

С В І Т

ФІЗИКА

№4
2009

науково-популярний журнал

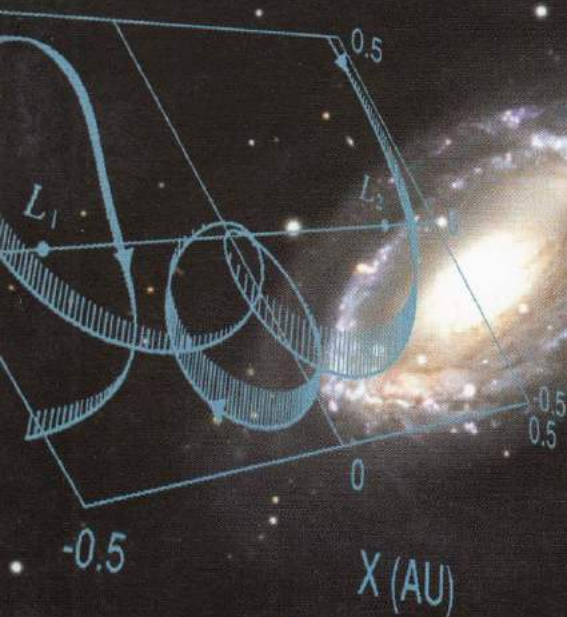


МІЖНАРОДНИЙ РІК
АСТРОНОМІЇ 2009

ВІДКРИЙ ДЛЯ СЕБЕ ВСЕСВІТ

*Астрономія – це не лише
фізико-математична наука,
а й філософія, культура,
традиція.*

Ярослав Яцків



2009 – МІЖНАРОДНИЙ РІК АСТРОНОМІЇ

2009 рік за ініціативи ЮНЕСКО оголошено Міжнародним роком астрономії. 400 років тому, 1609 року, Галілео Галілей спрямував телескоп на небо. Він був першим дослідником, що провів астрономічні спостереження за допомогою телескопа, зокрема відкрив зорі, невидимі неозброєним оком, великі супутники Юпітера, кратери на Місяці.

Під гаслом "Відкрий для себе Всесвіт" тривав Міжнародний рік астрономії.

З нагоди Міжнародного року астрономії деякі країни світу випустили ювілейні монети із зображенням Галілея та його першого телескопа.

У межах святкувань було реалізовано низку проектів, до яких приєдналися 140 країн світу, зокрема й Україна, де були проведені наукові конференції та лекції провідних астрономів.

Ці заходи покликані об'єднати професійних астрономів та аматорів, популяризувати космічну науку серед широкого загалу, насамперед серед молоді.

Пам'ятні монети та марки присвячені Міжнародному року астрономії



СВІТ ФІЗИКИ

науково-популярний журнал

4(48)'2009

Журнал "СВІТ ФІЗИКИ",
заснований 1996 року,
реєстраційне свідоцтво № КВ 3180
від 06.11.1997 р.

Виходить 4 рази на рік

Засновники:

Львівський національний університет
імені Івана Франка,
Львівський фіз.-мат. ліцей,
СП "Євросвіт"

Головний редактор

Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:

Олександр Гальчинський

Галина Шопа

Редакційна колегія:

Ігор Анісімов

Олекса Біланюк

Михайло Бродин

Петро Голод

Семен Гончаренко

Ярослав Довгий

Іван Климишин

Юрій Ключковський

Богдан Лукіянець

Олег Орлянський

Максим Стріха

Юрій Ранюк

Ярослав Яцків

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор

Мирослава Прихода

Комп'ютерне макетування та друк
СП "Євросвіт", наклад 1000 прим.

Адреса редакції:

редакція журналу "Світ фізики"
вул. Саксаганського, 1,
м. Львів 79005, Україна

тел. у Львові 380 (0322) 39 46 73

у Києві 380 (044) 416 60 68

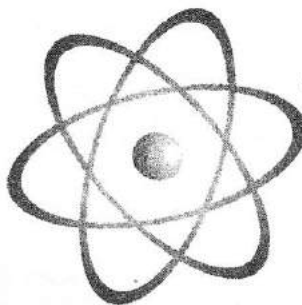
phworld@franko.lviv.ua; sf@ktf.franko.lviv.ua

www.franko.lviv.ua/publish/phworld

"...Астрономія – це не лише фізико-математична наука, а й філософія, культура, традиція. Весь розвиток культури та цивілізації тісно пов'язаний з небом і небесними світилами. Астрономія, як і інші науки, постійно розвивається. Найбільше відкриття останніх років виявило, що Всесвіт розширюється з пришвидшенням. Це – реальна фантастика. Тут астрономія об'єднується з фізикою елементарних частинок у пошуках причин такого розширення. Майже 10 років тому ми дізналися: все, що ми спостерігаємо на небі, становить лише 4 % від існуючого. Понад 17 % становить так звана темна матерія. Ми знаємо де вона є і як себе поводить, проте не знаємо, чим вона є. Пошуки її природи і причин – зараз головна мета астрономів і фізиків усього світу. Колайдери саме і будуються з цією метою. Найважливіше, що решта 70 % – це так звана темна енергія, що діє як антигравітація, приводить до пришвидшення. Космос, усупереч відомих нам законів, розширюється з пришвидшенням. Тобто існує якась сила, що діє не як знайома нам гравітація, а як антигравітація. Це темна енергія, про яку ми взагалі нічого не знаємо. Над цією проблемою працюють зараз найвідоміші теоретики, задіяно найбільші телескопи..."

академік

Ярослав Яцків



*Не забудьте
передплатити журнал
"Світ фізики"*

**Передплатний індекс
22577**

Передрук матеріалів дозволяється лише з письмової згоди редакції та з обов'язковим посиланням на журнал "Світ фізики"

© СП "Євросвіт"

ЗМІСТ

1. Нові та маловідомі явища фізики

Лукіянець Б. А., Понеділок Г. В., Рудавський Ю. К.
Планетарна модель атома. Квантування
Бора–Вільсона–Зоммерфельда
Локтєв Вадим. Нобелівська праця

2. Фізика України

Шостка В. І. Учень Миколи Боголюбова
Анатолій Свідзинський

3. Фізика світу

Голод Петро. Микола Боголюбов і сучасна
теоретична фізика

4. Нобелівські лавреати

Гальчинський Олександр, Шопа Галина. Визнання
оптоелектронних технологій

5. Університети світу

Воляр О. В., Шостка В. І. Фізичний факультет Таврійського
національного університету. Головні віхи розвитку

3
15

22

28

35

40





Планетарна модель атома. Квантування Бора-Вільсона-Зоммерфельда¹

Б. А. Лукіянець, Г. В. Понеділок, Ю. К. Рудавський,
Львівський національний університет "Львівська політехніка"

Один з перших фізичних об'єктів, до якого успішно застосовані квантові гіпотези, був найпростіший атом – атом водню. Це сталося відразу після встановлення внутрішньої будови атома – *планетарної моделі*. Була запропонована квантова теорія атома водню, яку тепер, зазвичай, називають *старою квантовою теорією*. Стара квантова теорія і сьогодні не втратила свого навчального значення. Ознайомлення з нею дає змоги початківцям глибше зрозуміти закони квантової фізики, легше подолати психологічний дискомфорт від втрати почуття реальності та звичних уявлень класичної фізики. Теорія Бора-Вільсона-Зоммерфельда була важливою віхою на шляху побудови сучасної квантової фізики.

