



## СВІТЛО, ЗАСТИГЛЕ В ЧАСІ

Інтерв'ю з членом-кореспондентом  
НАН України С.Г. Одуловим

*Про історію відкриття, етапи розвитку і сучасні сфери застосування голографії, а також про системи організації і фінансування наукових досліджень у різних країнах світу ми говорили з фахівцем у галузі нелінійної оптики, головним науковим співробітником відділу оптичної квантової електроніки Інституту фізики НАН України, доктором фізико-математичних наук, професором, членом-кореспондентом НАН України Сергієм Георгійовичем Одуловим.*

**— Сергію Георгійовичу, наскільки я знаю, крім вашої суто наукової діяльності, Ви свого часу брали безпосередню участь у створенні експонатів для перших музейних виставок голограм. Я добре пам'ятаю, як наприкінці 1970-х — на початку 1980-х років люди стояли в чергах, щоб подивитися на це чудо. Розкажіть, будь ласка, з чого все починалося.**

— Так, справді, спочатку голографічні виставки були дуже затребуваними. Першу експозицію ми зробили в Історичному музеї. Планували її на кілька тижнів, а сталося так, що ця виставка пропрацювала понад п'ять років. Голограми тоді самі по собі були неординарним явищем, але ці виставки приваблювали людей ще й тому, що давали змогу зібрати під одним дахом голографічні копії рідкісних історичних шедеврів мистецтва, розпорощених по різних музеях. Наприклад, для цієї першої виставки було зроблено голограми знаменитої скіфської пекторалі, різних античних знахідок у Херсонесі, а також історичних реліквій України, таких як, скажімо, булава Богдана Хмельницького.

Потім наші голограми подорожували різними українськими містами, побували в Росії, Чехії, Фінляндії, Франції, Великій Британії, на Кубі і навіть у Японії, всюди збираючи величезні натовпи охочих їх побачити. Так, у Празі за десять днів роботи виставки її відвідали 12 тис. людей. Усе це було так незвично, і люди, знаючи напевно, що дивляться на зображення, все ж інколи сприймали голограми як реальні об'єкти. У Криму, наприклад, стався випадок, коли одна жінка намагалася вкрас-

ти якусь золоту прикрасу, настільки вона здавалася їй справжньою. Іншим разом, коли ми монтували експозицію, до нас звернувся робітник музею, який встановлював сигналізацію, з порадою «голограми залишити, а зброю все ж таки замикати у сейфі на ніч». Він був упевнений, що пістолет Макарова, який він бачить, є справжнім. Важко було уявити кращу оцінку наших зусиль.

*— Зараз суспільний інтерес до голографічних виставок значно спав. Ще донедавна функціонувала експозиція Музею голограм на території Верхньої Лаври, але й вона, на жаль, закрилася. В інших країнах люди також стали менше цікавитися голограмами?*

— На Заході від самого початку до голограм ставилися з практичної точки зору. У 80-х і навіть ще у 90-х роках минулого століття майже в усіх країнах світу в магазинах сувенірів продавали голографічні вироби. Вони були зовсім не дешеві: маленькі голограми коштували кілька десятків доларів, великі — кілька тисяч і навіть десятків тисяч. Зрозуміло, що люди такі цікавинки купували не щодня, оскільки це все ж певною мірою іграшка. А потім основна діяльність з вироблення голографічних сувенірів змістилася до Китаю — ринок заповнили дешеві брелоки з досить примітивними об'єктами та низькоякісними голографічними зображеннями. І це аж ніяк не сприяло розвитку цієї індустрії, а швидше, навпаки — відбило у людей бажання купувати такі сувеніри.

Тому сьогодні образотворчі голограми — це скоріше ностальгія. Один мій французький колега, нині вже пенсіонер, влаштував у холі свого славетного Інституту оптики\* виставку голограм з власної колекції. Експозиція і сьогодні викликає неабиякий інтерес як у фахівців-оптиків, так і у численних гостей Інституту.

\* SupOptique — найстаріший у світі дослідницький і вищий навчальний заклад у галузі оптики, заснований на початку ХХ ст. відомими фізиками Шарлем Фабрі (один з першовідкривачів озонового шару) та Альфредом Перо в передмісті Парижа Орсе.

Вражає те, що й зараз, через 30–40 років після створення голограм, якість зображень залишається високою, незважаючи на те, що галогено-срібні фотоемульсії вже давно ніхто не використовує навіть для звичайної фотофіксації. Іншим прикладом може бути сучасна виставка «Археологія Голографія» в археологічному музеї німецького міста Мюнстер, на якій експонуються голограми об'єктів античної доби, зроблені в місцевому університеті.

*— Як сталося, що Ви, вчений-оптик, зайнялися створенням голографічних експонатів для виставок історичних пам'яток і предметів мистецтва?*

— Сталося це не з моєї ініціативи і певною мірою випадково. Наприкінці 70-х років з Москви надійшов наказ про будівництво в Києві меморіального комплексу для Музею історії Великої Вітчизняної війни, підписаний головою Ради Міністрів СРСР О.М. Косигінім. У ньому містився пункт про те, що наша Академія мала, крім іншого, сприяти створенню голографічних експонатів для експозиції музею, а також забезпечити виробництво голографічної сувенірної продукції. Оскільки наш відділ Інституту фізики АН УРСР займався дослідженнями з динамічної голографії, ми були просто приречені на виконання цього доручення.

