

---

---

# Наука та інноваційний розвиток економіки і суспільства

---

*В.М. Локтєв*

## Роздуми про розвиток фізики у XXI столітті<sup>1</sup>

Швидкість, з якою відбувається прогрес людства, вражає. Майже на очах одного-двох поколінь сталися нечувані зміни, які здебільшого зобов'язані відкриттям у фізиці, хімії, біології тощо. Будь-який сьгоднішній школяр або навіть студент може про це дізнатися на-самперед у своїх батьків, які народилися, коли ще не було ні регулярних польотів людини у космічний простір, ні кольорового телебачення, ні мобільного зв'язку, ні багато чого іншого. І якщо порівнювати розвиток науки як окремої галузі в різні часи впродовж її історії, що налічує понад 300-400 років, то стає зрозумілим, що він лише прискорюється. Особливо інтенсивним цей розвиток став у другій половині минулого століття і немає жодних сумнівів, що він не стане повільнішим. При цьому гігантськими темпами відбувається накопичення обсягів різноманітної інформації і нових фактів. Це не дозволяє в одному, нехай і відносно великому, виступі спробувати хоча б приблизно відповісти на питання: а що нас чекає в XXI столітті, тільки перше десятиліття якого добігає кінця?

Поставлене завдання слід вважати занадто претензійним і в тому випадку,

коли йдеться лише про одну із зазначених вище наук — фізику, проте я спробую поділитися своїми думками щодо фізики поточного XXI століття. На це мене надихає глибока віра: віра у всемогутню силу знань, які давно перетворились на найпотужнішу продуктивну силу. При цьому, якщо говорити про природничі науки, то фізика, безумовно, посідає серед них провідне місце як найбільш фундаментальна наука або така, що вивчає найглибші та найзагальніші закони і навколишньої природи, і неосяжного Всесвіту.

Щоб розкрити задекларовану тему, спочатку коротко простежимо, якою була і що дала світовій цивілізації фізика попереднього XX століття. Найчастіше, гадаю, його в сучасній середній школі називають століттям революцій і світових воєн, століттям соціальних потрясінь. Не буду заперечувати, це справді так. Але в той же час люди не тільки воювали або відстоювали свої соціальні права. Інтенсивний і неперервний пошук ішов в лабораторіях, де попри війни, революції та світові економічні кризи порівняно невеликі групи дослідників в університетських і академічних лабораторіях про-

---

© В.М. Локтєв, 2009

<sup>1</sup> Виступ на Міжнародній молодіжній конференції «Історія науки і техніки», присвяченій 90-літтю від дня заснування НАН України (Київ. НТУУ «КПІ», 27 травня 2009).

довжували сумлінно робити обрану ними справу — пізнавати таємничі властивості і будову природної та штучної речовини в різних її проявах — від мікро- до макро-світу. Тому з повним правом ХХ століття можна називати століттям фізики. Саме її розвитком, в першу чергу, обумовлений цивілізаційний поступ людства та його головні техніко-технологічні досягнення (серед яких не всі тільки з позначкою «плюс», якщо, наприклад, пригадати зброю масового знищення). Так, можливості суспільства значною мірою зобов'язані відкриттям в цій галузі знань, яка, стрімко розвиваючись, одночасно є й однією з найдревніших. Варто пам'ятати, що генії природознавства Арістотель і Архімед віддалені від нас більш ніж двома тисячоліттями. Повертаючись до фізики ХХ століття, на мій погляд, її основним досягненням стало торжество ідеї квантів і побудова послідовної квантової теорії.

\* \* \*

Кванти не були якоюсь вигадкою дозвольного ума, а, як і багато інших глибоких ідей в природничих науках, визріли з експериментальних спостережень. Зокрема, вони були залучені для пояснення структури спектрів випромінювання, оскільки кінець ХІХ і початок ХХ століть ознаменувалися бурхливим прогресом в електриці та світлотехніці. Щоб розібратися в складних на той час практичних проблемах, необхідно було розв'язати низку виключно фундаментальних задач. Як відомо, німецький фізик-теоретик Макс Планк, бажаючи зрозуміти основні закономірності випромінювання абсолютно чорного тіла, фактично був вимушений висунути гіпотезу про «порції», або кванти, світла, яка забезпечила ідеальний збіг теорії зі спостережуваною

картиною. Нагадаю, що речовина до того вважалася дискретною, а от щодо енергії, то вона розглядалася як виключно неперервна величина. У подальшому ідею про кванти підхопив Альберт Ейнштейн, щоб описати фотоефект, за що отримав Нобелівську премію. А згодом датчанин Нільс Бор, німець Вернер Гейзенберг, француз Луї Де Бройль, австрієць Ервін Шредінгер, швейцарець Вольфганг Паулі, англійець Поль Дірак та багато інших довели ідею про квантову будову матерії до логічного завершення, зробивши її робочим інструментом для обчислення вимірюваних даних. Тепер квантова ідея «йде» далі, і багато видатних природознавців не виключають і дискретності простору часу, але цього, ще нез'ясованого до кінця питання, я торкатися не буду. Додам лише, що квантові уявлення глибоко ввійшли у свідомість будь-якої освіченої людини і вивчаються не тільки у вищій, а й у середній школах.

