

ДО ПИТАННЯ ПРО ІСТОРІЮ ФІЗИКИ

Відомий фізик, педагог та популяризатор науки, президент Українського фізичного товариства в 2013–16 роках, професор Максим Стріха підготував до друку навчальний посібник «Розвиток фізичних теорій». Зважаючи на оригінальність подачі матеріалу та його зміст, ми попросили Максима Віталійовича підготувати для «Світогляду» серію статей на основі його книги, де розповісти про внесок українських вчених у розвиток фізичних теорій.



Максим Стріха
доктор фіз.-мат. наук,
професор,
дійсний член
АН вищої школи України,
професор Київського
національного університету
імені Тараса Шевченка,
м. Київ

Слово до читачів

Упродовж більше десятиліття я читаю бакалаврам третього року факультету радіофізики, електроніки і комп'ютерних систем КНУ імені Тараса Шевченка нормативний семестровий курс під назвою «Розвиток фізичних теорій». Мета курсу – дати студентам уявлення про те, як послідовно розвивалися класична механіка, теорія теплових явищ, теорія електромагнетизму й квантова механіка.

Але історія фізики – то не лише хронологічна послідовність відкриттів. Це насамперед – захоплива розповідь про шляхи, яким рухалася до них людська думка, та про події (наукові, політичні, культурні), на тлі яких ці відкриття відбулися. Обізнаність із викладеними фактами я вважаю показником загальної освіченості молодого фізика, його науково-історичної ерудиції, вресгті-решт – долученості до загальнолюдської культури.

Розповідати про історію науки – складно. Не випадково визначний український філософ і культуролог **Мирослав Попович** (1930–2018) пояснював: «Як, наприклад, сьогодні слід писати про Ньютона? Викладати біографію й аналізувати особистість сера Ісаака чи розповідати про основи ньютонівної фізики? Мабуть, можливі обидва шляхи. Адже науки як чогось, що існує поза людськими головами, не можна собі уявити: книги самі по собі, поки їх не читають, є лише папір і друкарська фарба. Фізика, як кажуть, є те, що роблять фізики. Для яснішого розуміння підставових ідей ньютонівної механіки слід простежити, як, під яким впливом, з огляду на які традиції вона реально складалася в її засновника. Із другого боку, можливий і інший виклад, виклад ідей і методів, що не пов'язані безпосередньо з інтелектуальною біографією їх творця, а є радше сучасними формулюваннями, котрі виявились би незрозумілими й навіть, можливо, неприйнятними фундаторові цієї сфери знань, але які по суті залишаються його дітищем».

Іншого підходу дотримувався у своїй фундаментальній, написаній російською мовою, «Історії фізики» (2006) український історик науки **Юрій Храмов**. Свою розповідь він супроводив біографічним словником тих діячів фізики, біографії яких було доречно за строго формалізованими критеріями (для сучасних українських фізиків «перепусткою» до словника стало, наприклад, членство в АН УРСР та НАН України). Усі біографічні довідки про вчених у цій книзі складено за однаковою схемою: навчався, працював, створив (мабуть, єдино прийнятною для енциклопедичного довідника – але дуже небагатьох людей здатне захопити читання статей з енциклопедій).

Зважаючи підхід Юрія Храмова вірним для стандартних наукових монографій та енциклопедичних видань, я буду дотримуватись варіанту, запропонованого Мирославом Поповичем, намагаючись подати історію розвитку головних фізичних теорій на широкому історико-культурному тлі. Причому хочу показати, як відкриття і закони виникали в їхньому первісному формулюванні, яке часом доволі істотно відрізняється від сучасного. Для цього досить порівняти словесний виклад трьох законів механіки самим Ньютоном у його «Математичних принципах натуральної філософії» з їхнім формульним записом у будь-якому сучасному підручнику. Не кажу вже про те, що всю свою механіку Ісаак Ньютон розвинув у формі геометричних побудов, і тільки **Леонарду Ойлеру** належить честь «перезапису» її в звичному для нас аналітичному вигляді.

Водночас (на відміну від того ж Ю. Храмова) я не намагатимуся дати наскрізну картину розвитку фізики «від Арістотеля до наших днів», а зупинюсь окремо на кожній із чотирьох головних фізичних теорій. На цьому шляху були неминучі «повернення», хронологічні й персональні перетини, адже великі уми минулого часто виявляли себе відразу в кількох царинах. Але саме так можна простежити хід розвитку наукової думки в усьому драматизмі, притаманному історії кожної з теорій.

Будуть в цій статті також екскурси в «сусідні» науки, і навіть у філософію. Адже саме філософія допомагає фізикові шукати відповіді на запитання, з якими не впоратися лише за допомогою традиційних формул і вимірювань.

1. Дещо про красу природи і наукове пізнання природи

В основі не лише фізики, але й усіх природничих наук лежать ряд філософських принципів, які були вироблені впродовж століть розвитком людської думки і верифіковані величезною кількістю спостережень для найрізноманітніших ситуацій.

Перший принцип стосується засадничої пізнаваності світу. Давні люди схильні були вбачати в усіх подіях непередбачувану волю богів, яку годі намагатися зрозуміти чи пояснити. Але спостерігаючи впродовж віків закономірності й повторюваності різних природних явищ, іще в сиву давнину мислителі прийшли до приголомшливого висновку: *природу можна осягнути розумом.*

Другий важливий філософський принцип, який використовується й досі, проголошує: *причини породжують наслідки.* Фізика сьогодні зазвичай дотримується правил причинно-наслідкового зв'язку, сформульованих у 1738 р. шотландським філософом **Девідом Юмом** (1711–1776): *«причина й наслідок повинні сусідити в просторі й часі... причина повинна передувати наслідку... Однакова причина повинна завжди призводити до того ж самого наслідку, і той самий наслідок виникає лише з певної однакової причини».*

Третій принцип корисний для вибору між теоріями. «Лезо Оккама» (назва походить від імені англійського філософа й теолога 13–14 століть **Вільяма Оккама**) вимагає *обрати між кількох конкурентних гіпотез найпростішу, засновану на найменшій кількості припущень.*

Четвертою основоположною тезою сучасної природничої науки є віра в те, що американський фізик нобелівський лауреат **Юджин Вігнер** (1902–1995) назвав *«незбагненою ефективністю математики».* Від простих ранніх застосувань арифметики до обчислення площі і до сьогоднішніх ускладнених математичних теорій ми виявляємо, що на позір абстрактна дисципліна математика якимось чином впадає на реальний світ, надійно його описуючи й передбачаючи його поведінку, часто навіть для явищ, які лежать поза первісним призначенням цього математичного опису. Вігнер писав, що *«величезна користь від математики для природничих наук межує з таємницею»*, але ця безсумнівна користь є надзвичайно важливою для фізики.

Саме до філософських принципів учені звертаються у найбільш нестандартних ситуаціях. Ще раз надамо слово філософові Мирославу Поповичу: *«...уявімо на хвилину, що Всесвіт розширюється, а разом із ним розширюються і лінійки та інші способи вимірювання простору, і люди.*

Встановити факт зміни просторового положення неможливо. Спростувати гіпотезу теж неможливо. Чи не варто її прийняти? Відповідь ньютоніанців звучала так: hypotheses non fingo – зайвих гіпотез не вигадую. «Бритвою Оккама» такі припущення просто обрізають. Ляйбніціанці натомість за відправну точку брали те, що коли двох припущень уживають із тими самими наслідками в спостереженні, то вони мають однаковий сенс. Але ж «розширюватися» – це не те ж саме, що не змінюватися в обсязі, скажете ви! Ляйбніціанець відповів би: з людського погляду – так. Але з погляду Бога – ні. Для Бога безконечний Всесвіт, що розширюється, і незмінний Всесвіт нерозрізновані».

Звичайно, саме постановня такого питання здається прагматикові дивним чи й таким, що виходить за межі здорового глузду. Втім лишається нагадати, що так само «за межами повсякденного здорового глузду» були колись теорія відносності й квантова механіка. І нині такою багатьом здається ідея десятивимірному простору, що базується на теорії струн, чи уявлення про вакуум як про надщільне середовище, а про звичайну матерію – як про його «розрідження» тощо. А тому вміння зазирнути часом за поріг усталених уявлень аж ніяк не зайве для того, хто присвятив життя вивченню загадок Природи, або того, хто хоче настановити інших на шлях дослідження.

Адже знання як результат процесу пізнання світу є суперечливим за своєю суттю. Справді, з одного боку знання є продуктом ідеальним, але з іншого боку воно є могутньою матеріальною силою, а надто в нашу інформаційну добу.

Розуміння цілей пізнання, завдань науки, суті знання та його ролі в суспільстві весь час зазнавало змін протягом людської історії. Античні мислителі розглядали знання перш за все як результат споглядання зовнішнього світу, наслідок дискусій на «високі» теми, один із виявів мудрості людини, елемент її духовної, внутрішньої досконалості.

Типовим представником такого ставлення до знання був грецький філософ **Платон**. Він пов'язував знання зі спроможністю людини до правильного, доцільного, етичного життя. За Платоном, знання – це джерело мудрості й високої моральності окремої людини та суспільства.

У подальшому ставлення до знання істотно змінювалося. Англійський філософ XVII століття **Френсіс Бекон** проголосив: *«Знання – сила!».* За визначенням Бекона, *«людина — це слуга й тлумач Природи. Знання і могутність людини тотожні».* Справжнє завдання науки *«не може бути інакшим, аніж наділяти людське життя новими відкриттями й благами».* Ці слова написано 1620 року. З твердження Бекона випливало, що знання можна і треба втілювати в матеріальну потугу. Така думка стала панівною спершу в Європі, а потім і в цілому світі. Розвиток техніки й виробництва в подальші століття послужив прекрасною ілюстрацією цієї ідеї Бекона.

Нині, коли стає очевидним, що ресурси планети Земля обмежені, і з цим потрібно рахуватися й урядам при визначенні стратегічних рішень, і окремим громадянам у своїй повсякденній поведінці, на порядку денному постає питання про синтетичне платонівсько-беконівське ставлення до знання як до поєднання моральності й матеріальної сили.

Надамо слово сучасному українському фізику-теоретику **Іванові Вакарчуку**, котрий завершив свій підручник «Квантова механіка» словами: «Автор далекий від тієї думки, ніби вичерпно пізнавати навколишній світ можна лише послідовним нарощуванням логічних зв'язків у вигляді тверджень і рівнянь. Є інші підходи, які не потребують мови рівнянь, а використовують, наприклад, засоби мистецтва. Ці різні шляхи взаємодоповнювальні. Саме тому ми намагались проводити порівняння різних явищ, що описуються квантово-механічними законами та законами класичної фізики, наводили аналогії з історії, музики, мистецтва... Тут ми стикаємось з відомою проблемою двох культур, із взаємодією образного і логічного мислення».

Важливо також пам'ятати: попри заклик Френсіса Бекона до пошуку утилітарної користі, багатьох дослідників Природи приваблювала насамперед її краса. Великий французький математик **Анрі Пуанкаре** на початку ХХ ст. писав: «Учений досліджує природу не тому, що це приносить користь; він досліджує її, бо вона приносить йому радість, а радість вона приносить, бо вона прекрасна. Якби природа не була прекрасною, її не варто було б досліджувати, а якби її не варто було досліджувати, то не варто було б і жити. Звісно, я не говорю про красу, яка вражає чуття, яка виявляється в речах зовнішніх; я зовсім не применшую значення такої краси, але науці немає діла до неї; мені йдеться про глибшу красу гармонійнішого ладу складових, яку здатний ухопити лише чистий розум».

Показати, як відбувалося це переплетення користі й краси в інтелектуальних пошуках визначних фізиків минулого – ще одна мета мого підручника, який постав на основі прочитаного курсу «Розвиток фізичних теорій» і вже підготовлений до друку у «Видавництві навчальної книги – Богдан» (м. Тернопіль). Нижче я пропоную читачам «Світогляду» два заключні розділи з цього підручника: про внесок українських учених у розвиток квантової фізики, і про ті перспективи, які постали перед фізикою сьогодні, на початку ХХІ століття.