Звичайно, виробництво сувенірної продукції зовсім не було справою вчених, але нам пощастило, що в Міністерстві культури це питання курирував Іван Григорович Явтушенко — розумна й порядна людина. Він щиро був зацікавлений у використанні голографії для збереження і популяризації унікальних музейних експонатів і до того ж з розумінням поставився до наших проблем. Нам надали доступ до музейних запасників, зокрема Музею історичних коштовностей у Лаврі. І відтоді кожний вільний день ми з моїм колегою Володимиром Борисовичем Марковим під пильним оком міліціонера та співробітника музею робили голографічні копії стародавнього золота та козацьких клейнодів. Чесно кажучи, мені це подобалося. Створення голограм у чомусь

подібне до художньої фотографії — крім володіння технікою потрібен ще творчий підхід. І це було цікаво. Ну і, звичайно, руки тремтіли, коли торкався скіфської пекторалі чи гетьманської булави.

**— А які ще є застосування голографії, крім музейної сфери?**

— Голографію сьогодні використовують у спектроскопії, там, де потрібні фокусувальні дифракційні ґратки, в мікроскопії для підвищення роздільної здатності. Однак найбільш широкого застосування вона набула в техніці захисту від підробки документів, банкнот, кредитних карток тощо.

Багато зусиль було докладено, щоб розробити голографічну оптичну пам'ять. Річ у тім, що на відміну від електричного струму промені світла не потребують металевих дротів. Інша перевага голографії полягає в тому, що вона забезпечує надзвичайно велику щільність запису. Оскільки довжина оптичної хвилі дуже мала, один біт інформації займає кубик з ребром у частку мікрона. Уявляєте, якої великої щільності запису можна досягти! Однак технічно зробити це не так просто. В США діяла загальнодержавна програма з розроблення оптичної пам'яті, на яку витратили величезні фінансові ресурси. Над цією проблемою працювали також кілька потужних приватних фірм в Америці і Європі. Але в результаті було створено лише так звані прототипи, щось на зразок діючих лабораторних схем. Сьогодні ж цю тематику, як кажуть, поклали під сукно в очікуванні подальшого технологічного розвитку, оскільки людству поки що більш-менш вистачає і того, що забезпечують наявні системи реєстрації інформації. Проте рано чи пізно переваги оптики стануть комерційно привабливими і голографічні системи ще скажуть своє слово.

**— А як справи з голографічним телебаченням? Такий тип зв'язку, як у фільмі «Зоряні війни», все ще залишається фантастикою?**

— Зі створенням голографічного кіно, яке б демонструвало тривимірне зображення, ситуація приблизно така сама, як і з оптичною

пам'яттю. Виявилось, що записати його можна (в СРСР навіть було відзнято на плівку невеличкий голографічний фільм), але проблема полягає в тому, що його важко показати одночасно досить великій кількості людей, причому так, щоб кожен, хто сидить у залі, міг побачити тривимірне зображення.

Одна з ідей полягала в тому, щоб зробити величезний «акваріум», заповнити його рідиною з певним коефіцієнтом розсіювання і в такий спосіб сформувати голографічне зображення, яке можна роздивитися з різних боків. Проте якісної картинки ми не отримуємо, оскільки найближчі до глядача фрагменти будуть яскравими, а ті, що подалі, — бляклими. Була також пропозиція зробити екран плоским, але за принципом растрових світлин. Пам'ятаєте, в 70-ті роки була мода на такі переливчасті картини? Дивлячись на них під різним кутом, можна було побачити або різні зображення, або одне зображення з тривимірним ефектом. Створити такий растровий екран можна, але на дискретну кількість позицій, спрямовуючи на кожного глядача окремий промінь, тобто комерційно такі екрани також не цікаві. Були й інші ідеї, але поки що розумного рішення для голографічного екрана немає. Так само, як і немає ідеї для голографічного телевізора. Все, що в рекламі або в шоу-бізнесі називають голографіями, насправді є або звичайним стереоефектом, або ілюзією тривимірності.

Свого часу великі надії поклали на те, що голографію використовуватимуть у дефектоскопії. Є можливість записати одну голограму об'єкта за звичайних умов, а потім для того самого об'єкта іншу — у змінених зовнішніх умовах, наприклад за підвищеної температури або під тиском. Відтворене після такої подвійної експозиції зображення об'єкта (голографічна інтерферограма) буде вкритим інтерференційними смужками. Їх періодичність є приблизно постійною для ідеального, бездефектного об'єкта, але якщо всередині є пустоти чи вкраплення, щільність смужок зміниться і можна буде сказати, де саме в об'єкті знаходиться цей дефект. Великі кошти у створення такого голографічного методу неруйнівного контролю

вкладає фірма «Мерседес-Бенц». Щороку вона проводить конференцію, на яку з'їжджаються фізики-оптики і промисловці, однак жодних проривних впроваджень поки що немає. Для того щоб обслуговувати таку апаратуру та аналізувати отримані дані, на виробничій лінії потрібні фахівці з дипломами докторів наук. Тобто голографія дозволяє локалізувати дефект, а ось зробити дешеву автоматизовану систему детектування поки не вдається. «Вузким горлечком» тут є витратний людський фактор.

— *Може, штучний інтелект стане у пригоді?*

— Можливо, це завдання і справді для використання штучного інтелекту. Однак поки все знову ж таки впирається в комерційну доцільність, бо штучний інтелект сьогодні далеко не в кожній реалізації дешевший за людський розум.

— *Сергію Георгійовичу, розкажіть, будь ласка, зовсім коротко про самий принцип голографії.*

— Голографія — це метод отримання об'ємного зображення об'єкта, заснований на інтерференції хвиль. Ви напевно добре знайомі з фотографією, яка дає плоске зображення тривимірних предметів, але не містить безпосередньої інформації, як розташовані у просторі окремі точки об'єкта. Тобто, дивлячись на фотографію, ми бачимо зображення предметів тільки під одним кутом зору і можемо судити про їх об'ємність, виходячи лише із законів перспективи. Зумовлено це тим, що на фото ми фіксуємо тільки розподіл інтенсивності, тобто амплітуду електромагнітної хвилі, що відбивається від об'єкта. Однак світлова хвиля залежно від властивостей поверхні об'єкта в кожній точці змінює не тільки свою амплітуду, а й фазу.

