумні НВЧ-генератори, які використовують у медико-біологічному обладнанні в Південній Кореї, Японії, але не в Україні.

Підсумовуючи стан досліджень ВФА в галузі фізики твердого тіла, можна сказати, що за своїм кадровим потенціалом вони відповідають вимогам, які диктує світовий розвиток.

Однак, якщо теоретики ще можуть видавати «на-гора» гарні результати, то для експериментаторів це практично неможливо, оскільки, за дуже рідкісними винятками, наявний у нас парк експериментального обладнання катастрофічно застарів, і без його оновлення ми ризикуємо пройти точку неповернення, тобто остаточно втратимо можливість хоча б будь-коли мати у цьому напрямі результати міжнародного рівня.

7) Два напрями — *фізика м'якої речовини* і *наномеханіка*, в яких ми активно працюємо, сформувалися у ВФА саме в останні десятиріччя. Фізика м'якої речовини не лише вивчає рідкий стан, який сам по собі є дуже складним і особливим (це рідини, електроліти, інші розчини), а й межує з фізикою біоречовини, оскільки вона також, образно кажучи, є м'якою.

Вкотре хочу наголосити, що з точки зору актуальності та ставлення різних країн до науки саме *науки про життя* є найбільш фінансованими і запитуваними суспільствами розвинених держав, які багато уваги приділяють здоров'ю свого населення та екології. Проте наша наука все ще перебуває в координатах, де домінують природничі й технічні напрями, і в цьому плані не відповідає ситуації, яка склалася в світі на початку третього тисячоліття¹¹.

¹¹ Зокрема, як повідомляє сайт Nature Index, у журналах групи Nature за останній рік кількість статей з

Згадуючи фізику і науки про життя, слід зауважити, що вже протягом століть фізика сумлінно виконує свою основну місію з вивчення природи. Проте це переважно стосується природи неживої, тоді як природа жива (людина, флора, фауна) також потребує фізичного вивчення, оскільки всі процеси, що відбуваються в ній, у своїй основі є саме фізичними. І як на мене, вивчення неживої природи не простіше, ніж живої. Наприклад, лікар, який ставить пацієнту той чи інший діагноз, може взагалі нічого не знати про Стандартну модель, оскільки ефекти спеціальної або загальної теорії відносності в цьому випадку не є важливими, так само як в організмі людини немає надплинних рідин, не генеруються лазерні промені. Звісно, це не означає, що жива природа не містить таємниць чи її вивчення не пов'язане з певними труднощами, але на ідейно-засадничому рівні можна припустити, що сьогоднішня фізика готова до розкриття основних закономірностей існування і функціонування живої матерії. І це важливо для усвідомлення того, що фізичний підхід спроможний виправдати покладені на нього сподівання щодо досягнення загальних фізіологічних процесів і явищ.

Оскільки багато живих об'єктів мають невеликі, іноді молекулярні розміри, нанофізика дуже близька до біодосліджень. Проте ця галузь науки має власне поле для наукового пошуку, вивчаючи все менші і менші структури (зокрема низьковимірні), а головне — намагається застосовувати на практиці здобуті нею знання. Фізики тепер мають змогу досліджувати зразки нанометрових розмірів (граничний випадок — графен і подібні йому матеріали, яких тепер чимало). Не зупиняючись на деталях, зверну увагу лише на те, що їх відкриття породило принципово новий напрям — створення *ван-дер-ваальсових гетероструктур*, або штучних матеріалів, складених зі слабо

фізики, що мають афілійованих у НАН України авторів, майже у 10 разів перевищує кількість таких самих публікацій з хімії і майже у 40 разів — з наук про життя (154, 16 і 4 відповідно), що певною мірою відображає наші неєвропейські пріоритети у підтримці різних напрямів досліджень.