Говорячи про фізику ХХ століття, не можна не тільки забувати про згадану вище її роль у розвитку техніки та найперевішних технологій, а й те, що вона заклала основи правильного розуміння законів хімії, формує науковий світогляд і має вирішальне значення у проникненні в поки що не зрозумілі закони живої матерії. Звичайно, фізика продовжуватиме залишатися рушійною силою науково-технічного прогресу. І якщо нині квантова теорія — як міцний фундамент фізики — справді є певною мірою вершиною пізнання, то щоб зрозуміти або передбачити, яким шляхом вона розвиватиметься в подальшому, необхідно визначити, які події в ній найбільш вплинули на хід ХХ століття, бо без минулого нема майбутнього.

У різних фахівців вони можуть не збігатися, але я дотримуюсь тієї ж думки, що і двічі лауреат Нобелівської премії з фізи-

ці американець Джон Бардін, 100-річчя від дня народження якого ми відзначали в травні 2008 р., і Нобелівський лауреат 2000 року російський фізик Жорес Іванович Алфьоров. Вони зазначали, що таких визначальних подій три.

\* \* \*

Перша — це відкриття у 1938 р. штучного поділу ядер, яке було зроблене німецькими хіміками Отто Ганом і Фріцем Штрассманном завдяки експериментам з розсіяння нейтронів на урані. З цієї важливої роботи стало зрозумілим принципова можливість як ядерної зброї, так і ядерної техніки, зокрема атомних електростанцій. І ядерна зброя, і ядерна енергетика тепер є одними з чинників, за якими можна оцінювати воєнний або промисловий потенціал тієї чи іншої держави. Не можу при цьому не зазначити, що перша в світі атомна електростанція була збудована в 1955 р. в Радянському Союзі, у місті Обнінську Московської області. Потім такі станції стали широко будуватися, і є країни, серед яких і Україна, де електрика від АЕС перебільшує тепло- і гідроелектрику, а тим більше так звану альтернативну електрику. Для нас в Україні після Чорнобильської катастрофи, походження якої, між іншим, вельми складне, ставлення суспільства до ядерної енергетики як загрози можливих екологічних потрясінь досить скептичне і психологічно в цілому негативне. Тим не менш, фізики-ядерники та енергетики впевнені, що в найближчі десятиліття людству не вдасться відійти від інтенсивного розвитку цієї галузі, оскільки інші джерела енергії — нафта і газ — в цілому обмежені.

Що стосується термоядерного способу отримання енергії, або, як кажуть популяризатори науки, створення штучного

Сонця на Землі, то ця проблема поки що не розв'язана і впевнено говорити, коли це станеться, важко. Незважаючи на суттєве просування в цьому напрямі і будівництво демонстраційного термоядерного реактора, провідні спеціалісти з різних країн одностайно вважають, що це відбудеться не раніше середини ХХІ століття, а тому на ядерний спосіб видобування енергії залишилось ще досить багато часу.

Проте не виключено, що ми зуміємо знайти спосіб накопичення і використання самої сонячної енергії, хоч нині ніхто з фахівців не наважується серйозно прогнозувати, коли людство впорається з цією проблемою, щоб здешевити перетворення сонячної енергії до економічно вигідного рівня. Тому можна з впевненістю передбачати, що ядерні дослідження в аспекті подальшого вдосконалення і збільшення безпеки виробництва електроенергії будуть одними з найважливіших впродовж першої половини ХХІ століття, а може і в подальшому, тому фізики цьому напрямку будуть і мають приділяти першорядну увагу як у фундаментальному, так і прикладному аспектах. Неодмінно актуальним обіцяє залишитись і невпинно зростаюче медичне використання ядерних процесів на потребу людям.