Щоб зробити голограму, на фоточутливу пластинку одночасно з сигнальною хвилею, тобто хвилею, розсіяною об'єктом, спрямовують ще допоміжну, так звану опорну хвилю з фіксованою амплітудою і фазою, яка виходить від того самого джерела світла. В результаті маємо інтерференційну картинку, що вини-

кає внаслідок взаємодії сигнальної та опорної хвиль і містить інформацію і про амплітуду, і про фазу відбитої від об'єкта хвилі. Зафіксувавши її на спеціальній фотопластинці, ми отримуємо, власне, голограму. Тепер, щоб відтворити тривимірне зображення, голограму потрібно освітити, в ідеалі таким самим випромінюванням, яке використовували під час її запису.

— *І хто зробив першу голограму?*

— Винахідником голографії прийнято вважати британського вченого угорського походження Денеша Габора. У 1947 р., вирішуючи суто технічне завдання з поліпшення зображень і підвищення роздільної здатності електронного мікроскопа, він запропонував ідею реєструвати не просто інтенсивність світла, а ще й фазу. Д. Габор навіть зробив перші голограми, хоча й зовсім не оптимальним способом, і саме він увів у науковий обіг термін «голографія» (грец. «пишу все»). У 1971 р. йому було присуджено Нобелівську премію з фізики «за винахід і розроблення голографічного методу». Отже, принципову можливість запису і відтворення зображень було продемонстровано ще в повоєнні роки, але їх якість залишала бажати кращого. Тому про цей напрям на деякий час забули.

— *Доки не винайшли лазер?*

— Так. Лазерне випромінювання мало найважливішу для реалізації голографічного методу запису інформації властивість — когерентність. Після того, як у 1960 р. з'явився перший імпульсний лазер на рубіні, який генерував потужні короткі лазерні імпульси, голографія почала бурхливо розвиватися і набула практичного значення. Упродовж буквально кількох років було запропоновано різні способи отримання голограм, причому в США і в Радянському Союзі цей напрям розвивався незалежно.

— *Використовували різні принципи?*

— Принцип був один, але різнилися схеми запису голограм, що давало якісно відмінні

результати. У 1962 р. американські вчені Еммет Лейт і Юріс Упатніекс, взявши за основу ідеї Д. Габора, записали першу об'ємну *пропускну голограму*. За допомогою спеціального пристрою вихідний промінь лазера вони ділили на два промені, спрямовуючи один одразу на пластинку з тонким шаром фотоемulsії, а другий — спочатку на об'єкт, а потім уже на фотопластинку. Тобто і сигнальна, і опорна хвилі падають на реєструвальну пластинку з одного боку. Однак для відтворення голограми за схемою Лейта–Упатнієкса потрібне джерело світла з такою самою довжиною хвилі, на якій її записували, тобто лазер. Тим не менш цей спосіб запису голограм і сьогодні широко використовують у світі.

Згодом Стівен Бентон запропонував спеціальну схему виготовлення пропусчних голограм, у яких реконструкція зображення можлива не лише лазерним пучком, а й світлом з «білим» спектром, тобто сонячним світлом чи світлом від звичайних ламп розжарювання. Але, як завжди, переваги просто так не даються: голограми Бентона дозволяли відтворювати тільки двовимірні об'єкти. Залишилася можливість спостереження лише горизонтального паралаксу, вертикальний паралакс зник. Дивлячись на голограму зверху чи знизу, глядач бачить одне й те саме зображення, але в різних кольорах. Тому ці голограми назвали «райдужними». Однак можливість виготовлення великої кількості копій з однієї голограми-матриці зумовила низьку собівартість тиражування. Це, а також можливість використання білого світла для відтворення зображення відкрило шлях до масового виробництва таких голограм та їх застосування для захисту документів, грошових знаків, акцизних марок тощо.

— *А в Радянському Союзі пішли іншим шляхом?*

— Одним з основоположників оптичної голографії є Юрій Миколайович Денисюк з Державного оптичного інституту в Ленінграді. Він узяв за основу ідею Габрієля Ліппмана, французького оптика, лауреата Нобелівської премії з фізики 1908 р., який ще наприкінці XIX ст. ви-

найшов новий спосіб фотографічної реєстрації інформації. Він примудрявся отримувати кольорові фотографії на звичайній чорно-білій пластинці. Їх так і називали — фотографії Ліппмана. З деякою «натяжкою» можна сказати, що Ліппман також відкрив голографію. Він реєстрував голограми сфокусованих зображень, але не ставив собі за мету відтворювати об'ємні зображення. Його цікавила фіксація об'єктів у їх природних кольорах. Значного поширення фотографії Ліппмана так і не набули через те, що в цій технології використовували ртутне дзеркало. Замінити отруйну ртуть було нічим, оскільки саме вона забезпечувала дзеркальний шар в ідеальному контакті зі світлочутливою речовиною. Крім того, фотографії Ліппмана не можна було розмножувати.

Ю.М. Денисюк розвинув ідею Ліппмана, запропонувавши свою схему запису голограм, у якій опорна хвиля від лазера спрямовується на майже прозору фотопластинку. Пройшовши крізь неї, промінь потрапляє на об'єкт, формуючи складну сигнальну хвилю, відбиту від об'єкта назустріч опорній хвилі. А отже, у схемі Денисюка реєструється *відбивна голограма*, в якій сигнальна та опорна хвилі падають на пластинку з різних боків.

Принциповою перевагою методу Денисюка є можливість відтворення тривимірного зображення звичайним білим світлом. Голограма, записана у досить товстому шарі фотоемulsії (до 10 мкм), спрацьовує як фотографія Ліппмана, вибираючи з білого світла один тільки колір — колір лазерного світла, яким її записали. З розвитком лазерної техніки з'явилися доступні неперервні лазери не лише з червоним, а й із зеленим та синім кольорами. Одночасне використання трьох таких лазерів під час запису голограми дозволило відтворювати тривимірні об'єкти в натуральному кольорі.