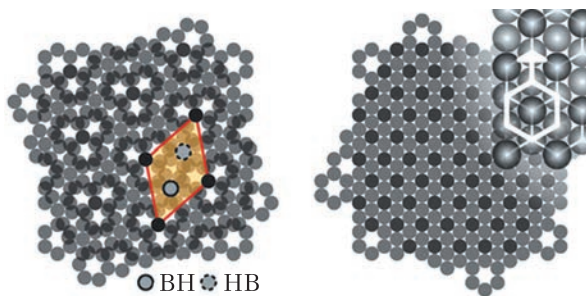


Рис. 9. Двошаровий графен з повернутими один відносно одного вуглецевими шарами, що має електронні властивості, відмінні від вихідної (неповернутої) структури [4]

взаємодіючих між собою одноатомних шарів, кількість і послідовність яких може варіюватися (рис. 8). Одне це забезпечує практично незліченні можливості для отримання наперед невідомих і неочікуваних властивостей фізичних структур.

Ще більше здивування викликала нещодавно відкрита властивість таких гетероструктур щодо непередбачуваної зміни їхніх властивостей, коли осі симетрії кожного шару мають неоднакові напрямки (рис. 9). Наприклад, двошаровий графен з відносно малим розворотом шарів перетворюється на надпровідник! Це спостереження одразу збудило бурхливий інтерес сотень дослідників, які розпочали спроби створення технологій отримання контрольованих кутів розвороту, щоб зрозуміти, чому породжуються подібні метаморфози. Поки що серед численних повідомлень на цю тему наші не проглядаються, але співробітники Інституту фізики вже долучилися до пошуків у цьому напрямі.

Втім, у галузі нанофізики ми ще маємо значущі досягнення. Одне з них, уже визнане фахівцями, згадувалося навіть в іноземних ЗМІ. Йдеться про синтез у Фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б.І. Веркіна нового класу вуглецевих наноструктур, які вже здобули назву *карбонові стільники* (рис. 10), оскільки за будовою вони подібні до бджолиних стільників. З ними пов'язують перспективи створення ємностей для збереження газів

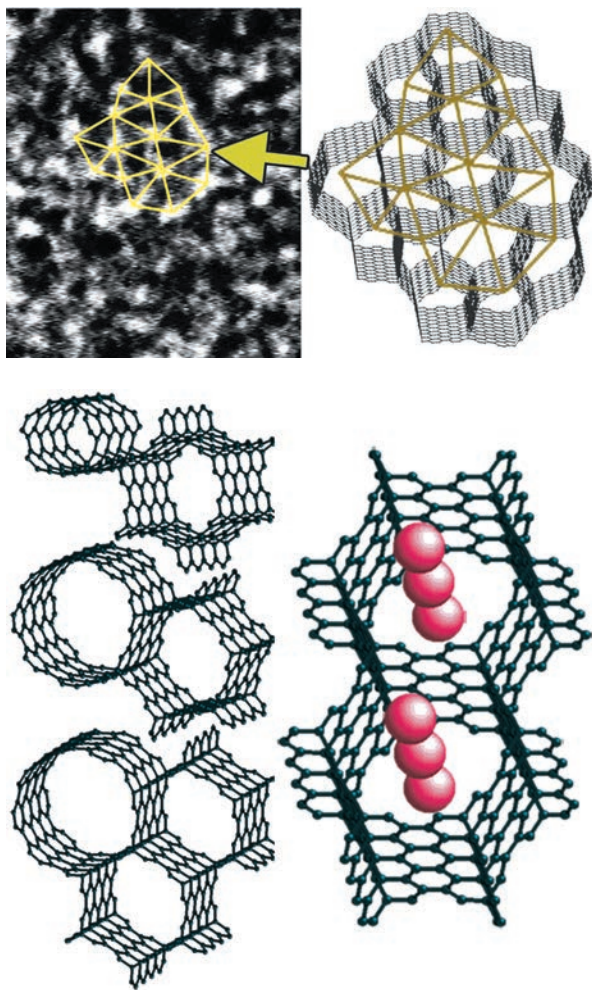


Рис. 10. Просторовий вигляд різних карбонових стільників

або використання їх як сорбентів чи каталізаторів. В Інституті фізики істотно просунулися у конструюванні структур з адсорбованих на поверхнях молекул, керувати поведінкою яких можна зовнішнім полем, що важливо для наноприладів. В Інституті магнетизму розроблено технології вирощування магнітних плівок із заданими властивостями, де їх також досліджують і шукають для них можливі застосування.