2. Внесок українських вчених у розвиток квантової фізики

До 1917 року Україна залишалася поділеною між двома імперіями – Російською та Австро-Угорською. На її території діяло п'ять класичних університетів (три – Харківський, Київський та Новоросійський в Одесі – в імперії **Романових**, два – Львівський та Чернівецький – в імперії **Габсбургів**). Навчальні програми всіх цих університетів включали курси фізики, проте відповідні кафедри через проблеми з кваліфікованими кадрами й лабораторним обладнанням рідко виходили на передній край світового наукового пошуку. Успішними винятками можна вважати роботи **Мар'яна Смолюховського** у Львові; **Миколи Умова**, який у 1874 році запровадив поняття густини потоку енергії, та **Миколи Пильчикова** в Одесі; **Миколи Бекетова**, який уперше почав читати фізичну хімію як самостійну дисципліну в Харкові, – але цим список майже й вичерпується. Водночас активний розвиток промисловості наприкінці ХІХ століття зумовив відкриття нових політехнічних та технологічних інститутів – у Харкові, Києві, Катеринославі (тепер Дніпро), Львові тощо. Ці інститути також ставали осередками фізичних досліджень, здебільшого – прикладних.

Проте науковців-фізиків, котрі працювали тоді в цих університетах та інститутах, були лічені одиниці. Адже навіть у Петербурзі – столиці Російської імперії – за підрахунками істориків науки працювало на початку ХХ століття не більше двадцяти активних фізиків. Не набагато більше було їх у Москві.

1892 року академічного статусу набуло Наукове товариство імені Шевченка у Львові (тоді – Австро-Угорська імперія), яке в статусі літературно-наукового діяло від 1873 року і до складу якого входила й математично-природописно-лікарська секція, членами якої були відомі фізики – й українці (**Іван Пулюй**), й іноземці (**Макс фон Планк**, **Альберт Айнштайн**, **Абрам Йоффе**). Проте ця організація діяла майже без підтримки з боку контрольованої тоді поляками крайової влади Галичини, спираючись лише на ентузіазм українських патріотів. Її робота мала величезне просвітницьке й термінологічне значення – саме в рамках «Записок НТШ» почала формуватися сучасна українська наукова термінологія, оскільки аж до 1917 року над використанням української мови в громадському житті в Російській імперії тяжіла царська заборона. Однак власних наукових інституцій у царині фізики, що могли б конкурувати з провідними тогочасними світовими науковими центрами, НТШ створити, звісно, не мало змоги.

1917 року Україну було проголошено незалежною. Це відкрило нові шанси для розвитку національної науки. Попри нестабільність воєнного часу 14 листопада 1918 року гетьман України **Павло Скоропадський** підписав закон про створення Академії наук (до 1936 року – Всеукраїнська Академія наук (ВУАН); нині – Національна академія наук України), затвердив її Статут та призначив перших 12 академіків (цікаво, що жодного фізика серед них не було). 27 листопада відбулися перші збори академіків, на яких президентом академії було обрано визначного природознавця, автора вчення про ноосферу **Володимира Вернадського** (1863–1945).

Хоча українські «визвольні змагання» 1917–1921 років зазнали поразки у війні з більшовицькою Росією, їхнім позитивним наслідком стало те, що переможці впродовж 1920-х років провадили політику підтримки національно-культурного й наукового розвитку Української Соціалістичної Радянської Республіки, яку проголосили формально суверенною в складі СРСР. 30 жовтня 1928 року постановою Раднаркому (уряду) УСРР було засновано Український фізико-технічний інститут у Харкові, й це відразу зробило тодішню столицю України одним із центрів світової фізичної науки. Ініціатором створення установи й першим головою її науково-технічної ради став **Абрам Йоффе**, а першим директором – **Іван Обреїмов** (1894–1981).

В інституті було зібрано плеяду блискучих молодих учених, які, за оцінкою тодішнього директора Фізичного інституту АН СРСР, майбутнього президента АН СРСР **Сергія Вавилова**, забезпечили на початок 1937 року приблизно чверть результатів радянської фізики. Ось дуже короткий перелік досягнень першого десятиліття роботи УФТІ:

тут виконували найпередовіші дослідження з ядерної фізики;

тут 1932 року **Антон Вальтер**, **Кирило Синельников**, **Олександр Лейпунський** і **Георгій Латішев** здійснили першу в СРСР і другу в світі реакцію розщеплення ядра літію прискореними протонами;



Лев Шубников, Олександр Лейпунський, Лев Ландау, Петро Капиця, Кирило Синельников та інші молоді вчені на сходах головного корпусу УФТІ. 1935 рік

тут 1940 року було подано першу в світі авторську заявку на створення атомної бомби (авторське свідоцтво було оформлено вже після вибуху атомної бомби над Хіросімою, автор ідеї **Віктор Маслов** загинув на фронті ще на початку війни);

нарешті, тут було створено першу в СРСР і третю в світі криогенну лабораторію, яку від 1930 року очолював, по приїзді з Лейдена, визначний фізик-експериментатор **Лев Шубников** (1901–1937).

Ще працюючи в Лейдені в лабораторії відкривача надпровідності **Каммерлінга-Оннеса**, він разом із **Вандером де Гаазом** (1878–1960) відкрив у достатньо чистому вісмуті осциляції провідності за низьких температур. Ці осциляції Шубникова–де Гааза й нині широко використовують для визначення густини заряду в металах і напівпровідниках. В УФТІ Шубников виконав низку пріоритетних робіт із надпровідності й антиферомагнетизму, разом із Іваном Обреїмовим запропонував метод вирощування монокристалів металів. Саме в УФТІ Шубников відкрив надпровідники II роду, які (на відміну від надпровідників I роду, що їх відкрив Каммерлінг-Оннес 1911 року) в певному інтервалі магнітних полів не «виштовхують» назвні магнітне поле цілком.

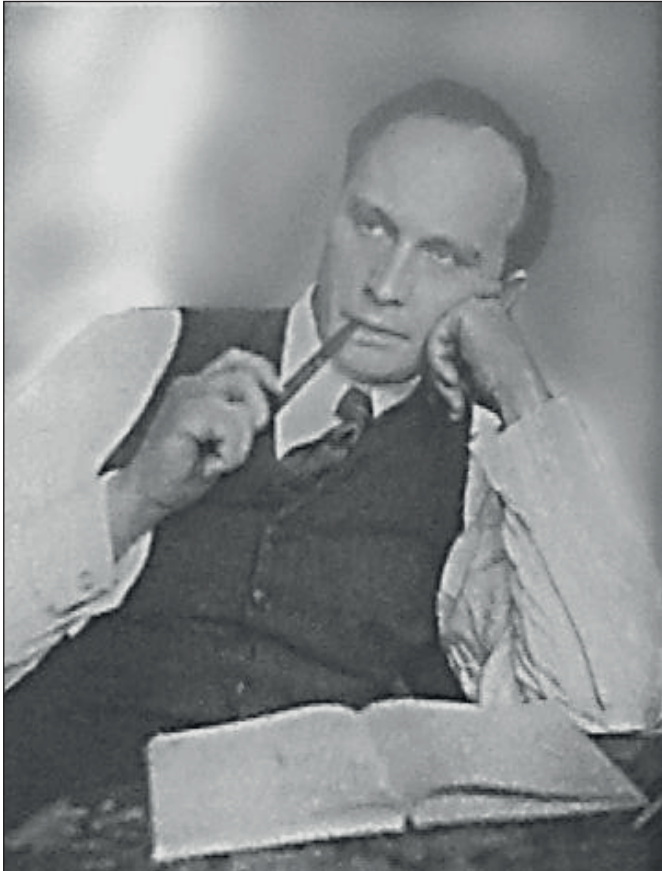
Першим керівником теоретичного відділу УФТІ був **Дмитро Іваненко** (1904–1994). Науковець народився в селі Мачухи під Полтавою. Навчаючись у Полтавському педінституті, він паралельно працював у місцевій обсерваторії, потім продовжив освіту в Харківському й Ленінградському університетах. Після короткого періоду роботи у Фізико-математичному інституті АН СРСР він повернувся в Україну – створювати УФТІ. Саме в цей час у нього сформулювалися ідеї дискретності простору й народження та анігіляції масивних частинок, що лежать в основі сучас-

ної квантової теорії поля й елементарних частинок. 1932 року Іваненко публікує роботу, в якій обґрунтовує протонно-нейтронну модель ядра (до того вважали, що ядро складається з протонів і електронів, які «врівноважують» приблизно половину протонного заряду). Зауважмо – це сталося того самого року, коли **Джеймс Чедвік** виявив експериментально нейтрон. На жаль, Дмитро Іваненко працював у УФТІ недовго. У 1931 році він повернувся до Ленінграда.

Після нього у 1932–37 роках відділ теоретичної фізики в УФТІ очолював геніальний фізик-теоретик **Лев Ландау** (1908–1968). Дослідження Ландау охоплюють практично всі галузі сучасної теоретичної фізики – від механіки рідин до квантової теорії поля. В історію фізики він увійшов як автор понять «рівні Ландау», «діамагнетизм Ландау», «рівняння Ландау–Ліфшиця» для магнітного моменту тощо. У період роботи в УФТІ Ландау розробив сучасну теорію феромагнетизму, запровадив поняття «антиферомагнетиків» і розробив загальну теорію фазових переходів другого роду (1936–37 рр.).

Водночас Ландау очолював кафедру експериментальної фізики в Харківському університеті. Саме тоді в нього з'явилася ідея «теормінімуму» – базового набору теоретичних знань, без яких не можуть обійтися сучасні фізики. На основі теормінімуму Лев Давидович спільно з **Євгеном Ліфшицем** (1915–1985), котрий також працював у 1930-х у теорвідділі УФТІ, створили унікальний багатотомний «Курс теоретичної фізики», який і досі є настільною книгою для фізиків цілого світу. Створюючи цей курс, науковці запровадили собі своєрідний «розподіл праці»: Ландау генерував і викладав ідеї, а Ліфшиць оформлював текст.

Ландау був, безумовно, унікальною людиною. Він народився в Баку в родині інженера-нафтовика. В 14 років



Лев Шубніков

вступив до Бакинського університету, де навчався одночасно на двох факультетах: фізико-математичному й хімічному. Після закінчення Ленінградського університету (1927) вступив до аспірантури Ленінградського фізико-технічного інституту.

Дау (так називали Ландау друзі й колеги) був неймовірно обдарований. Це була людина енциклопедичної освіти. Сам він жартома говорив про себе: *«Інтегрувати навчився років у 13, а диференціювати вмів завжди»*. Окрім російської, він вільно володів німецькою, англійською і французькою, говорив данською, читав голландською, італійською та українською. У 18–19 років він уже опублікував перші зрілі роботи з теоретичної фізики. 1927 року, коли радянських науковців ще надсилали стажуватися за кордон, Ландау (ще навіть не 20-річного) відрядили в Данію до **Нільса Бора**, котрого він відтоді вважав своїм учителем.

Професор Ландау був вимогливий до своїх студентів. Отримати від нього позитивну оцінку, не знаючи предмета, було неможливо. На жаль, у 1937-му, коли цінувалося комуністичне начотництво, а не реальні знання, це стало небезпечним. На професора посипалися політичні доноси. Про атмосферу тих років свідчить доповідь секретаря парткому Харківського університету **С. Кравченка** на бюро Харківського міського КП(б)У 15 січня 1937 року: *«Ландау і Шубніков пропагують расові фашистські теорії, а саме: вони заявляють, що «фізиками можуть бути люди особливої породи, з дитинства обдаровані фізичним талантом» і, звертаючись до студентів фізико-математичного факультету, заявляють, що «з усіх вас якщо й закінчать університет 15% (фізичне відділення), то це буде добре, решта мають відсіятись»*.

Крім того, професорові Ландау закидали «ідеалізм» і зневажливі відгуки про філософські праці **Енгельса** (за іронією долі, Ландау був якраз переконаним матеріалістом і войовничим атеїстом). Звинувачення, як на той час, більш ніж серйозні.