— *І саме метод Денисюка ви використовували при створенні голографічних експонатів для виставок?*

— Так. Ця схема дуже добре підходить для образотворчої голографії. Найкраще на таких голограмах виглядають об'єкти з металу. Зо-

лото, скажімо, сприймається саме як золото, можливо, з дещо більш червоним відтінком. Для створення голографічних копій давньогрецьких та скіфських золотих прикрас така особливість була дуже важливою. Проте й об'єкти з темних металів на голограмах також виходили непогано.

Одним з експонатів, голограму якого ми робили до відкриття Музею історії Великої Вітчизняної війни, був уже згаданий мною пістолет Макарова з якогось рівненського музею. Всі, особливо військові та працівники спецслужб, були просто у захваті від цієї голограми — такою вона була реалістичною. Наскільки я пам'ятаю, після закриття виставки співробітники тодішнього КДБ України забрали її собі. Потім наприкінці 90-х років з'ясувалося, що сам пістолет Макарова якимось чином «загубився» і зник з музейних фондів, але є шанс, що його голограма й досі зберігається десь у надрах СБУ.

**— Для демонстрації на виставках ви підсвічували голограми звичайними лампами розжарювання?**

— Ні, спочатку з цим були певні проблеми. Звичайне світло для цього не дуже підходить. Потрібне або сонячне світло, або спеціальні лампи, яких у нас не було. Ми зверталися навіть до спеціалізованого галузевого інституту в Києві, в якому тоді розробляли освітлення для пам'ятника Леніну (того, що стояв на Майдані, там, де зараз колона Незалежності). Проте нічого у нас з ними не вийшло, оскільки на Леніна грошей, звісно, не шкодували, а для освітлення голограм ніхто б не виділив такого значного фінансування. Тому нам довелося самим щось вигадувати, і ми пристосували великі театральні софіти. Розміщували їх досить далеко від голограми, майже під стелею музейного приміщення, і загалом виходило непогано.

**— А голографічний напрям у нашому Інституті фізики виріс з лєнінградської школи Дєнісюка чи розвивався незалежно?**

— Тісної співпраці з лєнінградською школою у нас не було ніколи. Річ у тім, що наші

тематики досліджень практично не перетиналися. А коли ми почали робити голограми для музеїв і постала потреба у фахових консультаціях, ми отримали їх в АН Грузії у неперевершеного оптика, творця найкращих у світі відбивних голограм Шермазана Димитровича Какічашвілі.

Ми займалися, як я вже говорив, проблемами динамічної голографії. Цей напрям майже одночасно виник у Мінську, в Білорусі, і в нас у Києві. Особливість динамічної голографії полягає у використанні нелінійних середовищ, у яких інтерференція опорної та об'єктної хвиль створює голографічну ґратку безпосередньо, без хімічного чи будь-якого іншого процесу проявлення. Поява ґратки спричинена явищем самодифракції, яке відсутнє в традиційній статичній голографії. Опорна хвиля дифрагує на динамічній ґратці в напрямку сигнальної, а сигнальна — навпаки, в напрямку опорної. Внаслідок цього на виході з нелінійного матеріалу з динамічною ґраткою дві хвилі можуть суттєво відрізнятись від тих, що були на вході. В принципі, це дозволяє впливати як на інтенсивність, так і на структуру вихідних хвиль.

Другою особливістю є те, що завдяки обмеженому часу релаксації реєструвального середовища самодифракція відбувається в реальному часі. Структура динамічної ґратки автоматично підлаштовується, реагуючи на будь-які зміни структури вхідних хвиль.

Коли ми починали нашу діяльність, передбачалося, що такі особливості динамічних голограм дадуть змогу вирішити проблему перетворення світлової хвилі зі складною структурою в ідеалі на плоску хвилю з дифракційною розбіжністю. Зазвичай для того щоб побачити голограму, ми посилаємо пучок з рівним фронтом і відтворюємо зображення. А ми працювали над оберненим завданням: посилаючи пучок, який несе інформацію про зображення, за допомогою голограми намагалися відтворити плоску хвилю.

**— Навіщо?**

— Перші лазери, з якими ми працювали, мали проблеми, пов'язані з розбіжністю лазер-

ного випромінювання. Використовували тоді лазери на рубіні і накачували їх за допомогою потужних ламп білого світла. Однак ці лампи сильно нагрівали стрижень, а тому у спектрах виникали теплові неоднорідності. Через це замість бажаного «гіперболоїда інженера Гаріна» з вузьким спрямованим пучком світла ми мали досить великий кут розбіжності променя. Для оптичної локації або для лазерного вимірювання далеких відстаней така розбіжність була неприйнятною.

Тоді керівник нашого відділу Марат Самуїлович Соскін запропонував ідею, як перетворити «поганий» пучок на «хороший». Для цього слід записати голограму розбіжним випромінюванням, потім оптичними засобами виокремити пучок, «почистити» його і зробити плоску хвилю, а далі в результаті дифракції сильного, але «поганого» пучка на голограмі перенаправити частину світла в «хороший», але слабкий пучок з регулярним хвильовим фронтом.

Цією проблемою ми займалися не один рік. Ще за радянських часів встигли навіть отримати Державну премію СРСР за цю роботу. У складі авторського колективу були також наші колеги з Інституту фізики АН Білорусі та Оптичного інституту в Казані, сам Юрій Миколайович Денисюк і, як прийнято було в ті часи, одна представниця московського ФІАНу.