Дослід Резерфорда. Планетарна модель атома

Починаючи з Демокріта, вважали, що атом – нескінченно мале абсолютно пружне тіло, що існує вічно, у незмінному вигляді. До початку ХХ ст. мало у кого, навіть у такого геніального фізика, як Дж. Максвелл, таке твердження породжувало сумніви.

Наприкінці ХІХ ст. особливо бурхливий розвиток фізики почав гальмуватися проблемами, пов'язаними із внутрішньою структурою атомів та їхніми властивостями. На той час було встановлено, що:

– атоми є подільними складними електронейтральними об'єктами, в яких одними з структурних компонентів є електрони;

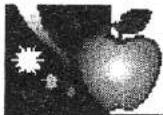
– найістотніша за величиною взаємодія має електричний характер;

– атом одного елемента може перетворюватися в атом іншого. Залишалось нез'ясованим питання про внутрішню будову атома. Адже, за *теоремою Ірншоу* ніяка конфігурація позитивних і негативних зарядів, зв'язаних між собою кулонівською взаємодією, не є стійкою. Навіть якщо створити таку стійку систему, то нескінченно мале зміщення будь-якого із зарядів незворотно цю стійкість знищує. Запропонована Кельвіном 1902 року модель, за якою позитивний заряд рівномірно розподілений по всьому об'єму атома, а електрони рівномірно розподілені на тлі позитивного заряду, забезпечувала стійкість атома. Така модель нагадує кекс з родзинками – позитивне желе з вкрапленими в нього електронами.

Англійський фізик Дж. Дж. Томсон доповнив модель Кельвіна припущенням, що електрони в цьому желе рухаються по замкнутих орбітах. Остаточно модель набула назви *модель атома Томсона*. Упродовж 10 років свого існування така модель дала змогу описати складний характер явищ дисперсії і поглинання світла, породила вчення про поляризацію світла, передбачила існування ізотопів тощо.

Англійський фізик Резерфорд піддав сумніву правильність моделі Томсона. Він виконав досліди, в яких аналізували зміни в траєкторіях потоку α -частинок, що проходили через надтонкі металічні пластинки. Відхилення в траєкторіях фіксували спалахами на флуоресцентному екрані в

¹Із книжки Б. А. Лукіянець, Г. В. Понеділок, Ю. К. Рудавський. *Основи квантової фізики*. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2009. – 420 с.



точках попадання відхиленої α -частинки. Маса α -частинки в 7300 разів більша від маси електрона. Тому зіткнення α -частинки з електроном неістотно змінить її траєкторію. Проте зіткнення α -частинки з масивним атомом може відчутно змінити і траєкторію, і її енергію.

У результаті численних спостережень таких спалахів було встановлено, що переважна більшість α -частинок відхилялись на кути $1-3^\circ$ щодо їх траєкторії перед пластинкою. Проте траплялися відхилені α -частинки на кути до 150° . Відхилені α -частинки на кути, більші, ніж 90° , у середньому, спостерігалися лише одна на 8000. Попри їхню мізерну кількість, вони є важливими з принципового погляду – їх появу ніяк не можна обґрунтувати в межах моделі Томсона.

З метою пояснення несподіваних результатів експерименту Резерфорд висунув нове припущення про будову атома, за яким додатний заряд атома, на противагу до моделі Томсона, зосереджений у доволі малому за розмірами об'ємі – ядрі. Електрони обертаються навколо ядра, утримуючись на орбітах за рахунок зрівноваження відцентрових сил силою кулонівського притягання до ядра. Така картина нагадує планетарну систему, подібну до Сонячної, тому така модель будови атома отримала назву *планетарної моделі*.

Для обґрунтування планетарної моделі будови атома Резерфорд проаналізував процес розсіяння заряджених частинок на атомах речовини з погляду класичної механіки. Схема процесу розсіяння зображена на рис. 1. Тут p – так звана *прицільна відстань* що, фактично, була б відстанню найбільшого наближення α -частинки до атомного ядра якби вона пролітала без розсіяння.

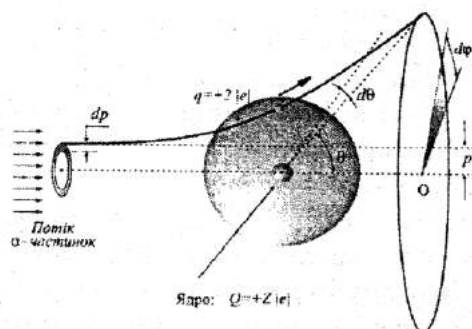


Рис. 1. Розсіяння α -частинки атомами речовини

Припускається, що α -частинки, влітаючи в область, зайняту атомом (умовно зображену на рис. 1 затушованою кулею без збереження характерних масштабів) не розсіюються на електронах атома, а лише на ядрі. Можна навести вагомі аргументи на підтвердження такого припущення. Маса α -частинки, як зазначалося, набагато більша від маси електрона. Тому енергетичні втрати α -частинки у разі однократного пружного зіткнення з електроном будуть дуже малими і це не вплине на її траєкторію. Є також й інші аргументи, які тут не подаємо, бо це вимагає знання квантових понять, які вивчають пізніше.

Використовуючи закони збереження енергії та імпульсу в замкнутій системі “ α -частинка – ядро” та беручи до уваги, що маса ядер значно більша від маси α -частинки, Резерфорд знайшов таке співвідношення між параметрами задачі розсіяння:

$$\operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} = K \frac{p}{Ze^2}, \quad (1)$$

Тут $K = mv^2/2$ – кінетична енергія α -частинки (v , m – її швидкість та маса, відповідно), а Z – зарядове число. Експериментально перевірити справедливість формули (1) неможливо через неможливість виміряти прицільний параметр p . Тому Резерфорд вдається до таких міркувань.

Розглянемо потік α -частинок, які летять паралельним пучком в інтервалі прицільної відстані $p \div p - dp$. Тоді частинки розсіюються в інтервалі кутів $\theta \div \theta + d\theta$. Меншим значенням прицільного параметра відповідатимуть більші значення кута відхилення.

Введемо тілесний кут, $d\Omega = 2\pi \sin\theta d\theta$, між конусами з кутами θ та $\theta + d\theta$. Кількість частинок, які пролітають після розсіяння всередині тілесного кута $d\Omega$, пропорційна до площі кільця $s = 2\pi p dp$, зображеного на цьому самому рисунку ліворуч.