Щоб уберегти Ландау від більших неприємностей, ректор Харківського університету **Олексій Нефоросний** ще наприкінці 1936 року пропонує йому піти «за власним бажанням». Але на захист колеги стають провідні харківські фізики (**Лев Шубніков, Ісаак Померанчук, Олександр Ахієзер, Євген Ліфшиць, Абрам Кікоїн, Вадим Горський**), котрі також подають заяви про звільнення з університету за власним бажанням. Усе це набуває присмаку політичної акції солідарності – немислимої в тоталітарному СРСР.

Як наслідок, ректор повертає Ландау до університету – вже як завідувача кафедри теоретичної фізики (нагадаємо: до того теоретик Ландау завідував кафедрою експериментальної фізики). Але Ландау все одно вирішив переїхати до Москви, до Інституту фізичних проблем. Туди його запрошував **Петро Капиця**, котрий щойно відкрив явище надплинності гелію й потребував його теоретичного пояснення.



Лев Ландау – в'язень (1938 р.)

Однак у Москві Лева Ландау через рік заарештували і лише після року допитів відпустили – украй виснаженого фізично – після того, як Петро Капиця звернувся особисто до **Сталіна**. Важливою була й підтримка з боку директора Фізичного інституту АН СРСР **Сергія Вавилова** (1891–1951) – визначного фізика, з 1945 року – президента АН СРСР. (Вавилов, за свідченням нобелівського лауреата **Віталія Гінзбурга** (1916–2009), виконував у сталінському СРСР ту саму роль, що й **Макс фон Планк** у гітлерівському Рейху – намагався, використовуючи своє офіційне становище, врятувати всіх, кого можна було врятувати. Це попри те, що його старшого брата, видатного генетика **Миколу Вавилова**, було засуджено 1941 року до розстрілу й він загинув через два роки в Саратовській тюрмі.)

1941 року Ландау створив (спільно з В. Гінзбургом) феноменологічну теорію надплинності, за яку через 21 рік отримав Нобелівську премію з фізики. На жаль, на той час він уже не міг активно займатися наукою – через травми, яких зазнав у автомобільній катастрофі на початку 1962 року.

Доля його харківських колег склалася значно трагічніше. І Лева Шубникова, і ректора **Олексія Нефоросного**, і блискучого 32-річного фізика **Вадима Горського** розстрілюють 1937 року. Шубникова – як «шпигуна, диверсанта й шкідника», Горського – як «троцькіста», Нефоросного – як «українського націоналіста». Відтак до кінця 1950-х років, коли почалася кампанія «реабілітації» репресованих, ім'я розстріляного Шубникова згадувати було не можна, навіть у зв'язку з ефектом, який він відкрив. Після «реабілітації» й аж до кінця 1980-х усі довідкові видання СРСР друкували фальшиву дату смерті науковця – 1945 рік – і ні словом не згадували про трагічні обставини цієї смерті. Дружина вченого довідалася про справжню дату його загибелі тільки в 1991 році. Репресовано було й більшість науковців «першого призову», які працювали в УФТІ, включно з його першим директором Іваном Обреїмовим – і це завдало інституту важкого удару.

Не оминули репресії й Дмитра Іваненка. 1935 року його засудили на три роки заслання. Але завдяки заступництву провідних радянських фізиків того часу – Сергія Вавилова, Якова Френкеля, Абрама Йоффе – йому дозволили відбути заслання в Томську, працюючи в Сибірському фізико-технічному інституті. 1940 року науковець встиг ще раз повернутися в Україну, де очолював до початку війни кафедру теоретичної фізики Київського університету. Повоєнна робота Дмитра Іваненка пов'язана вже з Московським університетом, де він викладав до майже 90-річного віку.

Звичайно, Лева Шубникова й Лева Ландау називати «українськими фізиками» можна лише зі значними натяжками. Самі себе вони ідентифікували, напевно, як радянських фізиків, котрим випало певний час працювати в Україні. Але тут вони зробили великий внесок у розвиток фізичної науки. До того ж нині ніхто не дивується, коли «польським астрономом» називають **Миколая Коперника** – народженого у вільній ганзейській Торуні урядовця напівавтономної Вармії, котрий у побуті послуговувався переважно німецькою й наукові праці писав виключно латиною.

Україна багато важила і в особистому житті обох науковців – саме тут Ландау зустрів дружину, студентку хімічного факультету **Конкордію Дробанцеву**, котра згодом самовіддано допомогла повернути до життя геніального науковця після страшної автокатастрофи й уже після смерті чоловіка написала про великого фізика та його добу гранично відверті й емоційні спогади «Академік Ландау. Як ми жили» (1983). І саме тут, у Холодногірській тюрмі Харкова, обірвалося від енкаведистської кулі життя Шубникова...

На відміну від Ландау й Шубникова, один із найвидатніших фізиків-теоретиків і математиків ХХ століття **Микола Боголюбов** (1909–1992), безумовно, ідентифікував себе саме українським науковцем попри те, що народився він у Нижньому Новгороді над Волгою. Коли майбутньому академікові виповнився рік, його батько – священник і викладач богослов'я та філософії – отримав призначення до Ніжинського історико-філософського інституту князя **Безбородька**, а ще за якийсь час став професором богослов'я в Київському університеті Святого Володимира. Мати майбутнього науковця була вчителькою музики, й це також сприяло формуванню гармонійної, духовно багатішої особистості.

Після перемоги більшовиків університет перетворили на КІНО — Київський інститут народної освіти, а богослов'я зі списку навчальних програм викреслили. Тож батько науковця мусив перебраться до села Велика Круча над мальовничою річкою Удай, приблизно на півдорозі від Києва до Полтави, де став парафіяльним священником.

Семирічну школу у Великій Кручі Микола Боголюбов із вдячністю згадував до кінця життя. Звідси він виніс, окрім усього, добре знання української мови й любов до «Кобзаря», рядки з якого любив цитувати з будь-якої нагоди. До речі, посвідчення про закінчення школи-семирічки було єдиним документом про формальну освіту, який Боголюбов отримав за ціле життя.

Річ у тому, що в Києві, куди 14-річний Микола Боголюбов вирушив після закінчення семирічки, всі тогочасні виші не відповідали рівневі запитів і знань талановитого юнака, котрий жадібно займався самоосвітою. Батько науковця завжди дуже уважно ставився до синові освіти й порадився з цього приводу зі своїм колишнім університетським колегою, визначним математиком, академіком ВУАН **Дмитром Граве** (1863–1939). Після розмови з юнаком академік зрозумів: університетські лекції йому вже нічого не дадуть. Відтак Микола Боголюбов отримує дозвіл відвідувати математичний семінар у Граве, а ще за кілька місяців його запрошують (без формальної університетської освіти!) аспірантом на кафедру іншого визначного математика, академіка **Миколи Крилова** (1879–1955).



Микола Боголюбов (у центрі) та Віталій Шелест (праворуч) під час Рочестерської конференції з фізики високих енергій у Києві. 1970 р.

У 15 років Микола Боголюбов надрукував свою першу самостійну наукову працю. А в квітні 1930 року фізико-математичний відділ ВУАН за поданням академіків Крилова й Граве присвоїв 20-річному Миколі Боголюбову ступінь доктора математики.

Основні роботи Боголюбова з математики й механіки присвячені варіаційному численню, наближеним методам математичного аналізу й диференціальних рівнянь, теорії динамічних систем. Особливо значним був його внесок у розвиток статистичної механіки, де науковець створив метод отримання кінетичних рівнянь, виходячи з механіки системи молекул.

Повоєнні роботи Миколи Боголюбова присвячені квантовій фізиці. 1946 року він створив квантову теорію надплинності, а ще через 10 років — квантову теорію надпровідності. У 1950-х він працює над квантовою теорією поля. 1949 року вчений видає в Києві свою піонерську фундаментальну працю «Лекції з квантової статистики. Питання статистичної механіки квантових систем». Цю написану українською мовою книгу читали в оригіналі всі теоретики колишнього Радянського Союзу й країн «народної демократії».

Від 1950 року Микола Боголюбов працює в Москві. Від 1965 року він очолює Об'єднаний інститут ядерних досліджень у Дубні, що мав міжнародний статус. (Незалежна Україна аж до початку російської військової агресії в 2014 році була одним із найактивніших учасників цієї міжнародної наукової організації).

Не поривав Микола Боголюбов зв'язків із Україною. 1966 року за його ініціативою в Києві створюють Інститут теоретичної фізики АН і Боголюбов перші сім років працює його директором, періодично приїздячи з Дубни. 1970 року в Києві відбувається Рочестерська конференція – найбільший міжнародний форум із фізики високих енергій. На неї прибули провідні тодішні фізики – **Янг, Марков, Салам, Маршак, Редже, Понтекорво...**

Безумовно, допомогла підтримка тодішнього керівника України **Петра Шелеста**, син якого Віталій обрав собі шлях фізика-теоретика. Невдовзі після усунення Петра Шелеста від влади зі звинуваченням у «націоналістичних помилках» (1972) полишив директорство в Інституті теоретичної фізики й Микола Боголюбов. Мусив «емігрувати» до Москви і його учень **Віталій Шелест** (1940 — 2020).

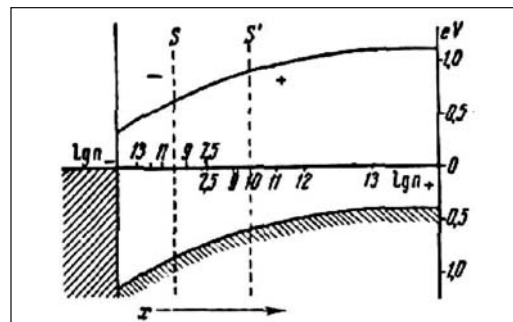
Ім'я вченого, вшанованого за життя всіма можливими відзнаками колишнього СРСР, сьогодні носить заснований ним Інститут теоретичної фізики НАН України. 2009 року Україна на державному рівні святкувала 100-річчя видатного науковця, про якого його брат Олексій згадував: «Починаючи від великокручанської епопеї, він поріднився з Україною, а поезія Шевченка була, власне, першою поезією, якою він захопився. Молодий аспірант кафедри математичної фізики писав протоколи семінарів кафедри по-українськи, і перші його роботи також були написані по-українськи. Від батька він успадкував дух протиріччя. Той, коли був священником, носив коротку зачіску й маленьку борідку. А коли священників стали переслідувати й носити довгу бороду стало непристойним — він відростив бороду. Микола Миколайович у тяжкі для України часи, коли почали знищувати українську інтелігенцію, коли в Харкові відбувався ганебний процес СБУ, а українські книги горіли, – визнав себе українцем і вважав себе ним усе своє життя. Та, власне, й усе становлення його наукової творчості відбувалося в Україні, і далі теж було пов'язане з Україною. Недаремно він називав Київ своїм улюбленим містом, прирівнюючи до нього лише Париж».

1928 року в Києві було засновано Інститут фізики ВУАН. Основними напрямками його досліджень стали електронні властивості твердих тіл та оптика. Школи **Олександра Давидова** (1912–1993) та **Антоніни Прихотько** (1906–1995) теоретично й експериментально довели існування нового типу квазічастинок – екситонів малого радіуса, що відіграють ключову роль у процесах переносу енергії й заряду не лише в конденсованих середовищах, але й у біомолекулярних структурах.

Ще один тип квазічастинок – полярони (електрони, які самоузгоджено взаємодіють із середовищем і знижують тим свою енергію) – запровадив у науковий обіг 1946 року визначний теоретик, киянин за місцем народження й за місцем роботи впродовж цілого життя **Соломон Пекар** (1917–1985). Про захист його кандидатської дисертації 1941 року (за неї 24-річному пошукачеві було відразу присуджено ступінь доктора фізико-математичних наук) Лев Ландау у властивій йому експресивній манері сказав: «У Києві відбулося самозародження теоретичної фізики!».