Проте досягти поставленої мети було зовсім не просто. Щоб здійснити такі перетворення на динамічній голограмі, потрібно було знайти відповідні нелінійні середовища, визначити оптимальні схеми взаємодії хвиль світла. Ми працювали тоді з найрізноманітнішими матеріалами, намагалися навіть писати голограми на поверхні ртуті. Уявляєте, скільки при цьому було проблем з технікою безпеки?

**— І на якому матеріалі зрештою зупинилися?**

— На ніобаті літію. Знайшли партнерів з Вірменії, які вирощували такі кристали завтовшки кілька міліметрів. Виявилось, що дифракційна ґратка в ніобаті літію має властивість

спрямовано перерозподіляти енергію з одного пучка в інший. Те, що нам вдалося на цьому матеріалі зробити модель енергообміну на зсувних ґратках, стало певною несподіванкою для колег-оптиків на Заході. Тому наші перші роботи назбирали вже кілька тисяч цитувань. Звісно, в подальшому цей напрям набув стрімкого розвитку в усьому світі і прогрес був неймовірний. Згодом знайшлися й інші, набагато кращі за ніобат літію матеріали, яких у нас взагалі не вирощували, зокрема титанат барію.

Пошуки найефективнішого матеріалу для динамічної голографії тривають і сьогодні. Певним проривом у новому тисячолітті стали наші спільні роботи з членом-кореспондентом НАН України Юліаном Мироновичем Височанським та професором Олександром Олексійовичем Грабарем з використання кристалів  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  з унікальною швидкодією. Такі кристали вирощують в Ужгородському національному університеті.

**— Тобто ви тісно співпрацюєте з матеріалознавцями? А з промисловцями?**

— У наших роботах крім вирішення завдань, пов'язаних з лазерною технікою, завжди був присутній матеріалознавчий аспект. Загалом практично в будь-яких академічних дослідженнях, наприклад з оптики, завжди є вихід і на інші галузі знань. Ми, наприклад, могли запропонувати суто оптичні методи оцінки якості, способи вимірювання тих чи інших параметрів, зокрема, для електронної промисловості. В ній використовують напівпровідникові кристали, для яких потрібно знати такі характеристики, як рухливість носіїв, кількість домішок, дефектність кристала, і їх можна визначити за зміною властивостей голограм. Але наша плідна співпраця з промисловістю тривала доти, доки у нас була ця промисловість.

Загалом, пошуки придатних для динамічної голографії матеріалів привели до кількох яскравих неочікуваних результатів, і спочатку ці ідеї навіть наражалися на потужний спротив класичних шкіл. Так, у США було відкрито об'ємний фотогальванічний ефект: під дією опромінення кристал без центру інверсії може

генерувати постійний електричний струм. Здійнявся галас: «Ви претендуєте на створення *perpetuum mobile!*». Радянський журнал «Фізика твердого тела» категорично відмовлявся розглядати роботи, пов'язані з цим ефектом. Знадобився деякий час, щоб усі зрозуміли, що струм створюють нерівноважні фотозбуджені електрони і ніякого «вічного двигуна» тут немає. А ось використання цих струмів для запису голографічних динамічних ґраток просторового заряду цілком можливе. Дослідження нашої групи довели тензорний характер цього ефекту, а найбільш оригінальним внеском стало експериментальне підтвердження існування так званих просторово-осцилюючих фотогальванічних струмів та їх подальше дослідження.

— *Сергію Георгійовичу, а як сьогодні в Інституті фізики розвивається напрям з динамічної голографії?*

— Сьогодні цей напрям в Інституті продовжує розвиватися зусиллями чотирьох дослідників. У зв'язку з появою нової лазерної техніки, яка генерує імпульси фантастично короткої тривалості, перед нами постали питання: чи змінюються при цьому закономірності взаємодії хвиль при записі динамічної голограми, які саме швидкоплинні процеси в реєструвальному матеріалі стають актуальними для запису ґратки і, нарешті, які нові можливості відкриваються для голографії при використанні таких імпульсів.

Плідна співпраця з німецькими колегами, які мають у своєму розпорядженні найсучасніший фемтосекундний лазер, дала змогу відповісти на деякі з цих запитань. Нам вдалося довести існування нових механізмів запису. В певних умовах вони проявляються поряд з уже відомими процесами взаємодії неперервних хвиль, що іноді приводить до неочікуваного, майже парадоксального результату. Ми показали, що стаціонарну голографічну ґратку можна створити за допомогою двох пучків світла різного кольору (синього та зеленого в наших експериментах). Інтерференційні смужки, що мають записати ґратку, переміщуються

при цьому з шаленою швидкістю, близькою до швидкості світла, але завдяки ультракороткій тривалості імпульсу їх можна зафіксувати в реєструвальному матеріалі, причому з високим контрастом. Зараз ми працюємо над тим, як з використанням ультракоротких імпульсів вирішити проблему запису ґраток випроміненням середнього ІЧ-діапазону.

Однак ми не залишаємо поза увагою і традиційну динамічну голографію з неперервними лазерами та матеріалознавчо орієнтовані роботи. Вагомі результати зі створення голографічних датчиків ультразвуку на кристалах CdTe, синтезованих у Чернівецькому національному університеті, отримав наш співробітник Костянтин Володимирович Щербін. А Олександр Миколайович Шумелюк використав динамічні голограми для уповільнення довгих (кількасекундних) імпульсів світла. У кристалі світло рухається з певною швидкістю, і при вимиканні опорної хвилі в ньому залишається ґратка із «замороженим» імпульсом. Потім, з будь-якою бажаною затримкою в часі, цей імпульс можна «вивільнити» повторним освітленням кристала опорною хвилею.

— *Звучить дивовижно. А в яких галузях можна використати це явище?*

— Розумієте, поки що важко передбачити, в яких практичних застосуваннях це може знадобитися. Втім, неймовірно висока дисперсія ефективного показника заломлення, яка необхідна для такого досить тривалого утримання імпульсу в кристалі, вже зараз виявилася цікавою для створення інтерферометрів з певними бажаними характеристиками.