Фізика м'якої речовини і біофізика — це сфери інтересів Інституту фізики, Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова, Інституту

радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова, Інституту магнетизму, а також Інституту фізики конденсованих систем. У перших двох установах у серії теоретичних і експериментальних досліджень було виявлено аномальну анізотропну дифузію колоїдних частинок у нематичних рідких кристалах. Цей результат було оприлюднено у журналі *Science*, що саме по собі вже є досить високою оцінкою. Інститут магнетизму проводить дослідження біохімічних процесів у клітинах з магнітними біогенними наночастинками, які виробляють живі організми, Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова займається вивченням природи стабільності структур біополімерів, що перебувають у полі іонізуючих випромінювань, Інститут фізики конденсованих систем — роботами з теорії розчинів і електролітів, розробляючи потужні методички комп'ютерних розрахунків їх фізико-хімічних властивостей, а Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова має незаперечні успіхи в галузі отримання так званих біосумісних матеріалів, на які великі надії покладає сучасна медицина.

8) Ще один світовий напрям — *обчислювальна фізика* — самостійно не входить до напрямів ВФА, але останнім часом, з огляду на значне ускладнення задач, став надзвичайно потужним і важливим компонентом теоретичної фізики. Так чи інакше з цим напрямом пов'язана діяльність більшості наших установ, чому сприяє розгорнута в НАН України грід-мережа. Серед найважливіших результатів можна згадати запропоновану в Інституті фізики конденсованих систем нову схему методу молекулярної динаміки, яка дозволила прискорити деякі обчислення в тисячу разів, завдяки чому вперше вдалося простежити процес згортання мініпротеїну, а також розпочати моделювання динамічних властивостей білків. В Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова обчислено велику кількість металевих сполук, для характеристик яких суттєвою є спин-орбітальна взаємодія. Чисельні методи використовують і в Інституті фізики для розрахунку повільної конформаційної динаміки макромолекул у біосистемах, і в Інституті теоретичної фізики

ім. М.М. Боголюбова — для вивчення поведінки молекул ДНК у клітинних розчинах. Паралельно з розвитком обчислювальної фізики визрів метод *обчислювального експерименту*, який проводять не на реальних об'єктах, а на адекватних ним математичних моделях, що не допускають аналітичних розрахунків. Цей метод став настільки популярним, що мені навіть важко назвати установу ВФА, в якій не виконувалися б подібні експерименти.

Отже, розвиток обчислювальної фізики у нашому Відділенні перебуває в сучасному руслі, хоча розрахункові можливості, як я вже зазначав, залишають бажати кращого, що потребує підвищення потужності нашої обчислювальної техніки.

* * *

Хіба ревуть воли, як ясла повні?

Панас Мирний

Вище я перелічив деякі достойні результати установ ВФА і спробував оцінити їх місце у світовій науці. Втім, якщо бути неупередженим і не надівати рожеві окуляри, маю визнати, що наразі ми не можемо претендувати на найвищі позиції. Усе, начебто, виглядає у нас пристойно і викликає повагу — багато інститутів, багато напрямів, сучасних за цілями досліджень, чимало бюджетних тем і, безперечно, є певні успіхи, досить високоцитовані публікації, є практичні застосування, але, на жаль, вони не роблять «погоди» і не можуть побороти системну відсталість. Справжні піонерські роботи залишилися позаду, в минулому, про яке, власне, я і писав.