Диференціальний переріз $d\sigma$ пружного розсіяння в тілесний кут $d\Omega$ визначається через відношення кількості частинок розсіяних dN_θ , розсіяних у заданий тілесний кут до повного потоку N падаючих частинок у пучкові:



$$\frac{dN_{\theta}}{N} = n \cdot 2\pi p dp = n d\sigma. \quad (2)$$

Тут n – кількість ядер з розрахунку на одиницю площі поверхні мішені. Диференціюючи праву та ліву частини співвідношення (1), відразу отримуємо вираз для диференціального перерізу розсіяння

$$d\sigma = \left(\frac{Ze^2}{2K} \right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4 \frac{\theta}{2}}. \quad (3)$$

Це є *формула Резерфорда* для розсіяння α -частинок. Зауважимо, що формула (3) справедлива лише для малих значень прицільних віддалей p , тобто для частинок розсіяних тільки на великі кути. Якщо прицільна віддаль велика, то частинка пролітає поза ділянкою, зайнятою атомом. Атом, загалом, тепер потрібно розглядати як електронейтральний. Характер взаємодії між частинкою, що розсіюється, та атомом змінюється – взаємодія стає відмінною від точкової кулонівської.

Диференціальний переріз розсіяння вже можна вимірювати експериментально, підраховуючи кількість частинок, розсіяних у відповідний тілесний кут. Розрахунки, отримані за формулою (3), з високим ступенем точності збігаються з результатами експериментальних досліджень. Крім висновку про справедливості планетарної моделі атома, з досліду Резерфорда очевидним був ще один важливий висновок: кількість електронів в атомі збігається з його порядковим атомним числом Z у періодичній системі елементів. Оскільки в нормальному стані атом електронейтральний, то заряд ядра у такому атомі дорівнює $+Z|e|$. До того ж, досліди Резерфорда опосередковано свідчили про те, що закон Кулона взаємодії заряджених частинок залишається справедливим навіть для дуже малих відстаней між ними.

Отже, за планетарною моделлю атом – сконцентрований у дуже малому об'ємі-ядрі позитивний заряд з електронами, що обертаються навколо ядра. Власне такий рух електронів забезпечує стійкість атомів, інакше нерухомі електрони під дією сили електростатичного притягання попадали б на ядро. Проте рух електронів по замкнутих

орбітах породжував протиріччя з висновками класичної електродинаміки щодо стійкості атома. Закони класичної електродинаміки твердять, що рух заряду по криволінійній траєкторії супроводжується втратою енергії у вигляді випромінювання. Електрон, рухаючись по замкнутій орбіті, має поступово зменшувати свою швидкість і остаточно впасти на ядро. Насправді, атоми є стабільними. Далі розглянемо, як це протиріччя було усунуто. З цією метою потрібно спочатку пригадати достовірно встановлені на той час закономірності у структурі спектрів атомів.

Закономірності у спектрі атома водню

Дослідження атомних спектрів започаткували ще 1860 року, коли була опублікована праця Г. Кірхгофа і Р. Бунзена “Хімічний аналіз за допомогою спостереження спектра”. У наступні роки такі дослідження здійснювали доволі інтенсивно. Було встановлено характерну ознаку атомних спектрів – їхню дискретність. Спектри складаються з набору вузьких смуг (ліній) визначеної частоти. Так, наприклад, у видимому ділянці спектра найпростішого хемічного елемента атомарного водню попадає лише чотири лінії, які прийнято позначати $H_{\alpha}, H_{\beta}, H_{\gamma}, H_{\delta}$.

Упродовж двох десятків років інтенсивних досліджень атомних спектрів було накопичено величезну кількість експериментального матеріалу, складені докладні таблиці. Проте у великому масиві даних не вдавалося встановити якусь закономірність, хоча було зрозуміло всім дослідникам, що в цих таблицях захована повна інформація про будову атома.

Перші вагомі успіхи у класифікації атомних спектрів, зокрема, водню були отримані 1885 року. Як це не дивно, але певне значення тут мали ідеї античної філософської піфагорійської школи. Послідовники цієї школи стверджували, що гармонія Всесвіту завдячує містичній ролі цілих чисел у природі. Під впливом ідей піфагорійців перебував з юних років і Й. Бальмер (1825–1898) – учитель фізики жіночої гімназії м. Базеля. Впродовж багатьох років він шукав закономірності у сукупності атомних спектрів, вважаючи, що цілі числа мають тут мати не останнє значення.



Докладно аналізуючи спектральні лінії $\{H_\alpha, H_\beta, H_\gamma, H_\delta\}$ атома водню у видимій ділянці, Й. Бальмер зауважив, що вони розташовані не випадково, а утворюють *серію* довжин хвиль, яку можна описати єдиною формулою

$$\lambda = \lambda_0 \frac{n^2}{n^2 - 4}, \quad (4)$$

де $\lambda_0 = 3645,6 \text{ \AA}$ – емпірично визначена постійна, а $n = 3, 4, 5, \dots$ – цілі числа.

Формула (4) настільки точно описувала довжини ліній у видимій ділянці спектра атома водню, що на неї відразу звернули увагу. Стало зрозумілим, що за цією простою емпіричною формулою криється глибокий фізичний зміст. По суті, з формули Й. Бальмера починається справжня наука про атоми та їхню внутрішню електронну будову.

Незабаром було звернуто увагу на те, що формула (4) стає прозорішою і змістовнішою, якщо її переписати не для довжин хвиль, а через частоти, використовуючи співвідношення між частотою і довжиною електромагнетної хвилі