— *Ви згадали співпрацю з німецькими оптиками. За радянських часів ваша тематика була, мабуть, закритою? Ви мали можливість спілкуватися із західними колегами?*

— В СРСР усі тематики, пов'язані з лазерами, були закритими. Вперше я потрапив за кордон наприкінці 80-х років, проте міжнародні контакти все ж були й раніше. Найчастіше в Росії, але подеколи і в Києві проводилися між-



народні конференції з оптики, фізики кристалів, голографії. Тому багатьох провідних дослідників я знав особисто. Однак нормальні наукові зв'язки встановилися у нас уже після розпаду СРСР.

**— В яких країнах на Заході найбільш активно розвивалися дослідження з динамічної голографії?**

— Спочатку у США цією тематикою практично не займалися. Досить сильна дослідницька група була у Франції. Розвивали цей напрям і в Німеччині, однак там основну увагу приділяли не стільки перетворенню пучків, скільки розробленню голографічної пам'яті. Один колега з Німеччини і досі зберігає малесенький кристал, на якому в середині 70-х років він записав усю телефонну книгу міста Гамбурга. Але німці цікавилися нашими роботами, розуміючи переваги динамічних систем.

Проте у західних країнах ці роботи також були пов'язані з військовою тематикою і, відповідно, на наукове спілкування накладалися певні обмеження. Вже після припинення холодної війни ми активно намагалися знайти в Європі проекти з цього напрямку, виконання яких забезпечувало б українській стороні хоча б якесь фінансування. Спочатку це більш-менш вдавалося. У наших західних партнерів було щире прагнення допомогти країні, яка тільки-но з'явилася на мапі Європи, але з роками ці благі наміри поступово згасали. Та й дуже багато наших висококласних фахівців переїхали до інших країн і працюють уже там. Наприклад, два співавтори нашої найбільш цитованої публікації з динамічної голографії вже давно американці.

Крім того, в оптиці, як і в інших науках, існує мода. Впродовж багатьох років для отримання більш-менш пристойного фінансування в Європі потрібно було декларувати, що ти працюєш над створенням оптичного комп'ютера або розробляєш оптичну пам'ять. Потім слід було говорити, що ти займаєшся нанофізикою, і нехай маєш у цій галузі нанорезультати, непомітні неозброєним оком, але все одно, сама лише згадка про «нано» вже була престижною.

**— І на чому ґрунтується ця мода? На розумінні чиновника під яку тематику виділяти гроші? Я Вас про це запитую, бо Ви досить довго працювали в різних країнах і мали можливість ознайомитися з їх «науковою кухнею», так би мовити, зсередини. Адже у нас також завжди були пріоритетні напрями. Раніше їх формулювала держава, тепер це самотужки намагається робити Академія.**

— Чи ґрунтується мода на наукові напрями на розумінні чиновника? І так, і ні. Річ у тім, що західні чиновники обов'язково мають консультантів з наукового середовища, вони передусім спираються на думку експертних рад, які обґрунтовують для них корисність фінансування тієї чи іншої тематики, вказують на напрями, в яких можна очікувати певні прориви. Але регуляція з боку чиновників досить відчутна. Якщо якийсь напрям перестає вважатися перспективним, фінансування просто закривають.

**— А що спільного і відмінного, на Вашу думку, є в різних західних моделях фінансування науки?**

— Кожна розвинена країна має свої особливості організації і фінансування науки, але скрізь є державні регуляторні органи і державна структура, яка визначає пріоритетні для країни напрями досліджень і, відповідно, фінансує їх у першу чергу. У Франції, мабуть, найбільш централізована система. Майже за все там відповідає Національний центр наукових досліджень (CNRS), в Японії державну політику в галузі науки і технологій визначає відповідна рада при уряді держави. У Німеччині і США система державної підтримки науки набагато більш диференційована.

**— Ви кажете про базове фінансування науки, так? А як щодо грантової системи розподілу коштів?**

— Так, другою загальною рисою є те, що майже в усіх країнах є організації на зразок фондів наукових досліджень, які й забезпечують грантову систему фінансування. Це можуть бути як

суто державні, так і приватні або благодійні організації. Діяльність цих фондів може охоплювати весь спектр наукових досліджень у країні або зосереджуватися на якихось вузьких напрямках. Наприклад, у Німеччині найбільший державний фонд DFG, Фонд Олександра фон Гумбольдта, а також безліч інших державних і приватних організацій фінансують різні сфери науки, але є і досить великі фонди, які спеціалізуються на конкретних галузях. Так, близький до моєї тематики фонд фінансує проекти з оптики та лазерної фізики. Він має досить великий капітал, який постійно підживлюється коштами промислових компаній. Є спеціалізований фонд, який більшою мірою орієнтується на медичні застосування оптики. Є фонд компанії «Фольксваген» — одна з найбільших приватних некомерційних організацій, діяльність якої спрямована на сприяння розвитку науки. Крім того, є освітні фонди, організації, що підтримують молодих дослідників, тощо. Тобто джерел грантового фінансування дуже багато.

Зазвичай дослідники самі пропонують свою тематику, а експерти оцінюють її перспективність і приймають рішення давати гроші під ці роботи чи ні. Як правило, фонди намагаються залучати експертів з інших країн, і причина цього проста: в окремих напрямках науковці настільки добре знають один одного, що уникнути конфлікту інтересів чи протекціонізму майже неможливо. Якщо керівники фондів знаходять фахівців у цій галузі з інших країн, вони звертаються до них, сподіваючись на більшу об'єктивність оцінювання, оскільки їх насамперед цікавить ефективність розподілу коштів.