А що ж майбутнє? Що нас очікує в новому столітті Академії? Великих надій на розвиток, з огляду на прийнятий жалюгідний бюджет, покладати не варто, і наукова сфера, судячи з усього, продовжуватиме ледь животіти. Це настільки очевидно, що навряд чи доцільно приховувати думки з цього приводу моїх колег, які професійно роблять свою справу, часто не отримуючи за це навіть повного обсягу і без того принизливо малої заробітної плати: деградація нашої фундаментальної науки набула небезпечного розмаху, молодь у неї практично

не йде¹², престиж наукових професій падає, прилади не оновлюються роками, а з високих кабінетів нами керують люди, які переконані, що вміють керувати чим завгодно — наукою, промисловістю, культурою, а все необхідне в разі потреби можуть купити у розвинених країнах... Майже ніхто з них нічого не знає про науку, не усвідомлює її специфіки, а головне, не розуміє, що таке *академічна свобода*. Навпаки, вони постійно намагаються вбудувати Академію в існуючу адміністративну вертикаль, а ми при цьому жодного протесту не висловлюємо, на власний захист не стаємо.

А чи робили ми взагалі щось таке, щоб врятувати ситуацію?

Будьмо відвертими.

Коли на наших очах почала руйнуватися наука, а за нею й освіта, ми, вчені, мовчали, набравши води в рота. Коли розвалювалася і монополізувалася промисловість разом із сільським господарством, ми зберігали мовчазну безтурботність. Коли ми бачили і добре усвідомлювали, що коїться з армією і органами безпеки, ми нічого не робили. Коли МОН України присуджувало наукові ступені псевдонауковцям або коли на науковців Академії, які боролися з цією небезпекою, позивалися у судах, ми знову-таки зберігали спокій...

І тепер настав час, коли через критичне недофінансування, відсутність кадрового поповнення, брак сучасного обладнання, а головне, через незрозумілі «реформаторські» наміри тих, хто вважає за необхідне реорганізувати роботу Академії аж до її перетворення на клуб поважних старців і передати інститути під «дбайливе» крило МОН, ми, найрозумніші люди країни, тихесенько сидимо у своїх лабо-

¹² Щодо нерозв'язаної проблеми *brain drain* зауважу, що коли іммігрують заробітчани, готові працювати де завгодно, це — суха статистика, а от коли іммігрують люди освічені, в активному віці, це — діагноз, бо їдуть вони зовсім за іншим — за можливістю працювати за фахом, в добре оснащених лабораторіях, брати участь у конференціях, викладати свою спеціальність. А без них на батьківщині розквітає мракобісся, роками не змінюється політична тусовка, катастрофічно знижується рівень освіченості населення.

раторіях, як мишки під віником, сповідуючи принцип «наша хата скраю».

Це не докір, не звинувачення, це констатація факту наявності безголосого або, принаймні, слабоголосого академічного хору, за багаторічне перебування в якому велика відповідальність лежить і на мені. Щодня, читаючи новини чи слухаючи повідомлення про засідання Кабінету Міністрів або Верховної Ради, прихожу до невтішного висновку — не існує в країні потужної, авторитетної, впливової наукової організації під промовистою назвою Національна академія наук. Я б навіть назвав таке ставлення до НАН України фігурою замовчування. І хоча інколи у пресі спорадично трапляються поодинокі статті щодо катастрофічного стану природничої науки в державі, антиінтелектуальне суспільство на них не реагує, оскільки давно втратило віру в силу знань. Скажу більше, його не обурює, а навпаки, забавляє, коли будь-хто з вищих очільників держави козиряє своїм невіглаством.

Ми настільки піддалися цим настроям, що опинилися у стані деякої розгубленості, забувши про суб'єктність Академії і стратегічну необхідність її діяльності для країни. Ми не знайшли способів наполегливо просувати у свідомість громадян своє бачення виходу з кризи, в яку потрапила не лише наукова сфера, а й загалом держава. І єдиним наслідком традиційної для нашої Академії сервільності відносно можновладців стала лише поступова втрата репутації.