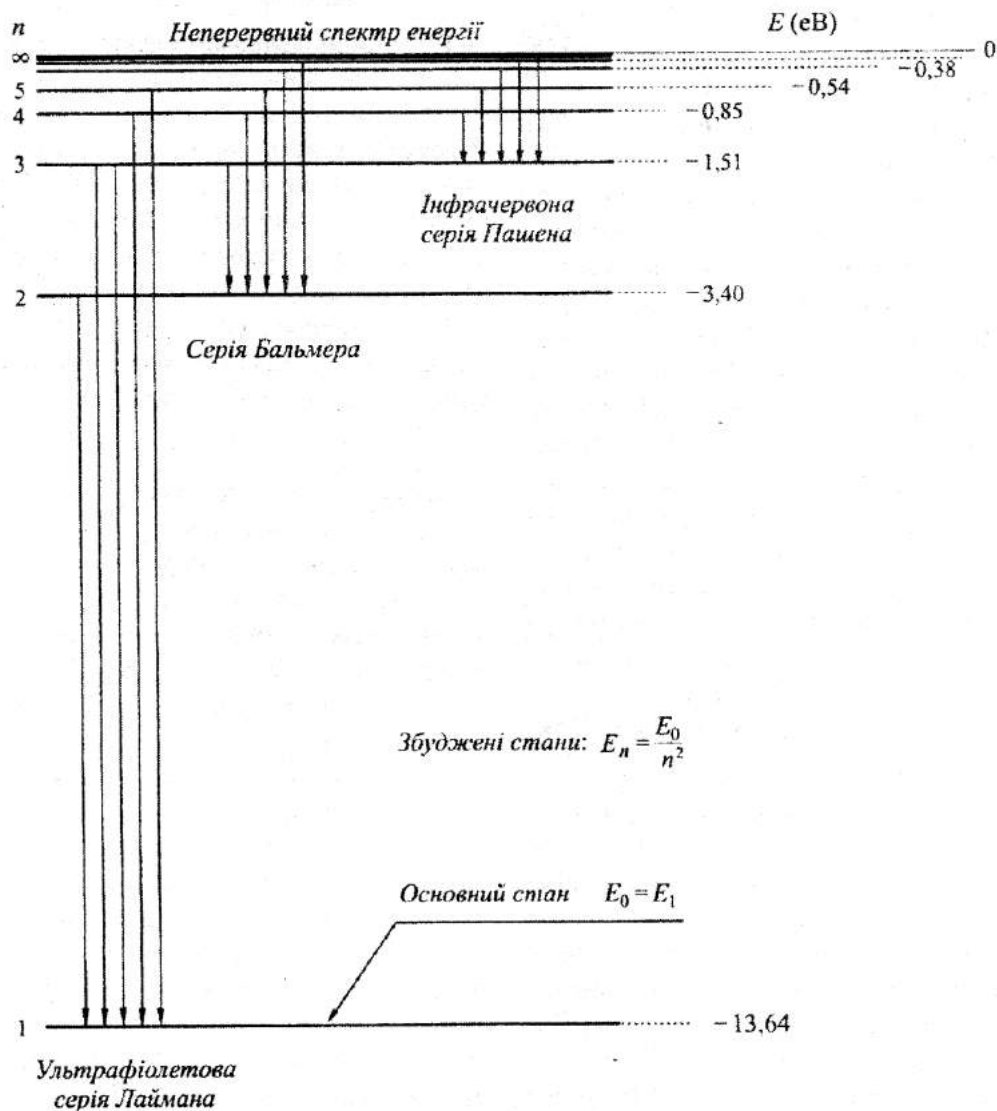


Рис. 2. Спектральні серії атома водню. Вертикальними лініями показано можливі переходи між енергетичними рівнями



$$\omega = 2\pi\nu = 2\pi c/\lambda.$$

Тоді

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2\pi c}{\lambda_0} \frac{n^2 - 4}{n^2} = \frac{8\pi c}{\lambda_0} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) = \\ &= R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Тут введена постійна величина

$$R = 8\pi c/\lambda_0 = 2,07 \cdot 10^{16} \text{ c}^{-1},$$

яку називали *сталюю Рідберга*.

Пізніше подібна аналітична залежність спостерігалася в інших, ультрафіолетовій та інфрачервоній, ділянках спектра атомарного водню. Всіх їх можна об'єднати в так звану *узагальнену формулу Бальмера*

$$\omega_{mn} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (6)$$

де m, n – цілі числа, причому для фіксованого m число n приймає цілі значення $n = m+1, m+2, \dots$

На рис. 2 зображено схему серій у спектрі атома водню так, як вона трактується сьогодні з погляду сучасної квантової теорії. Кожна з серій описується формулою (6) у разі відповідного вибору цілих чисел.

Якщо ввести у формулі (6) позначення $T(m) = R/m^2$, яке називається *термом*, то частоту будь-якої лінії спектра водню можна подати як різницю між двома термами, а саме:

$$\omega_{mn} = T(m) - T(n). \quad (7)$$

На перший погляд може здатися, що введення поняття терма є тривіальним, не більше ніж перепозначення. Насправді, це не так. Подання частоти як різниці двох термів мало вагомий наслідок для подальшого розвинення теорії атомних спектрів. Важливо, що емпірична формула (6) записана для атома водню. Проте залишалося нез'ясованим питання про принципову можливість написання подібної простої формули для класифікації спектральних ліній складніших атомів. Враховуючи запис частоти спектральної лінії атома водню у формі (7), Й. Рідберг надав спектральним лініям різних елементів форму комбінації термів, застосувавши для терма емпіричну формулу

$$T(n) = \frac{R}{\left(n + \alpha + \frac{\beta}{n^2} \right)^2}. \quad (8)$$

Тут α, β – дійсні числа, які мають значення емпірично підібраних параметрів. На підставі такої формули вдалося здійснити класифікацію спектральних ліній багатьох елементів таблиці Менделєєва.

Продовжуючи дослідження Й. Рідберга, 1905 року В. Рітц сформулював *комбінаційний принцип*, за яким *будь-яку* спектральну лінію *будь-якого* атома можна подати як різницю термів. Неважливо чи відомі аналітичні вирази для термів. Набір спектральних ліній атомів, виглядаючи на перший погляд хаотичною сукупністю, розпався на цілком визначені серії із чіткими закономірностями їх розташування. Замість великої кількості спектральних ліній достатньо знати набагато меншу кількість термів. Правда, комбінуючи терми, можна передбачувати спектральні лінії, які насправді не спостерігалися. Згодом з'ясувалося, що у спектрі відсутні окремі спектральні лінії через так звані правила відбору, які чітко були встановлені та обґрунтовані квантовою теорією.

У результаті виконаної класифікації спектрів стало зрозуміло, що спектральні закономірності мають фундаментальний характер і визначаються внутрішньою будовою атома. Однак встановити зв'язок структури спектра з будовою атома та фізичними процесами на атомному рівні не вдалося впродовж багатьох років. Лише 1913 року у цій проблемі було досягнуто ясності.

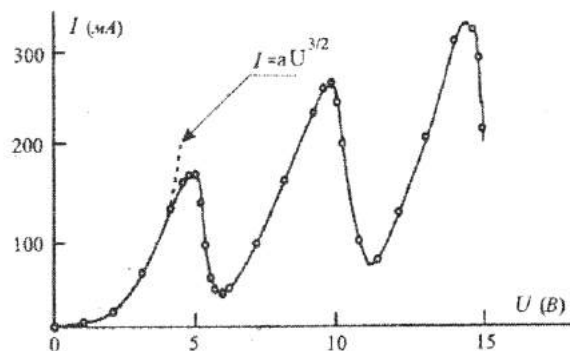


Рис. 3. Дослід Франка-Герца. Залежність струму від напруги пришвидшення електронів



Постулати Бора. Теорія атома водню

Як вже зазначалося, планетарна модель атома не узгоджувалася із законами класичної електродинаміки. Рух електрона по замкнутих орбітах навколо ядра є прискореним. За законами класичної електродинаміки пришвидшений рух заряду завжди супроводжується випромінюванням електромагнетних хвиль. Електромагнетні хвилі переносять енергію, тому електрон, втрачаючи енергію на випромінювання, має впасти на ядро. Ніхто не міг спростувати цей важливий наслідок законів електродинаміки. Проте існування стабільних атомів також є незаперечним фактом. Данський фізик Нільс Бор перший дійшов висновку, що протиріччя моделі Резерфорда з класичною електродинамікою можна усунути лише тоді, коли відмовитися від класичного (ньютонівського) опису руху електрона по замкнутих орбітах у планетарній моделі атома. Упродовж 1913 року Нільс Бор опублікував три праці, в яких він сформулював свої знамениті постулати.