\* \* \*

Друга з трьох подій відбулася у грудні 1947 р., коли фізики Джон Бардін, Уолтер Браттейн і Уільям Шоклі, які працювали в одній з американських лабораторій фірми «Bell», продемонстрували транзисторний ефект. Річ у тому, що під час другої світової війни значного розвитку зазнала радіолокація, і на зміну громіздким і нестабільним ламповим підсилювачам прийшли компактні кристалічні.

Основним результатом названих вчених став винахід германієвого підсилю-

вача, або точкового транзистора. А після того, як з'ясувалося, що критичним процесом при цьому є інжекція, або вприскування, до германію носіїв струму, фізики здогадались, на якому принципі можна створювати напівпровідникові пристрої. Власне, так і сталося, і явище інжекції лежить в основі переважної більшості напівпровідникових приладів, де використовуються  $p-n$ -переходи.

Між іншим, на ньому «зросла» вся сучасна побутова і обчислювальна техніка. Додам, що перша інтегральна схема — два транзистори, кілька конденсаторів і опір — була зібрана на одному кристалі діаметром близько 2 см у 1959 р. Тепер же в інтегральних схемах того ж розміру розташовується до  $10^8$  транзисторів, а питома потужність кожного зменшилась приблизно в  $10^5$  разів!

Отакі зміни відбулися всього за п'ять десятиліть, коли основними гаслами розвитку були: менше, швидше, дешевше. Мікроелектроніка та інформаційна техніка, без яких неможливо уявити наше життя, стали основними виразниками науково-технічного прогресу, галузями, в яких працює до 50% населення технологічно розвинутих країн. Проте старий шлях поступового зменшення розмірів до часток мікронів та поліпшення роботи транзисторів вже по суті себе вичерпує, і проникнення в ділянки нанорозмірів вимагатиме принципово нових фізичних принципів, технологій та елементної бази. Це буде електроніка нового покоління, фактично квантова наноелектроніка. Можливо, її прообразом стане молекулярна електроніка, де активними робочими елементами мають виступати окремі молекули. Врешті-решт, подібні «молекулярні пристрої» працюють у нашому мозку, тому заперечувати їх штучне створення неможливо, і на цьому актуальному напрямі йдуть інтенсивні наукові пошуки.

\* \* \*

Нарешті, ще однією вирішальною фізичною подією другої половини ХХ століття стало, на мій погляд, створення лазера<sup>2</sup>. Його історія цікава і повчальна. Скоріше за все, не думаючи про майбутні лазери і можливість їх винаходу, Альберт Ейнштейн у 1917 р., щоб пояснити розподіл густини випромінювання нагрітими тілами, висловив припущення про наявність поряд з спонтанними також і стимульованих оптичних переходів випромінювального типу. Минуло кілька десятиліть і в 1954 р. радянські фізики й майбутні Нобелівські лауреати Микола Геннадійович Басов і Олександр Михайлович Прохоров та незалежно Чарлз Таунс змогли, виходячи саме з ідеї Ейнштейна та ідеї Дірака, сформулювати і вперше реалізувати принцип підсилення електромагнітних хвиль, створивши відповідний підсилювач в радіочастотному діапазоні хвиль — мазер. Пізніше в Америці був побудований перший оптичний підсилювач, або лазер. З того часу лазери дістали широке застосування — наукове, технологічне, медичне і воєнне.

А одне з найважливіших застосувань в інформаційній сфері народилося тільки після винаходу напівпровідникових гетероструктур. Перші були вирощені вже згадуваним вище фізиком-експериментатором і техноло-

<sup>2</sup> Хочу підкреслити, що мова йде лише про найвидатніші події саме у фізиці. Бо якщо б мене спитали про три взагалі наукових відкриття ХХ століття, то мій вибір був би дещо іншим, а саме: як і вище, це створення *квантової механіки*, а крім нього — розкриття *генетичного коду* та винахід *комп'ютерів* (насамперед персональних). Але більш-менш детальний аналіз цих відкриттів виходить за рамки теми даної статті. Можна тільки зауважити, що фізика і фізики тут теж були на провідних ролях, оскільки квантова механіка є, як відомо, розділом фізики, тайну генетичного коду розгадав видатний фізик-теоретик Георгій Гамов (між іншим, який народився і виріс в Одесі), а сучасну обчислювальну техніку просто неможливо уявити без напівпровідникового матеріалознавства.