Скажімо, «зверху» від нас вимагають реформування. Але оскільки нічого конкретного не пропонують, можна припустити, що від Академії чекають самостійних і швидких змін, не враховуючи при цьому одну з її характерних особливостей: основний керівний науковий персонал має наразі радянський менталітет. Під цим я розумію відсутність навичок у керівників середньої і нижньої ланок мислити загальними категоріями і опікуватися системою в цілому. Замість того, щоб стати лідерами реформ, вони (мабуть, було б чесніше сказати ми) звикли дбати лише про стан свого інституту, підрозділу, відділу тощо. Майже всі вони —

як правило, високопрофесійні дослідники, які вже досягли успіху у своїй кар'єрі і, відверто кажучи, на зміни не налаштовані, оскільки можуть при цьому щось втратити. Подібні побоювання відчують також і рядові співробітники. Звісно, це гальмує будь-які трансформації, проте я навів лише одну з можливих причин, чому академічна громада не сприймає навіть позитивні пропозиції змін.

А що ж конкретно пропонується? Зокрема, перейти на гранти, при розподілі яких надавати перевагу тим, хто має статті у журналах з високим імпаکت-фактором. Безперечно, мати такі публікації добре, але хотів би звернути увагу, що зараз не так уже й важливо, де саме надрукована робота, звісно, якщо вона чогось варта і написана англійською. Згадаймо, що Григорій Перельман оприлюднив своє відкриття у *відкритому архіві*, що за правилами не можна було робити, але це жодним чином не позначилося на визнанні його видатного результату, оскільки він став доступним для ознайомлення всьому фаховому загалу.

Слід мати на увазі, що останніми роками у науково-видавничій галузі відбулася справжня революція — з'явилися інформаційно-публікаційні системи, в яких кожен науковець (або науковий колектив) з будь-якої країни може без рецензування і чийогось дозволу розмістити власну статтю. І вже одразу її читає вся наукова спільнота. Журнали ж тепер майже ніхто читає — це «медичний» факт.

Наприклад, якщо говорити про фізиків, то на сьогодні можу впевнено стверджувати — кого немає у відкритому архіві arXiv.org, того немає в науці. За окремими винятками, коли певне видання не дозволяє авторам оприлюднювати свої результати до виходу на його шпальтах, журнальна стаття, яка вже до цього з'явилася у відкритому доступі, не містить для читача нічого нового, а інколи навіть стається так, що на момент офіційної публікації фахова спільнота знаходить у ній якісь слабкі місця або навіть помилкові результати. Згаданий американський архів arXiv.org щодня відвідують тисячі дослідників з усіх куточків світу задля отримання найсвіжішої інформації та в

разі потреби негайного її обговорення з колегами. Таким чином усе нове швидко доходить до споживача і аналізується без участі рецензентів і редакцій журналів, а рейтингування видань за імпаکت-фактором перетворюється на виправдовування їх існування та засіб розподілу грошей за грантами.

Цікаво, що популярність і затребуваність відкритих архівів стали настільки великими, що вже лунають пропозиції щодо розміщення в них статей за певну плату, залишивши вільним тільки доступ до статей. Якщо щось подібне буде реалізовано, ми, як і інші бідні країни, на жаль, втратимо цю зручну можливість безперешкодно інформувати світ про свої досягнення.

Отже, на мій погляд, при оцінюванні діяльності того чи іншого науковця або структурної одиниці рейтинг журналу не повинен відігравати такої вже істотної ролі, а от публікаційна активність, за якою Україна, між іншим, пасе задніх, навпаки, є важливою. Ще більшого значення набувають цитат-індекс (ЦІ) та індекс Гірша (ІГ), який, до речі, у жовтні 2018 р. зазнав чергового авторського вдосконалення [5]. Концептуально ЦІ свідчить про загальну продуктивність науковця (про його внесок у науку), а ІГ — про довгострокове «виробництво» високоцитованих публікацій (про кваліфікацію автора). Зазвичай великий ІГ відповідає високому ЦІ, але не навпаки. Наприклад, якщо в науковця є один достатньо сильний результат, а решта не така вагома, його ЦІ буде високим, а ІГ — ні. Загалом же будь-які цифрові показники для оцінювання творчої особистості не можна абсолютизувати, а використовувати їх потрібно обережно і з оглядкою¹³.