Для усунення протиріччя планетарної моделі атома із законами класичної електродинаміки Н. Бор припустив, що, рухаючись по орбіті, електрон не випромінює електромагнетні хвилі, а залишається на орбіті достатньо тривалий час.

ПОСТУЛАТ 1 (Про стаціонарні стани)

Атоми можуть перебувати тільки у визначених станах, в яких, попри рухи електронів по замкнутих дискретних орбітах, вони не випромінюють енергію. У цих станах атоми мають енергію, яка утворює дискретний ряд:

$E_1, E_2, \dots, E_n, \dots$. Ці стани характеризуються стійкістю; будь-яка зміна енергії E_n завдяки випромінюванню чи поглинанню електромагнетного випромінювання або інших форм обміну атома енергією може відбуватися у разі повного переходу із одного стану в інший.

За цим постулатом електрони під час руху навколо ядра майже весь час перебувають на стабільних, незалежних від часу, орбітах, які мають цілком визначену енергію. Такі орбіти називають *стаціонарними*.

Далі, для пояснення спектральних закономірностей, зумовлених процесами поглинання і випромінювання електромагнетних хвиль пропонується такий постулат.

ПОСТУЛАТ 2 (Правило частот)

У разі переходу з одного стаціонарного стану в інший атоми випромінюють чи поглинають електромагнетні хвилі визначеної частоти. Випромінювання, що висилається або поглинається у разі переходу із стаціонарного стану E_m у стаціонарний стан E_n , є монохроматичним і його частота визначається співвідношенням

$$\nu_{mn} = \frac{|E_m - E_n|}{h}. \quad (9)$$

Теорія Бора, побудована на сформульованих постулатах, блискуче пояснила структуру спектральних ліній атома водню. Власне, Н. Бор і брав за основу ці експериментальні дані під час формулювання своїх постулатів. Тому відразу постало питання про безпосередні, незалежні підтвердження постулатів Бора про наявність стаціонарних станів та правил переходу між ними.

Першим експериментом, в якому безпосередньо було підтверджено справедливість постулатів Бора став дослід Дж. Франка і Г. Герца (1914).

Суть експерименту зводилася до дослідження вольт-амперної характеристики у схемі, де струм у катодній трубці, створений прискореними електричним полем електронами. У трубці перебувала дуже розріджена пара ртуті. У результаті було отримано вольт-амперну криву, що зображена на рис. 3. Якщо розглядати криву від значення при $U = 0$ до значення її першого екстремуму ($U = 4,9$ В), то така залежність збігається з аналогічною, якби в експерименті електрони пропускалися не через пари ртуті, а проходили у вакуумі.

Немонотонності кривої є результатом взаємодії електрона з атомами ртуті. Маса атома ртуті майже в 400000 разів перевищує масу електрона. Поки енергія бомбуючого електрона не перевищує 4,9 еВ, його зіткнення з атомами ртуті є пружними (електрон розсіюється на атомі без зміни енергії, змінюючи лише свою траєкторію). Такий електрон

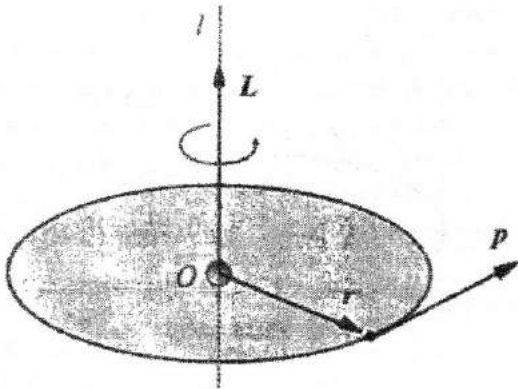


Рис. 4. Момент імпульсу електрона $L = [r \times p]$. У частковому випадку руху по замкнутій траєкторії, що лежить у певній площині, вектор моменту імпульсу спрямований вздовж прямої l , яка перпендикулярна до площини руху

не здатний збудити атом ртуті. Ситуація докорінно змінюється після досягнення електроном енергії 4,9 еВ. Тепер електрон може збудити атом ртуті, передавши йому частину своєї кінетичної енергії. Таке зіткнення електрона з атомом ртуті є непружним. Сповільнення електронів завдяки непружним зіткненням спричиняє зменшення струму в колі. Проте якщо якийсь електрон не зазнав непружного зіткнення, то його енергія далі збільшуватиметься електричним полем, аж поки не досягне значення другого енергетичного рівня, третього рівня і т. д. Непружні зіткнення таких електронів є причиною появи подальших екстремумів на вольт-амперній кривій. Отже, отримана вольт-амперна крива підтвердила дискретний характер енергії, в яких може перебувати атом ртуті.

Покажемо, вслід за Н. Бором, до яких наслідків призводять сформульовані постулати для атома водню. За законами класичної механіки радіус орбіти r електрона у кулонівському полі ядра та модуль швидкості v пов'язані простим співвідношенням

$$\frac{m_e v^2}{r} = \frac{Z e^2}{4\pi \epsilon_0 r^2}. \quad (10)$$

Тут $Z|e|$ – заряд атомного ядра; ϵ_0 – електрична стала.

Перебуваючи на орбіті радіуса r , електрон має повну енергію

$$E = \frac{m_e v^2}{2} + \left(-\frac{Z e^2}{4\pi \epsilon_0 r} \right) \quad (11)$$

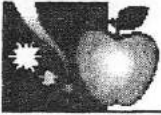
– суму кінетичної та потенціальної енергії. Упродовж усього часу перебування електрона на визначеній, стаціонарній орбіті його повна енергія не змінюється, а електромагнетні хвилі не випромінюються. Рівняння (10) допускає безмежну кількість замкнутих колових орбіт. Постає питання про існування стаціонарних орбіт серед безмежної кількості можливих. Перший постулат Н. Бора стверджує, що стаціонарні орбіти існують. Тоді відразу таке запитання: “А як стаціонарні орбіти вирізнити з-поміж безмежної кількості всіх можливих, що задовольняють співвідношенню (10)?” Ось тут Н. Бор зрозумів, а можливо і вгадав, як відповісти на це запитання. І ця відповідь була простою, а тому й геніальною.