Студентом Соломон Пекар спеціалізувався на кафедрі електрофізики Київського університету, її очолював один із основоположників сучасної фізичної електроніки **Наум Моргуліс** (1904–1976), який побудував теорію автоелектронної емісії з напівпровідників, успішно працював у галузі емісійної електроніки та фізики плазми. Учнем Моргуліса був **Микола Находкін** (1925–2018), який став одним із піонерів розвитку в Україні спершу мікроелектроніки, а потім – нанотехнологій. Саме він на початку XXI ст. був керівником першої української державної нанопрограми.

У новозаснованому Інституті фізики ВУАН активно розвивалися дослідження з нової актуальної галузі – фізики напівпровідників. Ще від 1929 року під керівництвом першого директора інституту **Олександра Гольдмана** (1884–1971) тривали роботи з вивчення нових аспектів фотогальванічного ефекту Беккереля. На жаль, в 1938 році Гольдмана було заарештовано за звинуваченням в «українському націоналізмі» (попри єврейське походження й лютеранське віросповідання вченого), і він зміг повернутися до наукової роботи лише через десятиліття ув'язнення і заслання.



Найперша схема p-n-переходу (з роботи В. Лашкарьова, 1941). Область p-провідності розташована праворуч від вертикальної лінії S', а область n-провідності – ліворуч від вертикальної лінії S. Цифри нижче і вище від осі абсцис позначають логарифми концентрацій дірок (n_+) і електронів (n_-)

Основою радіотехніки 1930-х були лампові діоди й тріоди. Двоелектродна лампа – діод – служила для випрямлення струму: за прикладання негативної напруги на катод і позитивної на анод струм проходив, якщо ж полярність була протилежною – не проходив. Проте лампи були громіздкими й ненадійними, і постало завдання замінити їх компактними твердотільними відповідниками, які були б позбавлені недоліків перших примітивних кристалічних детекторів (для них навіть точку притискання металевого дротика до кристалу, в якій ефект випрямлення виявлявся б найкраще, треба було шукати вручну). Це завдання розв'язав основоположник фізики напівпровідників в Україні **Вадим Лашкарьов** (1903–1974).



**Кафедра фізики напівпровідників Київського університету ім. Т.Г. Шевченка (1956 р.).
Зліва направо сидять: Н.Я. Карханіна, В.І. Ляшенко, В.Є. Лашкар'юв, Ю.І. Карханін,
Г.А. Холодар, Ю.І. Гриценко;
стоять: І.Г. Самбур, Є.М. Березняковський, В.А. Житков, В.Є. Кожев'їн,
Г.П. Пека, Г.П. Зубрін, В.І. Стріха, Р.М. Бондаренко**

Вадим Лашкар'юв народився в Києві. Його батько був прокурором, мати – випускниця Інституту шляхетних дівчат. Ці обставини після встановлення радянської влади довелося приховувати, втім це не врятувало родину від адміністративного заслання на 5 років до Казахстану. 1924 року Вадим Лашкар'юв закінчив Київський інститут народної освіти, – і перші самостійні кроки в науці зробив на кафедрі фізики Київського політехнічного інституту.

У 1929–30 роках науковець очолив відділ рентгенофізики новоствореного Інституту фізики ВУАН. Абрам Йоффе помітив яскраві роботи молодого киянина й запросив його на роботу до лєнінградського Фізико-технічного інституту. Тут 1935 року Вадим Лашкар'юв без публічного захисту отримав ступінь доктора фізико-математичних наук. Того самого року, водночас із Дмитром Іваненком, молодого доктора наук заарештували. Завдяки заступництву Абрама Йоффе Лашкар'юву пощастило – він відбув заслання в провінційному Архангельську на кафедрі фізики місцевого медінституту. Тут йому випало стати викладачем майбутнього славетного хірурга, письменника й громадського діяча **Миколи Амосова** (1913–2002), чие ім'я носить створений ним інститут кардіохірургії в Києві.

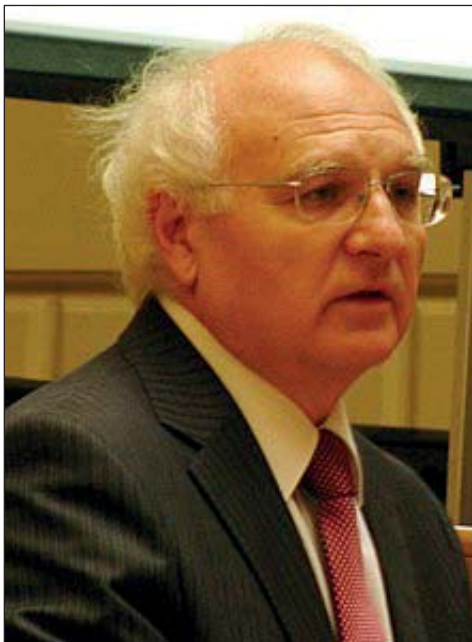
1939 року Вадим Лашкар'юв повернувся до Києва на посаду завідувача відділу напівпровідників Інституту фізики й водночас – завідувача кафедри фізики в Київському університеті імені Тараса Шевченка. 1941 року він зробив головне відкриття свого життя. Досліджуючи за допомоги термозонда запірні шари примітивних міднозакисних випрямлячів, науковець відкрив $p-n$ -перехід. Тоді ж він з'ясував роль $p-n$ -переходу у виникненні вентильного фото ефекту — появи напруги за освітлення контакту областей напівпровідника з двома типами провідності.

Ця робота Лашкар'юва, надрукована в журналі «Известия АН СССР», за своїм науковим значенням не по-

ступалася працям **Шоклі**, **Бардіна** й **Браттейна**, котрих було вшановано Нобелівською премією. Адже функціонування $p-n$ -переходу лежить в основі роботи сучасних напівпровідникових приладів – від простих випрямлячів до найскладніших інтегральних схем. А фото ефект у напівпровідниках забезпечує роботу відомих нині всім сонячних батарей.

Проте тоді на цю роботу не звернули тієї уваги, якої вона була варта. Може, через те, що вже точилася Друга світова війна, може, тому, що вона суттєво випереджала розвиток технології отримання та застосування германію й кремнію, яким у наступному десятилітті судилося стати основними напівпровідниковими матеріалами.

Після Другої світової війни Вадим Лашкар'юв реалізував велику програму дослідження напівпровідників. Робив він це паралельно в Інституті фізики й у Київському університеті імені Тараса Шевченка. Тут він створив і в 1950–1958 роках очолив потужну кафедру фізики напівпровідників, яку пізніше впродовж понад 20 років очолював його учень – **Віталій Стріха** (1931–1999), творець загальної теорії контакту метал–напівпровідник, засновник і перший президент АН вищої школи України. Він ще в 1960-ті рр. розробив теорію так званого «притискового контакту з зазором», що фактично лягла в основу створення в 1981 р. сканувального тунельного мікроскопа, який надзвичайно пришвидшив поступ у сфері нанотехнологій і за який його творці **Герд Бінніг** та **Гайнріх Рорер** отримали Нобелівську премію з фізики 1986 року. На базі відділу напівпровідників Інституту фізики 1960 року було організовано новий Інститут фізики напівпровідників, його Вадим Лашкар'юв очолював упродовж наступного десятиліття. Нині інститут носить ім'я ученого. Роботи академіка Лашкар'юва мають широке практичне застосування в електроніці, автоматичній, телемеханіці, обчислювальній техніці.



Іван Вакарчук (2010 р.)

Розвивалися дослідження в галузі квантової фізики й у Львові. Лідером львівської наукової школи в останнє передвоєнне й перші повоєнні десятиліття був професор **Василь Міліянчук** (1905–1958). Науковець народився в Добровідці на Прикарпатті. Після закінчення Львівського університету та Львівської політехніки 1936 року стажувався у Фізичному інституті Лейпцигського університету, де на той час працювали **Гайзенберг, Гунд, Дебай**. Перші роботи Міліянчука були присвячені релятивістській квантовій механіці Дірака, поздовжньому та поперечному ефекту Зеємана квадрупольних ліній і комптонівському розсіянню.

За ці роботи науковець отримав ступінь доктора філософії (1935). Від 1932 року він – член НТШ, нашої першої національної академії на західноукраїнських землях.

Входження Західної України до складу УРСР 1939 року потягло за собою ліквідацію всіх колишніх українських громадських організацій, зокрема й НТШ (офіційно розпущене в СРСР, Товариство продовжило діяльність за кордоном і було відроджене у Львові 1990 року). Водночас колишній польський університет Яна Казимира у Львові було «українізовано». Від 1940 року Міліянчук – професор кафедри теоретичної фізики Львівського університету імені Івана Франка, а від 1945 року й до останніх днів життя він очолював цю кафедру. У повоєнні роки спектр наукових інтересів науковця був надзвичайно широким. До нього належали: вплив неоднорідності електричного поля в газорозрядній плазмі на атомні спектри, задачі мезодинаміки з похідними вищих порядків, теорія мезонно-нуклонних взаємодій, квантова електродинаміка й теорія поля. На жаль, рання смерть не дала Міліянчуку до кінця реалізувати свій потенціал дослідника.

Від 1948 р. у Львівському університеті працював також талановитий теоретик **Абба Глауберман** (1917–1974), учень **Якова Френкеля**. Він залишив не лише яскраві роботи з квантової теорії твердого тіла та статистичної теорії конденсованих систем, але й перший в історії оригінальний підручник «Квантова механіка» українською мовою (1962). Його студентом був, зокрема, визначний фізик, а пізніше також громадський і політичний діяч **Ігор Юхновський** (н.1925 р.), який у 1969 р. за сприяння Миколи

Боголюбова організував у Львові Відділ статистичної теорії конденсованих станів Інституту теоретичної фізики АН УРСР, на основі якого виникла й сформувалася потужна львівська школа статистичної фізики. Одним із яскравих представників цієї школи був **Іван Вакарчук** (1947–2020) – багаторічний ректор Львівського університету імені І. Франка, міністр освіти і науки України (2007–2010 рр.), автор нового, фундаментального і яскравого за викладом університетського підручника «Квантова механіка», що витримав кілька перевидань. У 1990 р. організований І.Юхновським відділ було перетворено в Інститут фізики конденсованих станів НАН України.

Проте й упродовж 1940–1960-х років столицею української квантової фізики залишався Харків. Продовжував активно працювати (значною мірою в інтересах радянських військових програм) УФТІ, перейменований на ХФТІ. Саме слово «український» у назві мусило тоді поступитися нейтральнішому «харківський». У повоєнні роки під керівництвом **Олександра Ахієзера** (1911–2000) тут здійснено піонерські роботи з фізики магнетизму, в яких брав активну участь і його учень **Віктор Бар'яхтар** (1930–2020), пізніше – засновник і завідувач кафедри теоретичної радіофізики Київського університету імені Тараса Шевченка, перший президент створеного в 1990 р. Українського фізичного товариства. У 1960 році на основі частини підрозділів ХФТІ було створено новий Фізико-технічний інститут низьких температур, який нині носить ім'я його засновника Бориса Веркіна (1919–1990).



Борис Веркін у лабораторії ХФТІ (1948 р.)

Борис Веркін народився в Харкові у родині вчителів. Перші 8 класів він закінчив у школі з німецькою мовою викладання (були в Україні до погрому 1933 року й такі, зорієнтовані на обслуговування потреб німецької меншини). Дарма, що Веркін не був німцем – мову цю він вивчив бездоганно. Після школи вступив на фізичний факультет університету і паралельно навчався два роки в консерваторії за класом фортепіано. Певний час він навіть вагався щодо вибору дальшого шляху. Але навіть коли обрав фізику, залишився до кінця життя відданим шанувальником музики. Аж поки з ним у середині 1980-х не стався інсульт, він бездоганно грав складні фортепіанні твори, а для співробітників інституту і пізніше влаштовував висо-

кого рівня філармонійні вечори, запрошуючи найкращих виконавців. Символічно, що нині Харківську консерваторію очолює дочка вченого – професор **Тетяна Веркіна**.