¹³ Противники використання наукометрії для оцінювання вчених як аргумент наводять той факт, що деякі країни від неї відмовляються, що є правдою. Однак це відбувається після 10–15 років застосування наукометрії разом із системою матеріального стимулювання найкращих дослідників, у результаті чого наука в таких країнах вже значно підвищила свій рівень і, відповідно, потреба у «цифрових» оцінках відпадає.

Тому всі, хто ззовні намагається втручатися у реформування малознайомої їм, але дуже чутливої сфери науки, мають розуміти, що є великий ризик довести її до стану повного краху. Змінювати в ній щось слід з винятковою обачністю, щоб не нашкодити, а що стосується «зовнішнього» реформування роботи самих учених, то найкращим було б залишити їх у спокої, не заважати і дати їм можливість творити та працювати без потрясінь. Творчість лише тоді є плідною, коли вона вільна, насамперед вільна від вказівок людей, які у науці нічого не тямлять. Лише вчені можуть зрозуміти, що саме в науці є корисним і перспективним, а чим не варто займатися, як найкраще організувати наукові дослідження і як найефективніше їх контролювати. Отже, керувати наукою і вченими можуть лише вчені.

Грамотне і правильно налаштоване суспільство має лише відстежувати рівень і спрямування наукової галузі в країні так, щоб воно відповідало основним напрямам розвитку науки у світі, а також допомагати збереженню конкурентних осередків своїх учених, які, зі свого боку, повинні встановити і зберігати високі критерії взаємної вимогливості та порядності. Тільки на таких засадах можна знайти вихід з прірви, в яку ми скочуємося. Тільки так у нас будуть потужні, визнані світом інститути, і це стосується як «чистої», так і прикладної науки, хоча фундаментальна наука першочергово потребує централізованої підтримки, оскільки має набагато менші можливості для позабюджетних надходжень.

Отже, підкреслюю, науковці найбільше незадоволені *небезпечно малим* для проведення дослідницької роботи наповненням їхніх «ясел», яке, на їхню думку, може зростати лише завдяки держбюджету. А він формується десь поза Академією, яка до того ж поводить себе як велика недоторканна структура. При цьому, чи є це правильним і чи потрібні зміни всередині, ніхто серйозно не обговорює. Мені ж здається, що багато чого ми могли б зробити самі.

Скажімо, всі розуміють, що інститутів в Академії забагато і потрібна реструктуризація на основі об'єктивного і незалежного оціню-

вання. Бажано також впровадити більш прозору систему розподілу бюджетних коштів між відділеннями. Хоча в умовах жорсткого дефіциту грошей будь-який перерозподіл перетворюється на величезну проблему, це питання слід обов'язково починати вирішувати, враховуючи як якісні показники, так і наявність резервів для самофінансування. Це одне з нагальних завдань Президії Академії, оскільки не можна вже і надалі все тоншим і тоншим шаром розмазувати по всіх тарілках щороку меншаючий шматок фінансового «масла». Навпаки, заради стимулювання, було б справедливо, якби інститути з відносно вищими наукометричними показниками мали б від цього певний зиск.

З іншого боку, ще раз наголошу, всі наші модернізації будуть марними, якщо не стануться кардинальні зміни в науковому бюджеті країни, який вже не один рік поспіль посідає місце європейського аутсайдера. І попри ритуальні зустрічі з народними депутатами, які, як завжди, проголошують обнадійливі обіцянки, попри роботу Національного фонду, який начебто налаштований саме на грантову підтримку найкращих науковців, попри впровадження різних державних програм, у яких керівництво вбачає порятунком для багатьох прикладних установ, ситуація навряд чи зміниться на краще, оскільки все це лише додаткові кошти на тлі бюджетного фінансування, якого не вистачає навіть на збереження темпів відставання.