гом Ж.І. Алфьоровим у 1967 р. з метою мати кілька хімічно різних композицій в єдиному, що принципово і що саме і було відзначено Нобелівською премією, монокристали, а вже у 1970 р. запрацював неперервний напівпровідниковий лазер, де роль накачки відігравав електричний струм, що виявилось дуже зручним з усіх точок зору. Нині такі лазерні елементи з різних матеріалів стали серцем волоконно-оптичного зв'язку, який забезпечує мільйони телефонних розмов одночасно. Понад 100 мільйонів кабелів опоясують земну кулю і їх кількість невинно зростає, а якість поліпшується. Крім того, подібні пристрої служать «голками», що знімають звук і зображення з всім відомих лазерних компакт-дисків.

У цілому можна бути впевненим, що квантова теорія твердого тіла є і буде значною мірою основою подальшого науково-технічного прогресу. Створюючи в лабораторіях і на виробництві реальні зразки з нових матеріалів, а потім з них елементи і пристрої, ми фактично щоденно наочно перевіряємо справедливість квантової механіки. Технології невинно покращуються, перетворюються на нанотехнології, вже є фахівці зі структурного дизайну, які навчилися складати атоми або молекули у заданому порядку і буквально по частинкам будувати такі нові композиції, які в природі відсутні. Це дуже цікава і важлива галузь науки, що вже давно вийшла на шлях служіння людині. Одним з найбільш сучасних приладів останнього часу є лазер на так званих квантових напівпровідникових точках, який складеться з кількох сотень атомів, зміною кількості яких або формою їх укладки можна впливати на частоту випромінювання. Образно кажучи, побудова подібних нанооб'єктів — це різновид сучасної «квантової алхімії».

Квантові точки — дуже цікаві об'єкти. Їх можна вирощувати, а можна напиляти

шляхом молекулярно-пучкової епітаксії. Саме вони, на думку деяких експертів, мають стати прообразом нових типів транзисторів. Дотепер в основі роботи останніх був перехід з одного стабільного стану до іншого. У колективі квантових точок станів може бути більше, а переходи ініціюватимуться між ними тільки ліченою кількістю електронів. Це, безумовно, вимагає нового рівня квантових технологій, які визначатимуть розвиток напівпровідникової електроніки, яка все більше наблизатиметься до межі, встановленою самою природою. При цьому роботу будь-якого пристрою, яким в принципі може бути і поодинокі молекула, визначатимуть квантові закони і одноелектронні процеси. Вони ж змусять працювати лазерні і комп'ютерні компоненти, енергоспоживання яких стане вкрай незначним.

\* \* \*

Не викликає сумнівів, що розвиток саме цих галузей фізики у ХХІ столітті, як це сталося у ХХ, визначатиме реальний прогрес людства. Водночас чимало у виборі наукових досліджень став диктувати ринок, і все більше уваги приділяється розвитку таких прикладних напрямів, як сітьові технології, швидкодіюча електроніка, бездротовий зв'язок і нанотехнології. Останні на очах стають домінуючими, і через 3-5 років обсяг їх на світовому ринку може перевищити 2-3 трильйони \$. США вже нині виділяють приблизно 10 мільярдів на рік \$, Китай і Росія по 5 мільярдів \$. Все це, певна річ, не може не враховувати будь-яка молода людина, що починає життя і думає про свою (в тому числі фінансову) успішність.

Але знову необхідно підкреслити, сучасна наука не зводиться і не може зводитись лише до досліджень, що швидко

окупаються, і цікавість людини спонукає тиме її до пошуків, єдиним самодостатнім наслідком яких буде чисте пізнання, проте, мабуть, не завжди його корисні застосування. Йдеться, передусім, про природничі науки, які відрізняються не лише змістом (що зрозуміло), а й «зв'язками із зовнішнім світом». Тут ситуація справді різна, оскільки деякі науки, наприклад про Землю, або хімія, біологія, медицина легко «виходять» на споживача. А от відкриття в астрономії, космології, фізиці високих енергій, які до того ж вимагають надзвичайно дорогого оснащення, прямих застосувань, на перший погляд, зовсім не передбачають, а науковці про них здебільшого і не дбають. Прилади для цих фундаментальних дисциплін настільки дорогі, що не підйомні і навіть для розвинутих країн. Тому популярними і неминучими стали дослідження у міжнародних наукових центрах, гроші в роботу яких вкладають одночасно кілька країн. Тим не менш, виникає законне питання: Навіщо державам витрачати чималі кошти на те, що не дає безпосередньої вигоди, і чому б не розвивати лише прикладні галузі, де віддача зрозуміла і швидка?