Борис Веркін був людиною з надзвичайно широкими гуманітарними зацікавленнями. Ще в дитинстві він відвідував вистави театру «Березіль» **Леся Курбаса**, про які зберіг спогади на все життя. А вже після тяжкої хвороби в 1980-і розробляв паралізовані пальці тим, що передруковував на друкарській машинці взяті зі спецховів бібліотеки імені В. Короленка твори заборонених тоді російських поетів «срібного віку» – **Гумільова, Гітніус, Мерешковського**, – оправляв саморобні книжечки в палітурки й дарував їх друзям.

1940 року Борис Веркін вступив до аспірантури в кріогенну лабораторію ХФТІ. Але через рік його мобілізували на радянсько-німецький фронт. Під Сталінградом лейтенант піхоти Веркін зазнав тяжкої контузії й дивом лишився живий. Тому решту війни він прослужив у тилу, і його демобілізували, коли потреби розгортання радянського атомного проекту (його курував особисто всесильний нарком **Лаврентій Берія**) вимагали дедалі більшої кількості фізиків.

У ХФТІ Веркін поновив перервані війною досліді й опублікував роботи з низькотемпературних осциляцій магнітної сприйнятливості металів (ефект де Гааза – ван Альфена), які стали класичними. Раніше ці осциляції спостерігали лише в напівметалевому вісмуті. Команда харківських науковців натомість виявила їх в олові, берилії, магнії, кадмії, талії, сурмі, ртуті, показавши, що йдеться про ефект, притаманний металам узагалі. А особливості цих осциляцій було поставлено у відповідність до особливостей зонної структури металів. Таким чином фізики отримали надійний метод реконструювати вигляд поверхні Фермі в кожному окремому металі.

Для того щоб отримати ці результати, треба було спершу навчитися надійно очищувати метали від домішок. Під керівництвом Бориса Веркіна було розроблено метод такого очищення шляхом багаторазової перекристалізації, який знайшов широке застосування в різноманітних технологіях.

У перші повоєнні роки панувала думка, що правильно вживати термін «*фізика при низьких температурах*». Веркін натомість наполягав, що якісні зміни конденсованих середовищ за переходу від температур, де діє класична фізика, до температур, де все визначає квантова механіка, де реалізуються явища надпровідності й надплинності, дають підстави говорити про нову фізику низьких температур.

Веркін не встиг перетнутися в ХФТІ з Шубниковим, котрий загинув 1937 року. Але вважав його своїм учителем і еталоном справжнього вченого. Наприкінці 1950-х років він зробив усе можливе для посмертної реабілітації Шубникова й повернення його імені в науковий обіг у СРСР (на Заході це ім'я ніколи й не зникало).

1960 року за ініціативи Бориса Веркіна було створено Фізико-технічний інститут низьких температур. Ініціативу організації ФТІНТ підтримали **Петро Капиця**, відомий своїми кріогенними роботами ще передвоєнного часу (саме за них він отримав 1978 року Нобелівську премію) і **Сергій Корольов**. Веркін забрав з собою у ФТІНТ команду блискучих молодих науковців. Водночас він домігся спорудження для ФТІНТу масштабного комплексу на тодішній околиці Харкова.

У ФТІНТі апробували в умовах, наближених до реальних, чимало речей, які потім пройшли через космос: піропатрони, системи астронавігації, навіть страхувальний фал, на якому 1965 року вперше вийшов у відкритий космічний простір космонавт **Леонов**. Водночас тут було здійснено широкий спектр фундаментальних і прикладних досліджень.

Інститут робив усе: від найтоншої кріохірургії до заморожування м'ясних туш для тривалого зберігання. Від потужних надпровідних генераторів електростанцій до надчутливих магнітометрів, які відчувають мозкові процеси людини. Від систем дихання на зріджених газах для підводників до методів консервації крові для кісткового мозку.

Водночас у ФТІНТі було отримано фундаментальні результати в експериментальній і теоретичній фізиці та математиці. Зокрема, саме тут **Ігор Дмитренко** (1928–2009), **Ігор Янсон** (1938–2011) та **Володимир Свистунов** (1941–2017) у 1964 році вперше в світі експериментально реалізували нестациональний ефект Джозефсона, що полягав у генерації НВЧ-випромінювання на контакті двох надпровідників. Цей ефект теоретично передбачив за два роки до того молодий англійський фізик **Браян Джо-зефсон** (н. 1940), котрого за це передбачення вшанували Нобелівською премією 1973 року. А в 1987 році в інституті розгорнули масштабні роботи з вивчення високотемпературної надпровідності – лише через рік після того, як її було відкрито швейцарськими фізиками **Георгом Беднорцом** та **Александром Мюллером**, які теж отримали за своє відкриття Нобелівську премію з фізики.

Ще одним цікавим штрихом особистості Веркіна як організатора науки було те, що всі без винятку статті свого велетенського (4000 співробітників) інституту він «пропускав» крізь себе. І найкращі з них друкував у журналі «Фізика низьких температур», який сам і заснував – цей журнал досі очолює рейтинг українських наукових видань з фізики, знаних у світі.

Але вдома, на затишній харківській вулиці Чернишевського, Борис Веркін не тримав жодної книги з фізики. Тут панували література, поезія, мистецтво (науковець був відомим збирачем картин) і музика. У музиці він ділив композиторів за аналогією з зірками на класи: від найяскравішого (перший) до ледь помітного оку (шостий). До надяскравих (клас «нуль») він відносив **Баха** й **Бетовена**. Якби застосувати таку саму градацію до науковців, академік Борис Веркін опинився б на найвищому її щаблі.

Наведені вище імена не вичерпують і близько всієї історії українського внеску в квантову фізику. Не відтворюють вони цілком і тих справді драматичних умов, у яких науковцям доводилося працювати. Адже за умов тоталітарного режиму наукова ситуація середини ХХ століття й філософські дискусії навколо основ квантової механіки лишали багато простору для ідеологічних і політичних звинувачень.

Наприкінці 1940-х років у СРСР розгорнулася так звана «дискусія в біології». Її наслідком стало торжество напівграмотного, але озброєного комуністичною тріскотливою риторикою агронома **Трохима Лисенка** та справжній гоніння на видатних учених-генетиків. Майже водночас статус «буржуазної лженауки» отримала й кібернетика.

В останні роки життя Сталіна аналогічну дискусію планували розгорнути й у фізиці. Формальним її початком стало цькування в 1950 році професора горьківського

(тепер нижньгородського) університету *Геннадія Горелика* за начебто «ідеалістичні помилки» в його книзі «Колівання й хвилі». У статтях, які «викривали» ідеологічні «злочини» Горелика, лунали нотки, на диво подібні до тих, що звучали півтора десятиліття перед тим у гітлерівському Рейху — у виступах ревнителів «арійської фізики» *Ленарда* та *Штарка*.

Радянські фізики були по-справжньому налякані. Як згадував пізніше автор поняття «*полярон*» Соломон Пекар, він тоді на всі наявні в нього гроші... передплатив наперед фахову літературу. Розрахунок був простий: за обстоювання квантової фізики скоріш за все не заарештують, але вислати з Києва до якогось провінційного педінституту можуть. А там не буде можливості спілкуватися з колегами відповідного рівня. То ж єдиний спосіб не дискваліфікуватися як науковцю – це принаймні надовго забезпечити себе фаховими журналами.

На щастя, провідні фізики переконали куратора радянського атомного проекту Лаврентія Берію, а той переконав Сталіна, що з заборонаю квантової механіки радянська воднева бомба ніколи не вибухне (провчившись певний час у Бакинському політехнічному інституті, Берія єдиний серед тодішнього радянського вищого керівництва знав основи диференціального та інтегрального числення, а отже, міг говорити на наукові теми більш-менш фахово). І плановану «дискусію в фізиці» тихенько згорнули.

Але навіть за таких складних, часом драматичних умов українські науковці зробили свій гідний внесок у квантову фізику ХХ століття. 2008 року до 90-річчя НАН України було видано спеціальний випуск «Українського фізичного журналу», куди ввійшли найкращі роботи 35-и визначних українських фізиків від кінця 1920-х років. Кожна з цих робіт посіла помітне місце в історії науки, знаменуючи початок нового важливого напрямку досліджень або ж сповіщаючи про одне з тих наукових відкриттів, на яких тримається споруда сучасної фізики. Основу цього випуску складають роботи тих науковців, чії портрети було коротко окреслено в цьому розділі нашої книги.

Працювали українці і в наукових установах багатьох інших країн.

Георгій (Джордж) Гамов (1904–1968) народився в Одесі. Його батько був учителем російської літератури (одним із його учнів був відомий революційний діяч *Лев Троцький*). Мати походила з родини *Лебединцевих*, нащадків козацької старшини, яка в ХІХ ст. дала кількох визначних діячів українського руху; зокрема, її рідний дядько *Теофан Лебединцев* був видавцем і першим редактором журналу «Київська старовина», який виходив з 1882 року і навколо якого гуртувалися всі тодішні «українофіли».

Георгій почав учитися в Новоросійському (Одеському) університеті, але, незадоволений рівнем викладання, перевівся до Петроградського, де його товаришами на студентській лаві були згадані вище Лев Ландау та Дмитро Іваненко. Уже перші студентські наукові роботи Гамова (зокрема, написана ним разом із Ландау та Іваненком стаття «Світлові сталі й граничний перехід») звернули на себе увагу, і в 1928 році його послають на стажування до Геттінгена.

Під час перебування за кордоном Гамов познайомився з *Бором*, відвідав *Резерфорда*, отримав запрошення зробити доповідь про побудовану ним квантову теорію альфа-розпаду на I Міжнародному конгресі з ядерної фізики



Георгій Гамов

в Римі (1931). У ній уперше було розглянуто підбар'єрний (неможливий у класичній фізиці) рух частинки, що отримав назву «тунелювання». Повернувшись до СРСР, молодий учений уже не отримав дозволу виїхати на конгрес, проте його доповідь була надрукована в матеріалах цього наукового форуму, що зібрав усіх найславетніших тодішніх фізиків.

Відчуваючи стрімке посуворішання політичного клімату, Гамов відчайдушно намагався залишити СРСР – одного разу навіть човном з Криму до Туреччини, що мало не закінчилося для нього з дружиною трагічно (на щастя, вдалося переконати «органи», що у відкрите море їх винесло випадково).

У 1932 р. Гамова (на пропозицію Володимира Вернадського) було обрано наймолодшим в історії членом-кореспондентом АН СРСР. Ще через два роки вчений таки виїхав на Сольвевський конгрес – і залишився разом з дружиною на Заході. Очевидно, він використав останню нагоду опинитися по той бік «залізної завіси», бо невдовзі потому радянських учених практично перестали випускати за кордон.

У США наукові інтереси Гамова змістилися в бік космології та астрофізики. У 1937–40 рр. він розробив першу теорію еволюції зірок з термоядерними процесами. Уже по війні Гамов розробив теорію утворення хімічних елементів шляхом послідовного захоплення нейтронів та теорію «Великого вибуху». Від 1954 р. учений працює також у галузі біології, де формулює концепцію генетичного коду. Усього Гамов став розробником трьох гіпотез, за експериментальне підтвердження яких було присуджено Нобелівські премії (на жаль, сам він нобелівським лауреатом так і не став).

Крім того, Гамов мав яскравий талант популяризатора науки, і книжки, де він без формул, доступною мовою розповідав про свої відкриття та про роботи колег, роби-

лися бестселерами. Спеціально за цю діяльність він отримав престижну премію ЮНЕСКО. Постаті цього унікального вченого присвячено белетризовану біографію *Джуліо Сегре* «Звичайні генії», яку 2017 року було перекладено й українською мовою.

Основоположник органічної квантової хімії і винахідник методу «просвітлення оптики» **Олександр Смакула** (1900–1983) народився на Тернопільщині й здобув освіту в Геттінгенському університеті. Під час українських «визвольних змагань» 1917–21 років він вступив до лав Української галицької армії. Здобувши у Німеччині ступінь доктора філософії в 1927 році, він наступного року здійснив спробу повернутися в Україну й працював певний час в Одеському університеті. Проте там не змогли забезпечити вченому належних умов для досліджень, і він знову повернувся до Німеччини – спершу до Гайдельберзького університету. Тут, використавши поняття квантових осциляторів, він вивів відому «формулу Смакули» (1930) для радіаційного забарвлення кристалів, що пов'язує довжину хвилі забарвлення з концентрацією дефектів у кристалі та довжиною хвилі падаючого випромінювання.