І ще згадаю третю, мабуть, найголовнішу загальну особливість фінансування західної науки. У розвинених країнах не лише держава вкладає кошти в науку. Велику частку бере на себе промисловість, яка зацікавлена в тому, щоб впроваджувати новітні технології, нові виробничі процеси. Саме розмір цієї частки недержавних коштів, виділених на науку, і є однією з відмінностей між країнами. Вона значно різниться, але практично скрізь на державне

фінансування припадає менше половини загальних витрат на наукові дослідження, решту покривають промислові компанії.

Однак тут є і зворотний бік медалі, оскільки промисловці зазвичай ставлять вимогу не оприлюднювати отримані досягнення. Один мій знайомий із США навіть пожартував з цього приводу, що єдиний журнал, в якому можна публікувати результати прикладних робіт з фізики, — це The Wall Street Journal.

В Україні ця ланка практично відсутня, проте державу така ситуація не дуже хвилює, що принаймні дивно. Наші можновладці чомусь дотримуються хибної думки, що простіше купити за кордоном готову технологію чи навіть готову продукцію, ніж зробити щось своє.

**— А чи не виходить так, що фонди видають гранти лише під ті дослідження, в яких результат більш-менш гарантований?**

— Вибудовуючи державні пріоритети в науці, всі розвинені країни спираються насамперед на розвиток науково-технічного прогресу і нагальні потреби свого суспільства. Проте ступені ризику і досяжності конкретного результату можуть досить сильно різнитися. Іноді фінансуються навіть божевільні проекти, і хоча ймовірність досягти в них успіху не така вже й велика, але в разі позитивного результату можна здійснити справжній прорив. Тому готовність ризикувати, вкладаючи гроші в науку, в різних країнах різна.

А ще різниться спрямованість державного фінансування наукових досліджень. Скажімо, у Франції традиційно держава приділяє значну увагу фундаментальним дослідженням, у Німеччині більшою мірою фінансуються прикладні дослідження, а в Японії, де частка приватного сектору у витратах на науку одна з найвищих у світі, наукові дослідження майже нероздільні з технологіями.

**— Проте, незважаючи на високий рівень фінансування, науковці в розвинених країнах, мабуть, все ж бажали б для себе якихось змін на краще? Які соціальні проблеми найбільше їх хвилюють?**

— Звісно, вчені в будь-якій країні ніколи не бувають повністю задоволені ані умовами наукової праці, ані рівнем фінансування досліджень. Особливо це стосується французів. У Франції дослідники чітко поділяються на співробітників CNRS і співробітників університетів. Фінансування для CNRS виділяється з держбюджету, в тому числі й на заробітну плату працівників Центру, університети до цього не мають жодного стосунку, хіба що так історично склалося, що лабораторії CNRS розміщені на їхній території. Позиція у структурі CNRS дає досліднику певну соціальну захищеність. Навіть якщо тематика, за якою працював учений, закривається, він може перейти до іншої лабораторії, може переїхати в інше місто, і його ставка зберігається. У цьому сенсі є певна подібність до нашої академічної системи. До того ж французи традиційно дуже бурхливо реагують на будь-які спроби уряду хоч якось зазіхнути на їхні громадянські та соціальні права і, якщо їх щось не задовольняє, легко вдаються до страйків.

У Німеччині кардинально інше ставлення до цих питань. Якось я став свідком ситуації, коли німецький уряд ухвалив якийсь не дуже вдалий закон щодо університетської освіти. Студенти обурилися і зібралися страйкувати. Вони звернулися до свого професора, який займав в університеті найвищу професорську позицію *Beamter*. Цей бажаний для багатьох статус дає вченому гарантовану роботу до пенсії і державне фінансове забезпечення, але й накладає певні етичні та й юридичні обмеження — німець не буде критикувати і виступати проти дій державної влади, яка виплачує йому заробітну плату. Тому професор відповів студентам, що він розуміє і повністю поділяє їхнє обурення, але підтримати їх не зможе. Крім того, він має нагадати їм, що лекції, пропущені внаслідок страйку, ніхто потім не компенсує. Загалом у німецьких дослідників є дуже чіткі плани наукової або викладацької роботи і вони їх неухильно дотримуються, досить болісно реагуючи на будь-які неочікувані корективи, які іноді вносять життя. Тобто менталітет у системі організації науки відіграє певну роль.

— *Досягти постійної позиції професора, мабуть, не так просто. Як працюють ті дослідники, яким не пощастило її зайняти?*

— І у Франції, і в Німеччині вкрай складно зайняти постійну позицію професора, для цього потрібно виграти державний конкурс, претендентів у якому дуже багато. Тому в Німеччині більшість учених працюють за короткими контрактами і майже постійно шукають собі місце роботи.

Багато чого залежить від спеціалізації вченого. Наприклад, я почав їздити до Німеччини майже відразу після її воз'єднання. В НДР кількість фізиків-оптиків була дуже великою, оскільки вони працювали переважно на оборонну промисловість СРСР. Тому ринок праці був перенасичений фахівцями в цій галузі, причому дуже висококваліфікованими. У студентів майже не було шансів знайти роботу. Проте за 5–7 років ситуація стабілізувалася, багато оптиків з тих, кого я знав, або пішли в інші наукові напрями, або взагалі змінили професію. Їх це не жахає. В цьому плані німецькі вчені набагато гнучкіші за наших.

Крім того, більшість випускників університетів надовго в науці не затримуються. Вони йдуть в аспірантуру, захищаються, а потім шукають собі місце у промисловості, оскільки оклади там вищі, а науковий ступінь їм потрібен лише, щоб підняти свою вартість на ринку праці. Тому в науці плінність кадрів нижчого щабля дуже велика. До того ж наукове звання значно підвищує і соціальний статус. Якщо ти доктор, це обов'язково написано на дверях твого кабінету, до тебе зовсім по-іншому ставляться люди, а звання професор зазначають навіть у паспорті поряд із прізвищем. Держава захищає цей титул. Якщо виявиться самозванець, який назве себе професором, він потрапить до в'язниці.