Проте весь світовий досвід вчить: такий шлях є хибним. Незважаючи на відсутність прямого впровадження, часто-густо так звані побічні результати стають дуже суттєвими. Суперкомп'ютери, надпровідні магніти, прискорювачі та детектори випромінювань, томографи, комп'ютерні мережі, супутниковий зв'язок, Інтернет тощо зароджувалися у фундаментальних фізичних дослідженнях. І це не дивно, адже фізики працюють на межі можливого, адекватних поставленим задачам приладів немає і їх необхідно створювати. Останній яскравий приклад — запуск Великого адронного колайдера восени 2008 р. у Міжнарод-

ному ядерному центрі (ЦЕРНі) в Женеві для дослідження процесів народження і взаємних перетворень елементарних частинок. Обсяг отримуваних даних при цьому планується таким, що сумірний з існуючим у світі, а аналіз відповідної інформації не спроможний зробити жоден серед існуючих суперкомп'ютерів. Спроби знайти спосіб її обробки привели до створення відсутнього раніше обчислювального Інтернету, який отримав назву грид-технології. Колайдер ще не став до ладу, а грид-обчислення вже застосовуються не тільки фізиками і математиками-обчислювачами, а й фармакологами при синтезі нових речовин для ліків, економістами для оцінок роботи великих підприємств і корпорацій, метеорологами при прогнозах погоди, геофізиками при з'ясуванні ризиків землетрусів. Очевидно, що будуть й нові застосування. Приємно відзначити, що грид-мережа вже є і працює в Україні, об'єднуючи обчислювальні кластери НАН України, Київського національного університету, Київського національного технічного університету та ЦЕРНУ.

\* \* \*

Які ж задачі фундаментальних досліджень можна було б окреслити і сформулювати для молодої людини, яка мріє про фах фізика-дослідника? Звичайно їх дуже багато і напевно чи можливо перелічити всі. На мою думку, такими є:

*Чи можуть закони фізики бути уніфіковані?*

*Чи є фундаментальні сталі справді сталими в часі?*

*Чи одні ми у Всесвіті?*

*Яка його будова і роль темної матерії?*

*Чи є більш глибокі принципи, ніж принцип невизначеності або нелокальності?*

---

*Звідки надходять космічні промені з ультрависокими енергіями?*

*У чому полягає механізм високотемпературної надпровідності?*

*Як залежать властивості води від її структури?*

*Що таке скло і скляний стан?*

*Що керує сонячними циклами?*

*Чому полярність магнітного поля Землі час від часу змінюється?*

*Чому відбуваються землетруси або викиди метану у шахтах і як їх передбачати?*

Ще більше запитань постає перед фізикою, коли вона і фізики звертаються до наук про життя, і одне, як на мене, з найцікавіших: Як біомолекули пізнають одна одну? А взагалі таких проблем на межі між фізикою і біологією безліч, і мені здається, що ХХІ ст. має стати століттям біології, яка все більше перетворюватиметься на фізику живої матерії.

\* \* \*

Як було зазначено на початку, розвиток техніки, що спирається на наукові від-

криття і досягнення, неупинний. І жодна людина, навіть знаний письменник-фантаст, не може передбачити всі перспективи в повному обсязі, а висловлені мною власні думки спираються лише на теперішні здобутки. Що можна побажати юнаку або дівчині, які хочуть долучитися до цих хвилюючих пошуків? Насамперед вони мають знати, що наука — професія специфічна і подібна до мистецтва. Вона вимагає і таланту, і характеру. Що до таланту, то це зрозуміло кожному, а от що до характеру, то треба наперед розуміти: термін роботи невизначений, гарантії успіху відсутні, помилки та невдачі неминучі і обов'язково супроводжують творчу роботу. І тільки твердістю духу, а також вірою в свої сили і призначення можна примусити себе продовжувати вперто працювати після чергової невдачі, коли необхідно все починати спочатку. Але тих, хто не зупиниться і знайде в собі резерви розпочати знову, чекає не тільки справжня перемога і визнання, але й ні з чим не зрівняне почуття невимовної насолоди від зробленого — зробленого вперше і першим.

*Б.А.Малицкий*

## **Детехнологизация и деиндустриализация — основной результат реформирования сельского хозяйства Украины**

*Проанализированы результаты реформирования аграрного сектора Украины за годы независимости, показаны пагубное влияние на него неолиберальной экономической доктрины, необходимость создания условий для перехода аграрного сектора на инновационную модель развития.*

В результате проведения неолиберальных реформ в Украине особенно сильно в инновационном плане пострадало сельское хозяйство. Реформы в сельском хозяйстве по существу были наце-

лены на ликвидацию крупных хозяйств и распаивание земли. Предполагалось, что это послужит импульсом для массового развития в стране фермерства. Но в силу некомпетентности реформаторов эффек-

© Б.А.Малицкий, 2009