А в 1934 році Олександр Смакула став керівником дослідної лабораторії знаменитої фірми «Карл Цайсс» у Єні. Саме там через рік учений винайшов метод «просвітлення оптики», що став одним із найважливіших технологічних відкриттів ХХ століття. Він запропонував для підвищення прозорості лінз наносити на їхню поверхню тонкий шар діелектрика з коефіцієнтом заломлення меншим, ніж у лінзи. Коли товщина шару становить $\frac{1}{4}$ довжини хвилі падаючого випромінювання, то інтерференція хвиль, відбитих від передньої і задньої поверхонь шару, призводить до того, що сумарна інтенсивність відбитої від лінзи хвилі дорівнює нулю. Оскільки максимум чутливості людського ока припадає на середину оптичного діапазону, зазвичай товщину діелектричного шару розраховують для хвилі з довжиною 555 нм.

У «цайсівській» лабораторії Смакула вперше створив такі оптичні кристали, як фтористий літій, фтористий натрій та бромйодид талію, який досі широко використовують у приладах нічного бачення. Тут-таки, досліджуючи різні органічні кристали, він фактично заклав основи органічної квантової хімії.

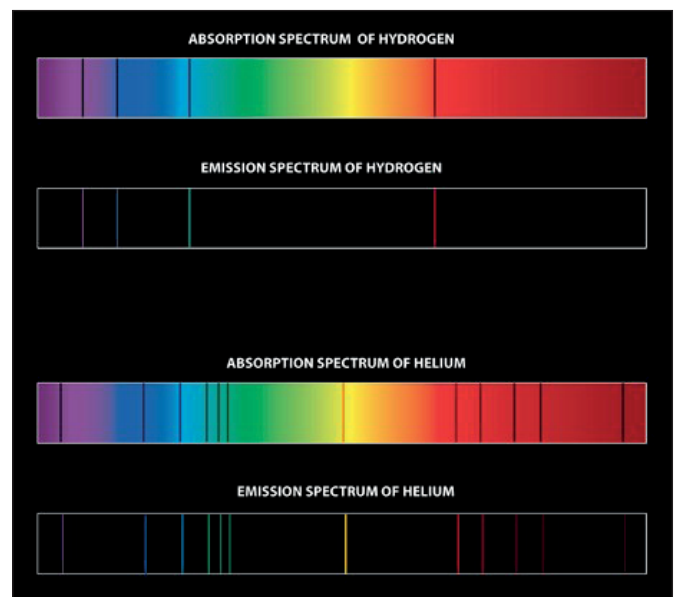
По війні американці вивезли професора Смакулу з Німеччини до США, де він очолив лабораторію кристалів у Массачусетському технологічному інституті. В МТІ у той час разом із ним працювали *Клод Шеннон*, *Девід Слейтер* та інші визначні вчені. Там він зробив вагомий внесок у розвиток тонкоплівкових технологій та лазерної техніки. Досліджував він так само й органічні кристали, що дало змогу синтезувати вітаміни А, В₂ та D.



Олександр Смакула

У 1972 р. Смакула один-єдиний раз зумів відвідати рідне Тернопілля, повертаючись з міжнародної кристалографічної конференції у Вірменії. До падіння «залізної завіси» й до часів незалежної України учений, на жаль, не дожив. Його фундаментальну монографію «Монокристали: вирощування, виготовлення і застосування» (1962) було перекладено українською мовою й видано в Україні заходами популяризатора історії науки професора *Василя Шендеровського* в 2000 р.

На жаль, інтегрованої історії, що охопила би внесок у розвиток світової науки як тих учених, що працювали на українських землях (що в різний час входили до різних імперій), так і тих вихідців з наших земель, які за волею обставин улавилися, працюючи в лабораторіях Австрії, Німеччини, Росії, Сполучених Штатів та інших країн, але відчували свою спорідненість з Україною, досі ще не написано (у підручнику згадано імена *Остроградського*, *Пулюя*, *Кондратюка-Шаргея*, *Гамова*, *Смакули*).



Квантові переходи призводять до появи спектральних ліній, які розповідають про склад небесних тіл

3. Над чим фізики працюють сьогодні

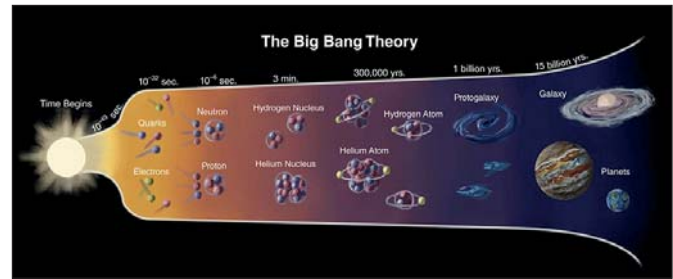
Після того як основи квантової теорії було сформовано, розвиток фундаментальної фізики продовжувався, причому особливо інтенсивно – на двох протилежних кінцях шкали масштабів, в області атомних та субатомних відстаней, з одного боку, та в області масштабів цілого Всесвіту – з другого. Наука як ніколи раніше близько підійшла до розгадки двох фундаментальних запитань: «Як влаштовано цей світ?» та «З чого світ почався?».

Одним з найважливіших інструментів для відповіді на ці запитання стала спектроскопія, тобто вивчення того, як матерія випромінює і поглинає електромагнітні хвилі. У першій частині моєї книги я вже згадував, що **Ньютон** поставив один з перших спектроскопічних дослідів, пропустивши сонячний промінь крізь скляну призму, і одержав неперервну смугу кольорів від червоного до фіолетового, тобто спектр випромінювання абсолютно чорного тіла, що ним є Сонце, розкладений по довжинах хвиль. Німецький фізик **Йозеф Фраунгофер** (1787–1826) удосконалив цей метод, винайшовши в 1814 році спектроскоп. Поєднання призми та лінзи розклало сонячний промінь з більшою роздільною здатністю, аніж досягнув Ньютон, і дозволило виявити багато вузьких чорних ліній на тлі кольорів веселки.

Як зрозуміли пізніше, ці лінії показують склад джерела випромінювання. Гарячий газ випромінює енергію на певних довжинах хвиль, що відповідають квантовим переходам саме в цьому газі, і тим створює «відбиток пальця», унікальний для кожного атома (наприклад, для водню – на цьому ми докладно зупинялися, коли розповідали про «атом Бора»). Різні елементи можна ідентифікувати і за спектрами поглинання, коли квантові переходи в холодніших зовнішніх шарах зорі поглинають випромінювання з гарячіших внутрішніх областей і виявляються як темні лінії, де на певних довжинах хвиль енергія відсутня. Спектри випромінювання і поглинання, що розповідають про склад небесних тіл, стали приносити несподіванки. У 1868 році в спектрі нашого Сонця було виявлено невідому до того лінію випромінювання на довжині 587,49 нанометрів. Вона належала невідомому доти елементу гелію, з якого складається значна частина активних зірок і який тільки пізніше виявили на Землі. Сама назва «гелій» і походить від імені Геліоса – бога Сонця в давніх греків.

Спектроскопічні дані також розповідають про небесні рухи. Відкритий австрійським фізиком **Крістіаном Доплером** (1803–1853) ефект, який сьогодні носить його ім'я, призводить до того, що світло від рухомого тіла зсувається в бік довших червоних чи коротших фіолетових довжин хвиль залежно від того, рухається це тіло від чи до спостерігача, а міра зсуву залежить від швидкості тіла.

У 1929 році американський астроном **Едвін Габбл** (1889–1953), спостерігаючи галактики через найбільший на той час телескоп з діаметром дзеркала 100 дюймів (близько 2,5 м) на вершині гори Вілсон, зміг розділити їх на зорі і виокремити серед них цефеїди. Виміривши відстані до них з урахуванням червоного зміщення галактик, Габбл знайшов радіальні швидкості галактик. Виявилось, що галактики віддаляються від нас і так само віддаляються одна від одної. Результати Габбла разом із експериментальними оцінками бельгійського католиць-



Еволюція Всесвіту від кварків та електронів до його теперішнього стану

кого священика, астронома і математика **Жоржа Леметра** (1894–1966), виконаними в 1927 році, були першими чіткими спостереженнями того, що ми живемо в світі, який розширюється. Закон розширення Всесвіту зараз носить ім'я Габбла-Леметра.

Дальші прориви принесло вивчення хвиль радіодіапазону. У 1928 році американський фізик **Карл Янскі**, що працював у Белл Лабз, шукав джерела якихось постійних завад, які перешкоджали щойно запущеному трансатлантичному радіотелефонному зв'язку. Його антена в Гомленді вловлювала розряди від гроз, а також зареєструвала сигнал від невідомого джерела. Досліджуючи цей сигнал упродовж часу й на різних напрямках, Янскі дійшов висновку, що він походить майже з центру нашої галактики Молочний Шлях.

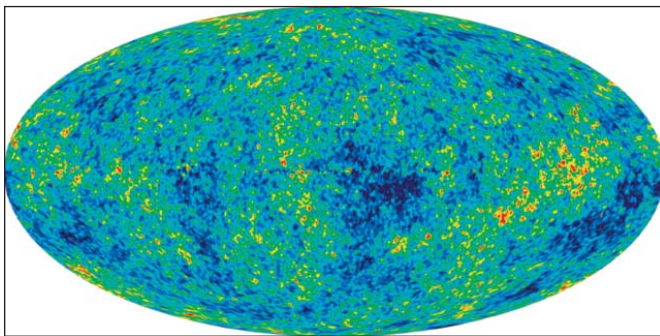
Через три десятиліття радіоастрономам з Белл Лабз **Арно Пензіасу** (н. 1933) і **Роберту Вілсону** (н. 1936) поталанило зробити ще одне неочікуване відкриття. У 1964 році вивчаючи радіосигнали зі Всесвіту за допомогою рогоподібної антени заввишки 6 метрів, побудованої для того щоб тестувати сигнали з супутників зв'язку, вони вловили неочікуваний радіосигнал на мікрохвилі довжиною 7,35 см. Він не походив ані з відомих позаземних джерел, ані з земних, таких, як недалеке місто Нью-Йорк. Він так само не був артефактом, спричиненим голубиним послідом на антені. Це був справжній сигнал, чіткий і незмінний, незалежно від того, на яке місце в небі дослідники скеровували свою антену, і він потребував пояснення.

На той час існували дві різні думки щодо походження Всесвіту. У теорії сталого стану Всесвіт залишався гомогенним і незмінним під час свого розширення, зумовленого тим, що весь час виникає нова матерія. У теорії Великого вибуху Всесвіт почався з однієї точки й надвисокої температури і розширювався, аж поки досягнув свого теперішнього стану. Пензіас із Вілсоном знали: американський фізик **Роберт Дік** (1916–1997) ще раніше порадив, що Великий вибух мусив залишити по собі електромагнітні хвилі, які заповнюють увесь простір – так зване реліктове мікрохвильове випромінювання (РМВ). Це найдавніше випромінювання у Всесвіті повинне було бути того ж типу, що й випромінювання абсолютно чорного тіла (АЧТ). Цікаво, що першим існування такого випромінювання теоретично передбачив Гамов, але ця його робота чомусь пройшла непоміченою.

Отже, випромінювання АЧТ збуджується коливаннями атомів у кожному об'єкті, температура якого вища від абсолютного нуля, а його інтенсивність та спектр залежать від температури. Наше Сонце випромінює при температурі близько 5800 градусів Кельвіна (або 5500 градусів Цельсія), і частина його випромінювання припадає на видимий діапазон від 400 до 750 нанометрів. Дік передбачив,

що простір заповнений мікрохвильовим випромінюванням чорного тіла при температурі приблизно 3 градуси Кельвіна (мінус 270 градусів Цельсія) – тій температурі, до якої простір охолонув після температур у мільярди градусів. Коли найперші вимірювання Пензіаса та Вілсона було розширено на весь мікрохвильовий діапазон, ці дані точно відповідали передбаченням теорії для температури в 2,7 градуси Кельвіна. Ця дивовижно добра узгодженість стала потужним свідченням на користь Великого вибуху, який відтак зробився загальноприйнятою теорією.