Уже від 1905 року у науці утвердилися і завоювали визнання квантові ідеї, про що йшлося у попередньому розділі. Нагадаємо, що стала Планка h має розмірність дії і на початку названа Планком квантом дії. Але ж поняття дії у класичній механіці відоме ще з часів Гамільтона і Лагранжа. Розмірність дії має орбітальний момент імпульсу. Величина орбітального моменту імпульсу для колового руху щодо силового центра O , як очевидно з означення, дорівнює $L = m r v$. Напрямок вектора орбітального моменту імпульсу зображено на рис. 4. Отже, коли фізична величина має розмірність дії, то найменше числове значення, яке вона може набувати, дорівнює сталій Планка, а більші значення – кратні сталій Планка. Після тривалих міркувань і розрахунків Н. Бор дійшов висновку, що стаціонарні можуть бути лише ті колові орбіти, для яких орбітальний момент імпульсу кратний \hbar :

$$m_e r v = n \hbar, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (12)$$

Ціле число n називається **квантовим** числом.

Отримавши з формули (11) швидкість електрона, $v = n\hbar/mr$, підставимо у співвідношення (9). Тоді з нього можна отримати радіуси стаціонарних орбіт



$$r_n = \frac{4\pi \epsilon_0 \hbar^2}{Z m_e e^2} n^2, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (13)$$

Тут у позначенні радіуса орбіти введений індекс n , щоб підкреслити залежність радіуса від цього квантового числа.

Радіус r_1 , найменшої колової орбіти для атома водню ($Z = 1$), позначається

$$a_0 = \frac{4\pi \epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} = 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 0,5 \text{ \AA}. \quad (14)$$

і називається **радіусом Бора**. У певному розумінні радіус Бора a_0 визначає розміри атома водню. Задовго до створення теорії Бора розміри атома водню були оцінені експериментально. Теоретичне значення радіуса Бора (14) виявилось доволі близьким до експериментального значення радіуса атома водню. Це було ще одним аргументом на користь теорії Бора.

Енергію електрона (11) у кулонівському полі ядра зарядом $Z|e|$ з врахуванням допустимих радіусів (13) перепишемо так:

$$E_n = \frac{Z^2 e^4 m_e}{2(4\pi \epsilon_0)^2 \hbar^2 n^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (15)$$

Стан атома із найменшим значенням енергії ($n = 1$) називається **основним**. Для атома водню основному стану відповідає енергія $E_1 = -13,64 \text{ еВ}$.

Відповідно до другого постулату атом водню для частоти переходу з стану E_n у стан E_m з врахуванням $\omega = 2\pi\nu$ отримаємо

$$\begin{aligned} \omega_{nm} &= -\frac{1}{\hbar}(E_n - E_m) = \\ &= -\frac{Z^2 e^4 m_e}{2(4\pi \epsilon_0)^2 \hbar^3} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right). \end{aligned} \quad (16)$$

Розгляньмо випадок атомарного водню, $Z = 1$. Порівняння останнього виразу з узагальненою формулою Бальмера (6) засвідчує, що вони повністю збігаються, якщо сталу Рідберга вибрати такою, що дорівнює

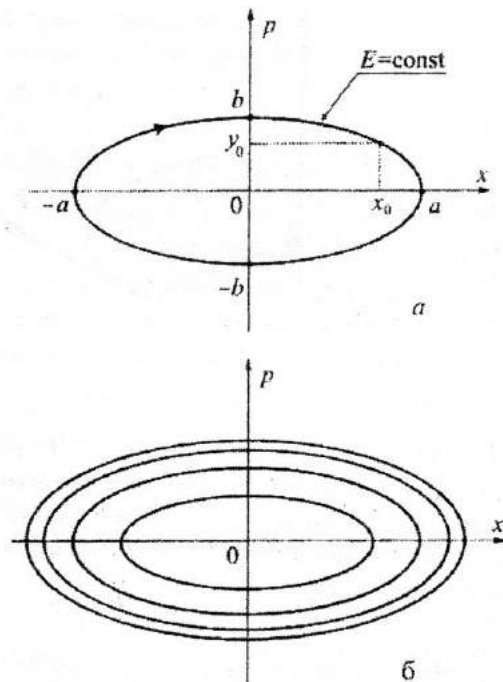


Рис. 5. Траєкторія гармонічного осцилятора у фазовому просторі для заданого значення енергії E – (а); сім'я траєкторій гармонічного осцилятора для різних значень його енергії – (б). Площа, обмежена будь-якими сусідніми траєкторіями, однакова за величиною

$$R = \frac{m_e e^4}{2(4\pi \epsilon_0)^2 \hbar^3}. \quad (17)$$

Якщо підставити значення постійних у правій частині (17), то отримуємо значення R , яке знайдено експериментально.

Зобразимо рівні (див. рис. 2), що описуються формулою (15), у вигляді ліній, на яких цифри визначають квантові стани n . За початок відліку прийнятий стан з $n \rightarrow \infty$, який позначаємо $E = 0$. Електрон з енергією $E > 0$ здійснює необмежений (інфінітний) рух у полі атомного ядра по гіперболічних траєкторіях. За такого руху електрон може мати довільне додатне значення енергії. Коли $E < 0$, то електрон здійснює фінітний рух по замкнених еліптичних орбітах, а його енергії можуть мати тільки дискретні значення (15).



Стан $n = 1$ відповідає основному (нормальному) стану електрона, а всі стани $n \geq 2$ – відповідають збудженим його станам. Вертикальні стрілки, спрямовані догори, відповідають переходам між відповідними станами з поглинанням атомом енергії, а в зворотному напрямку – з випромінюванням енергії за другим принципом Бора.

Квантування Бора-Вільсона-Зоммерфельда

Постулати Бора, констатуючи наявність в атомі водню стаціонарних орбіт з визначеними значеннями енергії електронів та правил переходу електронів між стаціонарними орбітами, не до кінця пояснюють фізичну природу постулатів, не встановлюють фундаментального зв'язку між стаціонарними станами електронів та їх динамікою по орбітах в кулонівському полі ядра. До того ж Н. Бор для побудови теорії спектрів атома водню застосував правило квантування (11). Відразу виникла потреба у фізичному осмисленні цього правила та його узагальненні. Цю працю було пророблено, переважно, В. Вільсоном (1915) та, незалежно, А. Зоммерфельдом (1916). Продемонструємо це на прикладі гармонічного осцилятора, максимально дотримуючись міркувань і висновків праці А. Зоммерфельда.

Розглядається матеріальна точка маси m , що здійснює лінійний рух у потенціальному полі

$$U(x) = kx^2/2.$$

Повна енергія осцилятора:

$$E = \frac{p^2}{2m} + \frac{m_e \omega^2 x^2}{2},$$

де $\omega = \sqrt{k/m_e}$ – власна частота коливання осцилятора, яка не залежить від амплітуди коливання.