Отже, переважна більшість дослідників працює на 2–3-річних контрактах. Тема завершилася — шукай інший контракт. З роками науковець поступово накопичує зв'язки, публікує статті, використовує будь-яку нагоду, щоб заявити про себе на конференціях. Усе це позначається на його репутації, і чим

далі, тим простіше йому знайти роботу. Проте за грантове фінансування як великих, так і маленьких проектів потрібно боротися, що постійно тримає дослідників у тонусі, оскільки у гранті закладено гроші і на заробітну плату, і на відрядження, і на придбання обладнання та витратних матеріалів, а останнім часом — ще й гроші на публікації, які тепер стають платними для науковців.

Якщо вчений упродовж двох місяців не влаштувався на роботу, він отримує від держави грошову допомогу. Тому ті, хто не зміг одразу працевлаштуватися, зовсім не почувають себе приреченими. Вони впевнені, що так чи інакше, не в науці, так у промисловості роботу вони знайдуть.

**— Де комфортніше працювати середньому фізику-досліднику: в Європі чи у США?**

— У США я працював лише у Стенфордському та Принстонському університетах. Причому Принстон взагалі стоїть дещо окремо, оскільки він від початку мислився як основна кузня керівних кадрів держави. Тому я не можу сказати, що добре знаю американську систему. Однак навіть на перший погляд очевидно, що у США набагато більша, ніж у Європі, конкуренція в науці, конкуренція за проекти, посади, більш жорсткі людські і соціальні стосунки. Американська система побудована на тому, що ти постійно маєш усе сам виборювати, намагатися щось «урвати» для себе. Загальне напруження в роботі там вище, ніж у Європі. Професорська посада в університеті оплачується дуже непогано, але якщо ти хочеш займатися наукою, організувати дослідну лабораторію — це цілком твоя справа, як знайти на це гроші. І нашим співвітчизникам дуже складно пристосуватися до таких умов.

Показовим є приклад відомого фахівця з нелінійної оптики і оптичної голографії Бориса Яковича Зельдовича, сина одного з творців атомної і водневої бомби Якова Борисовича Зельдовича. Ще в 90-ті роки Б.Я. Зельдовича запросили на роботу до Університету Центральної Флориди, де він непогано почувався, але проводити власні дослідження так і не спроміг-

ся, оскільки абсолютно не був пристосований до їхньої системи організації науки. У Росії він звик, що одне лише його ім'я відкривало двері до будь-якого чиновницького кабінету і давало змогу отримувати необхідне фінансування, але в США це аж ніяк не спрацьовувало. Тому в Америці він залишався викладачем і американці майже не йшли до нього в аспірантуру, оскільки в тому суспільстві практично ніхто не хоче бути чистим фізиком-теоретиком — така спеціалізація значною мірою ускладнює майбутнє молодого дослідника. Вчений там має робити щось корисне, видавати якісь практичні результати, а теорією може зайнятися лише за сприятливих для цього обставин.

**— Тобто в Європі фізику-теоретика простіше знайти фінансування?**

— У Європі фінансування чисто теоретичних проектів з фізики значною мірою залежить від країни. У Франції традиційно поважають теорію, і кожен дослідник неодмінно має вільно володіти математичним апаратом. У Німеччині більш прагматичне ставлення до фінансування фундаментальних досліджень. А у США теорія взагалі не є первинною у фізиці. Вона потрібна досліднику лише тоді, коли йому необхідно глибше розібратися в механізмі того чи іншого явища. Відповідно, і фінансування для суто теоретичних досліджень знайти дуже важко. Звісно, у будь-якого розподілу є «хвости», і фінансування теоретичних робіт у США припадає саме на них.

**— Як і завжди в житті — добре там, де нас немає. А наскільки складно досліднику з нашим українським менталітетом «вписатися» в західну наукову спільноту?**

— Звісно, люди скрізь трапляються різні, але загальна культура поведінки у нас і у них дуже відрізняється. І це впливає на різні сфери життя, практично на всі види відносин як між людьми, так і між державою й суспільством. Зокрема, цим великою мірою зумовлене і ставлення до науки, до інтелектуального потенціалу своєї країни. Причому ця культура закладається змалку і побудована на дрібних нюансах. Наприклад, у

Німеччині вчителі за законом мають звертатися до школярів старших класів не інакше, як Негг Schmidt, скажімо. Тобто вже підлітком людина починає усвідомлювати себе повноцінним членом суспільства, відчувати повагу до себе, а відповідно, вчиться з повагою ставитися до інших. Ці взаємоповажні стосунки «учитель–учень», «аспірант–керівник» у них абсолютно природні, позбавлені будь-якої нещирості, будь-якого притаманного нашому суспільству присмаку феодалізму. І ця внутрішня свобода, внутрішня повага, по-перше, дає людині більшу впевненість у собі, а по-друге, вимагає від неї і більшої відповідальності за свої дії.

*— Наразі обставини складаються так, що для українців стає життєво необхідним*

*якнайшвидше навчитися відповідальності і взаємоповажного ставлення один до одного. Сподіваємося, що певною мірою цьому допоможе й тісніша інтеграція наших учених у європейський дослідницький простір. Дякую Вам, Сергію Георгійовичу, за цю цікаву розмову.*

— Спасибі Вам. Хочу лише додати, що у відповідях на Ваші запитання я згадав прізвища тільки окремих колег, бо перелічити всіх, у кого я вчився і з ким працював, у короткому інтерв'ю неможливо. Але всім їм, згаданим і не згаданим, я безмежно вдячний за дискусії, поради, стимулюючу критику і бажання зробити щось гарне разом.

*Розмову вела  
Олена Мележик*