Сьогоднішня наука достатньо добре уявляє процес еволюції Всесвіту від Великого вибуху, який стався приблизно 13,8 млрд років тому, й до нинішнього дня. Проте що саме відбувалося в момент Великого вибуху, коли густина й температура Всесвіту була нескінченно великими, і що йому передувало, ми не знаємо, і, можливо, ніколи й не довідаємося достеменно.



Детальна картина розподілу коливань температури реліктового мікрохвильового випромінювання по всьому небу, створена за даними космічної обсерваторії WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), накопиченими за дев'ять років.

Колівання температури в діапазоні ± 200 мкКельвінів показані як різниця в кольорі і відображають космологічний час Всесвіту у 13,77 мільярдів років, тобто відображають зародкові флуктуації згущень густини матерії, які вирости, щоб стати галактиками

Значний поступ відбувся й на протилежному кінці шкали масштабів. Спираючись на доробок попередніх дослідників, американські теоретики **Річард Фейнман** та **Джуліан Швінгер** разом із японським теоретиком **Сінтіро Томонагою** наприкінці 1940-х та в 1950-х рр. остаточно побудували квантову електродинаміку (КЕД), тобто квантову теорію електромагнетизму. Вона показує, як світло й матерія взаємодіють, обмінюючись фотонами. В результаті КЕД була підтверджена через надзвичайно точне чисельне передбачення рівнів енергії в атомі водню.

КЕД пояснює електромагнітну взаємодію – одну з чотирьох фундаментальних взаємодій у Всесвіті. Подальші роботи показали, що дві з решти трьох взаємодій так само зумовлені обміном елементарними частинками. Сильна ядерна взаємодія, яка утримує разом кварки в протонах і нейтронах, зв'язуючи останні в атомні ядра, зумовлена обміном безмасовими частинками, які мають назву «глюонів». Слабка ядерна взаємодія, яка виявляється в радіоактивному розпаді, зумовлена тим, що нейтрони, електрони та інші частинки обмінюються одним з трьох типів частинок, що мають назву W^{+} , W^{-} та Z -бозонів (тепер відомо, що електромагнетизм і слабка взаємодія є аспектами єдиної «електрослабкої» взаємодії).

Після багатьох зусиль усі ці результати в середині ХХ ст. розвинулися в Стандартну модель, яка організовує всі відомі елементарні частинки по групах. Окрім фотонів, глюонів, W^{+} , W^{-} та Z -бозонів (п'яти так званих «калібрувальних бозонів» – частинок, які переносять взаємодію), модель включає шість кварків та шість лептонів, які утворюють матерію. Цю теорію було експериментально підтверджено, коли виявили передбачені нею частинки: перші два типи кварків у 1968 р., а потім решту чотири типи кварків, інші елементарні частинки, і насамкінець у 2012 р. бозон Гігса (який також називають «скалярним бозоном»). Шотландський теоретик **Пітер Гісс** (н. 1929), який передбачив існування цієї частинки, що надавала Стандартній моделі завершеності, отримав Нобелівську премію з фізики 2013 року разом зі своїм бельгійським колегою **Франсуа Анлером** (н. 1932).

Таким чином, десятиліття експериментів у фізиці елементарних частинок з використанням таких велетенських установок, як Великий адронний колайдер (ВАК) ЦЕРНу, разом із розвитком теорії народили Стандартну модель. Вона поділяє всі відомі елементарні частинки на класи й пояснює походження трьох із чотирьох фундаментальних взаємодій, які дають лад Всесвітові на відстанях від кварків і до галактик, – електромагнітній взаємодії і так званій «слабкій» та «сильній» взаємодіям в атомному ядрі. Але вона не описує гравітації, яку окремо пояснює загальна теорія відносності **Альберта Айнштейна**, яка, на відміну від Стантартної моделі, принципово не містить ідеї квантування.

Три покоління матерії (ферміони)			
	I	II	III
маса спокою →	2.4 МеВ	1.27 ГеВ	171.2 ГеВ
електричний заряд	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
спін →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
назва →	u верхній	c чарований	t істинний
Кварки	4.8 МеВ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d нижній	104 МеВ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s дивний	4.2 ГеВ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b чарівний
Лептони	<2.2 еВ 0 $\frac{1}{2}$ e електронне нейтрино	<0.17 МеВ 0 $\frac{1}{2}$ ν_{μ} мюонне нейтрино	<15.5 МеВ 0 $\frac{1}{2}$ ν_{τ} тау-нейтрино
	0.511 МеВ -1 $\frac{1}{2}$ e електрон	105.7 МеВ -1 $\frac{1}{2}$ μ мюон	1.777 ГеВ -1 $\frac{1}{2}$ τ тау
			91.2 ГеВ 0 1 Z ⁰ Z-бозон
			80.4 ГеВ ± 1 1 W [±] W-бозон

Калібрувальні бозони (переносники взаємодії)

Зусилля багатьох фізиків призвели до створення Стандартної моделі

Сьогодні теоретики намагаються досягнути квантування гравітації і вкладання її в одну схему з іншими трьома взаємодіями, описуваними Стандартною моделлю. Таке об'єднання призведе до універсальної Теорії всього, яка описуватиме дійсність на будь-якому масштабі відстаней. Чільним кандидатом на появу такої теорії в очах великої частини фізиків є Теорія струн, у якій крихітні одновимірні об'єкти, названі «струнами», замінять точкові елементарні частинки. Але таку теорію принципово неможливо перевірити на досліді (оскільки струни мають

масштаб 10^{-35} м), адже вона потребуватиме прискорювача частинок, настільки більшого від ВАК, що його навряд чи можна буде спорудити.

Однак, ставши перед відсутністю інших теоретичних проривів, деякі фізики пропонують не перейматися експериментальним підтвердженням і просто прийняти Теорію струн і пов'язану з нею ідею про те, що дійсність складається з множинних світів, «множинного всесвіту», – що є радикальним відходом від того, як фізика діяла впродовж століть. Така пропозиція викликає гарячі заперечення з боку інших авторитетних науковців, зокрема й нобелівського лауреата з фізики 2020 р. **Роджера Пенроуза** (н. 1931).

Уже впродовж останніх десятиліть було здійснено чотири фундаментальні відкриття. Про одне з них – виявлення на ВАК бозона Гігса, що стало в 2012 році наслідком тривалих цілеспрямованих пошуків, – уже згадувалось. Така ж очікувана подія відбулася і в 2015 році, коли масивні наземні детектори Лазерної інтерферометричної гравітаційно-хвильової обсерваторії (ЛІГО) в штаті Вашингтон вперше вловили існування гравітаційних хвиль. Це підтвердило зроблене ще за сотню років перед тим передбачення Айнштейна з його загальної теорії відносності, що гравітаційну взаємодію переносять зі швидкістю світла збурення часопростору. Комп'ютерна симуляція поведінки чорної діри підтвердила, що вловлений сигнал походить від зіткнення двох чорних дір зоряної маси на відстані 1,4 мільярда світлових років від нас.

Але два інші відкриття виявилися цілком неочікуваними. Більше того, хоча «темна матерія» з «темною енергією» є надзвичайно важливими для розуміння того, як влаштовано Всесвіт, вони досі лишаються загадовими.

«Темну матерію» відкрили спершу непрямым шляхом, через спричинені нею гравітаційні ефекти за кривими обертання галактик, як і за відношенням маси до видимої оптичної світності галактик. Потому, як попередні астрономічні дані вказали на існування невидимої космічної матерії, у 1970-ті роки американська астрономка **Вера Рубін** (1928–2016) помітила аномалії в динаміці спіральних галактик, таких, як наш власний Молочний Шлях. Як і будь-які інші тіла, що обертаються, ці велетенські «дзиги» розгубили б усі свої зовнішні частини, якби їх не стримувало тяжіння серцевини галактики, обумовлене її масою. Вера Рубін виявила, що для утримання зорь від розлітання навсідч потрібна в багато разів більша маса, ніж її видно в галактиці, – і це було перше надійне підтвердження існування «темної матерії».

«Темну енергію» відкрили також непрямым шляхом. У 1998 році астрономи виявили, що деякі наднові – потужні вибухи зірок у їхніх передсмертних муках – у мільярдах світлових років від нас є тьмянішими, ніж це передбачає теорія розширення Всесвіту після Великого вибуху. З великим подивом було зустрінuto нові дані, які показали, що швидкість розширення збільшується, всупереч тому, що раніше сподівалися: тяжіння маси Всесвіту може з часом сповільнити розширення, чи навіть перетворити його на стискання.

Айнштейн врахував таку силу в 1917 р., запровадивши в свою загальну теорію відносності так звану «космологічну сталу», свого роду антигравітацію, яка розштовхувала галактики, щоб не дати Всесвіту колапсувати через силу тяжіння. Але коли було доведено, що Всесвіт насправді розширюється, Айнштейн відкинув ідею такої сталої, назвавши її згодом своєю «найбільшою помилкою».

У 1998 р. відкриття прискореного розширення відродило цю ідею – вже під назвою «темної енергії».

Наступне потужне підтвердження «темної» природи Всесвіту надійшло в 2003 році. НАСА досліджувало ранній Всесвіт шляхом вивчення анізотропії реліктового мікрохвильового випромінювання. Точніше ці дослідження було повторено на супутнику імені Планка, запущеному Європейським космічним агентством у 2009 році. Їхні результати показали, що в структурі маси та енергії Всесвіту лише 5 % припадає на звичайну матерію – проти 26 % темної матерії і 69 % темної енергії, які разом складають 95% Всесвіту. Ці пропорції визначають космологічну «стандартну модель», яка успішно описує багато рис Всесвіту, включаючи його розширення з прискоренням, спричинений ним розподіл галактик, і встановлює вік Всесвіту в 13,8 мільярдів років.

Ці пропорції є також приголомшливим свідченням того, що після тривалих зусиль людство дослідило лише малу частину дійсності, і майже нічого не знає про решту її, як-от про саме походження «темної енергії». Одне з припущень у дусі ідеї **Пола Дірака** переносить нас на квантовий рівень; згідно з ним «темна енергія» – це так звана «енергія вакууму», яка зумовлена роєм віртуальних частинок, що випадково з'являються і зникають у просторі. Енергія вакууму збільшується з розширенням Всесвіту і підживлює його дальше розширення з усе більшою швидкістю.

Але, на жаль, ці теоретизування не підтверджено цифровими оцінками. Обчислена на такий спосіб енергія вакууму в 10^{60} разів більша, ніж потрібно, щоб пояснити експериментальні дані для наднових, які й призвели до відкриття «темної енергії». У рамках Теорії струн, яка призводить до «множинного Всесвіту», поясненням цієї приголомшливої розбіжності може бути те, що саме в нашому Всесвіті так сталося, що енергія вакууму надзвичайно мала. Однак таке твердження демонструє складність отримання визначених відповідей тоді, коли можна просто заявити, що в різних всесвітах діє різна фізика. То ж слід визнати: про «темну енергію» ми просто нічого не знаємо.

«Темна матерія» викликає свої власні запитання. На мою думку, Стандартна модель описує всі «цеглинки», з яких побудовано Всесвіт – кварки, лептони включно з електронами, мюонами, тау-частинами й нейтріно, і бозон Хігса. Жодна з цих «цеглинок» не має властивостей, необхідних для формування «темної матерії»; отже, потрібна нова частинка. Головним кандидатом, за яким стоять певні астрономічні свідчення, є слабковзаємодіюча масивна частинка (ВІМП), яка мало впливає на звичайну матерію.