На рис. 5, а зображена траєкторія осцилятора у фазовому просторі $\{x; p\}$ для заданого постійного значення повної енергії E осцилятора. Такою траєкторією є еліпс з півосями

$$a = \sqrt{\frac{2E}{m_e \omega^2}} \text{ та } b = \sqrt{2m_e E}.$$

Класичний опис руху осцилятора на підставі теорії звичайних диференціальних рівнянь другого

порядку вказує, що, якою б не була початкова умова $\{x_0; p_0\}$, через цю точку фазового простору обов'язково проходить одна і лише одна траєкторія. Через початкові умови однозначно визначається також енергія осцилятора. Отже, кожному значенню енергії осцилятора відповідає своя траєкторія, яка описується канонічним рівнянням еліпса

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{p^2}{b^2} = 1. \quad (18)$$

Площа еліпса $S = \pi ab$. Підставивши вирази для довжин півосей a та b , знайдемо

$$S = \frac{2\pi E}{\omega} = \frac{E}{\nu}, \quad (19)$$

де $\nu = \omega/2\pi$ – частота коливання осцилятора.

Тепер до формулювання правила квантування залишається виконати одну, проте доволі сміливу дію. З формули (19) бачимо, що площа еліпса у фазовому просторі має розмірність дії: $[S] = \text{Джс}$. Але ж розмірність дії має також стала Планка – квант дії. Позначимо через ΔE різницю між постійними енергіями осцилятора, фазовими траєкторіями яких є два сусідніх еліпси. Тоді, відповідно до формули (19),

$$\frac{\Delta E}{\nu} = h, \text{ або } \Delta E = h\nu. \quad (20)$$

На рис. 5, б схематично зображено сімейство траєкторій, що задовольняють цю умову. Перенумеруємо еліпси із вказаного сімейства цілими додатними числами $1, 2, 3, \dots, n$, а відповідні значення енергії осцилятора $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$.

Тоді енергія, що відповідає n -му еліпсу,

$$E_n = \varepsilon n, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (21)$$

Квант енергії $\varepsilon = h\nu = h\omega$ – абсолютне значення різниці енергій для двох будь-яких сусідніх фазових траєкторій.

Грунтуючись на прикладі гармонічного осцилятора та ще декількох простих моделей, було зроблено узагальнення правила квантування (20)–(21) на довільні механічні системи з одним ступенем вільності, що здійснюють рух по замкнутій траєкторії у фазовому просторі.



Точка, що зображає механічну систему на фазовій площині, перебуває на певній, визначеній квантовими умовами фазовій орбіті. Площа елементарної ділянки, що обмежена будь-якими двома сусідніми орбітами, дорівнює сталій Планка \hbar .

Мовою математики сформульоване щойно в редакції А. Зоммерфельда правило квантування запишемо так:

$$\frac{1}{2\pi} \oint p dx = \hbar n, \quad n = 1, 2, \dots, 3, \dots \quad (22)$$

Тут n – квантове число, за допомогою якого перенумеровуються дискретні рівні енергії. Інтегрують у (22) за замкнутим контуром на площині.

Після створення сучасної квантової теорії правила квантування Бора–Вільсона–Зоммерфельда, або так звана стара квантова теорія, втратили своє принципове значення для квантової фізики. Проте, інколи ця теорія набуває практичного застосування під час знаходження дискретних рівнів енергії квантових частинок, які здійснюють періодичні рухи у потенціальних силових полях. Річ у тому, що рівняння квантової механіки розв’язують точно ліпше для окремих моделей. Здебільшого треба застосовувати наближені методи. Правила квантування (22) доволі прості; інтеграл по замкнутій траєкторії у фазовому просторі можна легко обчислити для широкого класу різних моделей. Правда, розрахунки дискретних рівнів енергії за формулою (22) також наближені.

Можна строго показати, що в загальному випадку правила квантування Бора–Вільсона–Зоммерфельда дають задовільні результати тільки тоді, коли рух квантової частинки є близьким до класичного. Здебільшого це випадки руху частинки у потенціальному полі з великим значення енергії. Точніше, коли різниця енергій між двома сусідніми дискретними рівнями мала порівняно з енергією цих рівнів: $|E_n - E_{n+1}|/E_n \ll 1$.

Далі на окремих прикладах проілюструємо як “працюють” правила квантування Бора–Вільсона–Зоммерфельда.

Задача 1. Застосовуючи правило квантування Бора–Вільсона–Зоммерфельда (БВЗ), знайдіть рівні енергії частинки у нескінченно глибокій потенціальній ямі

$$U(x) = \begin{cases} 0, & 0 < x < a \\ \infty, & x < 0; \quad x > a \end{cases} \quad (23)$$

Графік вказаної потенціальної ями зображено на рис. 3. Частинка здійснює рух на проміжку $0 < x < a$. Точки $x = 0$ та $x = a$ називаються точками повороту. У цих точках відбувається абсолютно пружне відбивання частинки із зміною напрямку вектора імпульсу на протилежний. Енергія частинки $E = p^2/2m$ – постійна величина. Звідси імпульс частинки буде $p = \pm\sqrt{2mE}$. Правило квантування БВЗ для цього випадку

$$\frac{1}{2\pi} \oint \sqrt{2mE_n} dx = \hbar n, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Звідси

$$2a\sqrt{2mE_n} = 2\pi \hbar n$$

або

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ma^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (24)$$

Задача 2. Застосовуючи правило квантування БВЗ, знайдіть квантові рівні енергії частинки, яка здійснює фінітний рух у потенціальному полі $U(x) = U_0|x|^l$, $l = 1, 2, 3, \dots$

Запишемо правило квантування БВЗ

$$\sqrt{2m} \oint \sqrt{E_n - U_0|x|^l} dx = \hbar n \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (25)$$

Якщо енергія $E_n > 0$, то переходячи до безрозмірної змінної інтегрування, знайдемо рівняння

$$E_n^{(l+2)/2l} \left(\frac{\sqrt{2m}}{U_0^{1/l}} \right) \oint \sqrt{1 - |z|^l} dz = \hbar n \quad (26)$$

Позначимо $I(l) = \oint \sqrt{1 - |z|^l} dz$. Тоді дискретні рівні енергії частинки



$$E_n = \left(\frac{U_0^{1/l} \hbar}{\sqrt{2mI(l)}} \right)^{2l/(l+2)} \cdot n^{2l/(l+2)} \quad (27)$$

Частковий випадок $l = 2$ відповідає гармонічному осцилятору, коли прийняти $U_0 = k/2$. Інтеграл

$$I(2) = \oint \sqrt{1-|z|^2} dz = 2 \int_{-1}^1 \sqrt{1-|z|^2} dz = \pi.$$

Звідси знаходимо рівні енергії осцилятора

$$E_n = \hbar \sqrt{\frac{k}{m}} n = \hbar \omega n, \quad n = 1, 2, \dots,$$

які збігаються з (21).