Навряд чи нам вдасться уникнути і скорочення штатів до рівня, прийнятого у розвинених країнах, у яких постійні позиції посідають приблизно 30–40% наукових працівників установи, а виграні нею грантові кошти використовують лише на постдоків, які працюють за тимчасовими (на термін виконання проекту) контрактами; відрядження; закупівлю обладнання. Держава має чітко і однозначно визначити, скільки загалом штатних учених вона може утримувати, назвавши при цьому свої середньострокові пріоритети. Без цього Академія втрачає орієнтири, а освіта — розуміння того, чому і в якій кількості навчати.

А справи з освітою, від якої наше майбутнє залежить не менше, ніж від науки, у нас також невтішні. МОН, знаючи велику потребу України в інженерних кадрах, продовжує вперто знижувати рівень природничої освіти, під різними приводами просуваючи у загальноосвітні школи так звані інтегровані курси, в яких фундаментальні знання підміняються нехитрими навичками і компетенціями. Наслідки вже відчутні — рівень фізико-математичної підготовки випускників шкіл, а за ним і професіоналізм випускників вишів невпинно падає. НАН України намагається боротися з такими ганебними нововведеннями, але без особливого успіху, оскільки профільне міністерство за методичної підтримки НАПН України відстоює для середньої школи саме такі курси, свідомо ігноруючи, що магістральні напрями розвитку у світі — науки про життя і IT-сфера — загнивають без належної фізико-математичної освіти наявного персоналу. За відсутності якісної освіти дитина виростає не творцем, а споживачем товарів, без притаманного *homo sapiens* критичного мислення. Промисловість за сприятливих економічних обставин можна легко відбудувати, а ось відновити науку, а разом з нею відтворити людину мислячу, яку ми зараз втрачаємо, буде вкрай тяжко, та й знадобиться на це кілька десятиліть.

Якби я міг, я б звернувся до Президента України з проханням взяти систему природничої освіти під свій контроль, як він це зробив, наприклад, з армією.

Отже, на мою думку, відродження науки в країні має спиратися на своєрідний «принцип додатковості». По-перше, держава має довести утримання вчених (невеликої, насправді, категорії людей, об'єднаних безкорисливою цікавістю та прагненням пошуку нового) до середньоєвропейських норм, без чого годі й сподіватися утримати в Україні молоді талановиті кадри. А по-друге, ми самі маємо робити усе можливе і неможливе для самовдосконалення і покорокового повернення Академії до статусу поважної і авторитетної наукової інституції, слова і справи якої користуються довірою як влади, так і суспільства.

Р.С. Маючи нагоду, щиро вітаю усіх шановних читачів з Новим роком! За східним календарем 2019-й — рік Свині, а отже, рік пізнання, активного зростання наукової діяльності

та розквіту міжнародного наукового співробітництва.

Так хочеться, щоб астрологія хоч б раз не збрехала...

REFERENCES

[СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Loktev V.M., Ponomarenko L.P. To the history of academic physics research in Ukraine. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2018. (8): 3.
[Локтев В.М., Пономаренко Л.П. До історії академічних фізичних досліджень в Україні. *Вісник НАН України.* 2018. № 8. С. 3-25.]
2. <https://www.epravda.com.ua/rus/news/2018/10/30/642128/>
3. Geim A.K., Grigorieva I.V. Van der Waals heterostructures. *Nature*. 2013. **499**: 419. <https://doi.org/10.1038/nature12385>
4. Rode J.C., Smirnov D., Belke C., Schmidt H., Haug R.J. Twisted bilayer graphene: interlayer configuration and magnetotransport signatures. *Ann. Phys. (Berlin)*. 2017. **529**: 1700025. <https://doi.org/10.1002/andp.201700025>
5. Hirsch J.E. An index to quantify an individual's scientific leadership. <https://arxiv.org/abs/1810.01605>