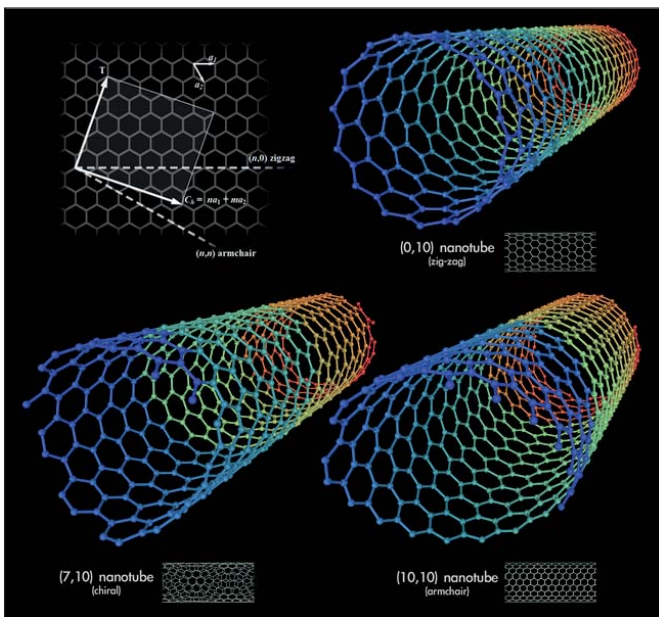
Але попри спокусливі підказки, тридцять років експерименту, включаючи й зовсім свіжі результати груп з Італії та Китаю, не дали чітких підтверджень існування ВІМПів. Тому слід визнати: сучасна фізика далека від завершеності.

Фундаментальні відкриття (можливо, не такі приголомшливі) відбуваються й на проміжних масштабах. **Вернер Гайзенберг**, наприклад, навіть від Бога не очікував почути відповіді на запитання: що ж таке турбулентність? Виявилось, що в складних динамічних системах надзвичайне значення має точний вибір початкових умов.

У 1961 році американський математик та метеоролог **Едвін Лоренц** (1917–2008) помітив, що введення 0,506 замість 0,506127 як початкового значення змінної в його

комп'ютерних моделюваннях погоди радикально змінило картину на ближчі два місяці. Це стало внеском Лоренца в теорію хаосу, у вивчення систем, динамічна поведінка яких сильно залежить від початкових умов, що Лоренц підсумував у «ефекті метелика», коли легкий змах крилець метелика потенційно може спричинити торнадо. Відкриття Лоренца було оцінено комітетом з премії Кіото в галузі наук про Землю за 1991 рік як таке, що спричинило одну з найдраматичніших змін у поглядах людства на природу від часів Ньютона.

На базі теоретичних ідей, що містилися в уже згаданій доповіді **Річарда Фейнмана** «Внизу є багато місця» (1959) та стрімкого розвитку ряду прикладних наук реаліями нашого життя стали нанотехнології. Вони призвели до відкриття, одержання та вивчення таких надзвичайно цікавих з фундаментального та прикладного погляду систем, як фулерен C-60 (1986), вуглецеві нанотрубки (1991), графен (2004). Новий технологічний потенціал мають також інші новітні матеріали.



Різні типи вуглецевих нанотрубок

Група, що одержала назву «топологічних матеріалів», демонструє значення математики при аналізі фізичних явищ. Топологія – це галузь математики, яка аналізує просторові властивості, що зберігаються при плавній деформації форми тіла; наприклад, якщо ви візьмете бублик і почнете розтягувати чи повертати його, в ньому однак лишатиметься тільки одна дірка, аж поки ви його не розірвете. Зв'язки між цим явищем та фізикою можуть здатися надто далекими, але в 1980-і фізики виявили, що можна зазирнути в природу речовини значно глибше, застосовуючи топологічну математику до квантових ефектів. Ця діяльність мала кульмінацією Нобелівську премію з фізики 2016 року, що її британські теоретики **Девід Таулесс**, **Майкл Костерліц** і **Данкан Галдейн** одержали за відкриття «топологічних фаз речовини».

Застосовуючи такий підхід, фізики пояснили загадкові квантові ефекти в твердих тілах і виявили нові екзотичні матеріали, наприклад діелектрик, який не проводить струму в об'ємі, але проводить його по поверхні; «напівметал», у якому електрони рухаються надзвичайно швидко, не

відчуваючи мікроскопічних перешкод, і матеріал, який пропускає світло лише в одному напрямку. Сподіваються, що такі ефекти призведуть до появи мініатюрніших та швидкодійніших електронних пристроїв, зокрема й важливих для квантових комп'ютерів, а також для ефективніших оптоволоконних мереж.

Дедалі більше досягнень квантової фізики знаходять практичне застосування в найрізноманітніших сферах – від будівництва й до медицини. Проте, підсумовуючи найважливіші з викликів, які стоять перед ученими, відомий американський фізик і популяризатор науки **Сідні Перковіц** стверджує, що основні запитання, які надихають фізиків сьогодні й визначають майбутнє їхньої науки, звучать так: «Що лежить поза Стандартною моделлю?» – бо це стосується нашого глибшого розуміння природи; і «Чи зможемо ми виробляти чистішу енергію?» – бо відповідь на нього, сподіваємося, покращить умови життя людей.

Замість післямови: Що чекає на фізику завтра

Як свідчить історія науки, нові відкриття сприймали досить безболісно, доки вони не зачіпали звичну основу наших поглядів на природу речей.

Значно важче було прийняти нові переконання, якщо вони суперечили усталеній картині світогляду. У XVI столітті люди були готові відправити на вогнище єретика, котрий наважився заперечувати той ніби-то очевидний факт, що Сонце рухається навколо нерухомої Землі. Мозок людини, як правило, протестує, коли її намагаються переконати в чомусь, що суперечить життєвому досвіду. Особливо важко було змиритися з твердженнями, які містилися в теоретичних концепціях, що лежать в основі теорії відносності й квантової фізики.

Наприкінці XVII століття було сформовано першу цілісну наукову теорію – ньютонівську механіку. Враження, яке вона справила на сучасників, було колосальне. Світобудова раптом набула струнких і завершених обрисів. Молодший Ньютонів сучасник, великий англійський поет XVIII століття **Александр Поуп** висловив це відчуття знаменитим двовіршем:

Закони Всесвіту в пільмі ховалися від нас.

«Хай буде Ньютон!» – мовив Бог – і світло стало враз.

(Тут і далі вірші в перекладі автора – Ред.)

На початку XX століття англійський поет **Джон Коллінс Сквайр** дописав до цієї захопленої епітафії Ньютону ще два рядки:

Але тривати без кінця воно так не могло:

«З'явись, Айнштейне!» – чорт велів – і стало, як було.

Релятивістська фізика й квантова теорія (а разом із ними – астрофізика, космологія і квантова теорія поля, які залишилися майже поза межами цього розгляду) привели до радикальної зміни людських уявлень про фізичну будову матеріального світу. Вони відкрили людям нові обрії, про які вони раніше й не здогадувалися. Настрій, який панував в умах на початку XX століття, добре відбиває вірш російського поета **Валерія Брюсова** (1873–1924) «Світ електрона» (1922):

**Можливо, в кожному електроні –
Світі, де п'ять материків,
Знання, мистецтва, війни, трони
І досвід сорока віків!**

**А в атомі, що цілим мислим,
Є світ з планетами стома,
Де все, що тут, в об'ємі стислим,
Ще й те, чого в нас тут нема!..**

У середині ХХ ст. стало зрозумілим, що фізика – це не лише нові відкриття, але й зміна всього усталеного способу життя, різке розширення повсякденних можливостей. І «фізики в картатих сорочках», хлопці, які роблять неймовірні експерименти й пишуть запаморочливо складні формули, стали героями багатьох тодішніх фільмів і книжок.

Водночас квантова механіка й релятивістська теорія продемонстрували дивовижну закономірність розвитку науки про природу: коли нова теорія створюється на основі правильного тлумачення експериментальних даних, її остаточна структура часом не залежить від початкових (частіше – інтуїтивних) уявлень її творців, а то й вступає в суперечність із ними. Так сталося з основоположником квантової фізики **Максом фон Планком**, який дуже довго розглядав ним же запроваджені кванти лише як певну математичну абстракцію, необхідну для правильного опису експериментальних кривих. Однак розвиток теорії довів: насправді за квантами стоїть широка фізична реальність.

«Драма ідей» навколо інтерпретації фізичних основ квантової теорії не знала собі рівної у всій історії розвитку фізики. Але врешті-решт струнку споруду квантової фізики було збудовано, і вона вже не здається більшості з нас абсурдною навіть з погляду повсякденного досвіду.

Існує й чимало «робочих моментів» фізики на «проміжних масштабах» між Всесвітом та атомним ядром: не створено досі послідовних теорій високотемпературної надпровідності й квантового ефекту Голла (експериментально відкриті ще в середині 1980-х років), поведінки бозе-айнштайнівського конденсату (вперше експериментально реалізованого 1995 року) тощо. Водночас стрімкий розвиток мікроелектроніки й нанотехнологій ще раз демонструє торжество принципів і рівнянь квантової механіки.

Не менш гарячі дискусії, аніж дебати фізиків середини 1920-х років, нині точаться навколо спроб побудувати універсальну «теорію всього», яка об'єднала б усі можливі фізичні взаємодії. Фізика високих енергій, яку уособлює Великий адронний колайдер, споруджений унаслідок співробітництва вчених десятків країн, безпосередньо зустрілася з проблемами початку й меж нашого Всесвіту (не випадково таку велику увагу було приділено «полюванню» на бозон Гігса, відкритий врешті-решт у 2012 р.). Поняття «темної матерії» та «темної енергії» звучать нині не менш загадково, ніж слово «квант» сто років тому. Уявити передбачений Теорією струн десятивимірний простір, у чотиридимірному зрізі якого (три «декартові» координати й час) ми живемо, нам так само складно, як нашим прадідам складно було змиритися з корпускулярно-хвильовим дуалізмом і принципом невизначеності.

На думку сучасного українського фізика-теоретика **Вадима Локтева**, досі відкритими залишаються такі фундаментальні наукові питання:

Чи може бути уніфіковано закони фізики? Отже – чи має сенс робота над єдиною теорією поля, якої так і не побудував Айнштайн?

Чи є фундаментальні сталі (як-от стала Планка, швидкість світла) справді сталими, чи вони змінюються в часі (хоч і дуже повільно)?

Чи самі ми у Всесвіті?

Яка будова Всесвіту й роль «темної матерії» та «темної енергії» – слабо взаємодіючої субстанції, яка пронизує весь простір видимого Всесвіту, і відкриття якої стало сенсацією на межі ХХ–ХХІ століть?

Чи є глибші фізичні принципи, ніж принцип невизначеності?

Звідки приходять промені з ультрависокими енергіями?

У чому полягає фізичний механізм високотемпературної надпровідності, й узагалі чи є обмеження на температуру її появи?

Як залежать властивості води від її структури?

Що таке скло й скляний стан?

Що керує сонячними циклами?

Чому напрям магнітного поля Землі змінюється з часом?

Чому відбуваються землетруси і як їх передбачити?

Ще більше питань постає перед фізиками тоді, коли вони звертаються до науки про життя. Серед них чи не найзагадковіші:

Чи/чим відрізняється фізика живого від фізики неживого?

Як біомолекули «впізнають» одна одну?

Що керує біопроцесами в часі?

Чи можна пояснити в термінах фізичних взаємодій людську свідомість?

Цей короткий перелік дає можливість читачеві впевнитися: попри всі песимістичні прогнози в науку йти варто. Вона забезпечить цікавою роботою ще не одне покоління дослідників! Закінчимо розповідь про еволюцію головних фізичних теорій трьома висловами великих людей:

«Кожен школяр знайомий тепер із істинами, за які Архімед віддав би життя»

Ернест Ренан

«Що доповнює поняття «істина»? Відповідь: ясність»

Нільс Бор

«Нещасні ті люди, яким усе зрозуміло»

Луї Пастер

І насамкінець – ще раз згадаймо слова сучасного українського фізика **Івана Вакарчука**: «Можливо, Природа «підсовує» нам лише те, що ми хочемо побачити. Можливо, справжнє розуміння вона віддаляє на межу можливостей нашого розуму, де воно лише мерехтить. Але важливим є те, що просте слово «цікаво» керує нами в нестримному прагненні пізнати всю її Красу». ■