Згодом А. Зоммерфельд узагальнив правило квантування (22) на випадок класичних динамічних задач із багатьма просторовими ступенями вільності. Для прикладу, рух електрона у полі ядра характеризується трьома ($l = 3$) ступенями вільності. У декартовій системі координат, центр якої суміщений з ядром атома, просторове положення електрона однозначно визначається трьома координатами $[x, y, r]$.

Для формулювання квантових умов А. Зоммерфельд використовує *узагальнені координати*, q_1, q_2, \dots, q_l , тобто величини, які задають однозначно просторове положення системи в просторі у будь-який момент часу. Кожній узагальненій координаті відповідає *узагальнений імпульс*

$$p_i = \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i}, \quad i = 1, 2, \dots, l. \quad (28)$$

Тут $\dot{q}_i = dq/dt$ – узагальнена швидкість, тобто швидкість зміни відповідної узагальненої координати. Величина $T = T(q_1, \dots, q_l, \dots, \dot{q}_1, \dots, \dot{q}_l)$ – кінетична енергія механічної динамічної системи як функція узагальнених координат та узагальнених швидкостей.

Мовою узагальнених координат правило квантування систем з багатьма степенями вільності формулюється так:

$$\begin{cases} \frac{1}{2\pi} \oint p_1 dq_1 = n_1 \hbar \\ \dots \\ \frac{1}{2\pi} \oint p_l dq_l = n_l \hbar \end{cases} \quad (29)$$

де n_1, \dots, n_l – квантові числа.

Задача 3

Показати, що правило квантування Бора (11) очевидне з умови квантування (22).

Якщо електрон рухається по коловій орбіті радіуса r , як це припускається у теорії Бора, то для обчислення фазового інтеграла зручно перейти до полярної системи координат $\{r, \varphi\}$ за формулами

$$\begin{cases} x = r \cos \varphi \\ y = r \sin \varphi \end{cases} \quad (30)$$

Під час руху частинки по колу радіуса r , її просторове положення відносно силового центра однозначно збігається тільки однією координатою – полярним кутом φ ($0 \leq \varphi < 2\pi$). Узагальненими координатами можна вибрат $q_1 = r$ та $q_2 = \varphi$. Кінетична енергія електрона

$$T = \frac{m(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)}{2} = \frac{m}{2}(\dot{r}^2 + r^2 \dot{\varphi}^2)$$

Оскільки радіус орбіти постійний, то $\dot{r} = 0$. Тому кінетична енергія

$$T = \frac{mr^2 \dot{\varphi}^2}{2}$$

Тоді узагальнений імпульс, що відповідає узагальненій координаті φ

$$p_\varphi = \partial T / \partial \dot{\varphi} = mr^2 \dot{\varphi}.$$

Правила квантування для цього випадку

$$\begin{cases} \frac{1}{2\pi} \oint p_\varphi d\varphi = n_\varphi \hbar \\ \frac{1}{2\pi} \oint p_r dr = n_r \hbar \end{cases} \quad (31)$$



Оскільки $p_r \equiv 0$, то радіальне квантове число $n_r = 0$. Фазовий інтеграл

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi} \oint p_\varphi d\varphi &= \frac{1}{2\pi} \oint mr^2 \dot{\varphi} d\varphi = \\ &= \frac{1}{2\pi} \oint mrv d\varphi = mrv = L \end{aligned}$$

Тут $L = \text{const}$ – момент імпульсу електрона відносно ядра. Отже,

$$L = n_\varphi \hbar, \quad n_\varphi = 1, 2, 3, \dots \quad (32)$$

що відповідає правилу квантування Бора для колових орбіт.

Розвиваючи теорію Н. Бора і ґрунтуючись на дослідженнях В. Вільсона, А. Зоммерфельд припустив, що орбіта електрона у атомі водню є еліптичною. В одному з фокусів еліптичної орбіти перебуває ядро атома. Це припущення ґрунтувалося на поширенні планетарної моделі Сонячної системи на атоми. Це цілком логічно і виправдано, бо планети Сонячної системи і електрони атома рухаються у потенціальних силових полях, які мають схожу математичну структуру.

Правила квантування (29) А. Зоммерфельд застосував до квантування еліптичних орбіт в атомі водню. Для цього треба обчислити інтеграли у співвідношеннях (31), враховуючи, що орбітою електрона є еліпс, в одному з фокусів якого перебуває ядро. Перша квантова умова, як і для колових орбіт, також призводить до квантування орбітального моменту імпульсу (32). Обчислення інтеграла у другій умові є технічно значно складнішою задачею. Докладніше про це можна дізнатись з додаткової літератури. Наведемо тут лише основні фізичні висновки.

Розв'язання А. Зоммерфельдом задачі (31) для еліптичних вказує на те, що квантові числа n_r та n_φ задовольняють умову

$$n = n_r + n_\varphi. \quad (33)$$

Тут азимутальне n_φ та радіальне n_r квантові числа можуть набувати таких значень:

$$n_\varphi = 1, 2, 3, \dots, n; \quad n_r = 0, 1, \dots, (n-2), (n-1).$$

Вираз для енергії електрона у полі атомного ядра набуває дискретних значень, які задаються наведеною вище формулою (15). Однак тепер головне квантове число визначається через співвідношення (33). Для основного стану $n = 1$ азимутальне квантове число може набувати значення $n_\varphi = 0$. Орбіта електрона у цьому стані є коловою. Для першого збудженого стану $n = 2$ допустимими є такі набори квантових чисел: $\{n_r = 2; n_\varphi = 0\}$; $\{n_r = 1; n_\varphi = 1\}$. Тепер можливі дві орбіти – колова та еліптична. Електрон на будь-якій із цих орбіт матиме однакову енергію. Для $n = 3$ можливими є три орбіти, що схематично зображені на рис. 6. У теорії Зоммерфельда відношення півосей еліптичних орбіт задається виразом

$$\frac{b}{a} = \frac{n_\varphi}{n_r + n_\varphi}. \quad (34)$$

Орбіти з більшим ексцентриситетом характеризуються меншими значеннями азимутального квантового числа.

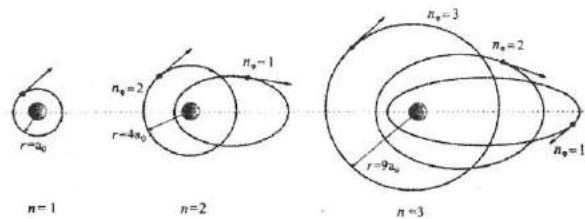


Рис. 6. Стаціонарні орбіти основного ($n = 1$) та двох збуджених рівнів ($n = 2; 3$) атома водню

Хоч теорія Бора блискуче узгоджувалася з експериментом, вона мала обмежений характер. Зокрема, навіть для найпростішого атома – атома водню – вона дала змогу розраховувати частоти спектральних ліній, але не могла пояснити їхньої інтенсивності. Було зрозуміло, що постулати Бора – вияв якоїсь загальнішої теорії, її частковий результат. Інакше кажучи, постулати випередили таку теорію – квантову механіку, яка була розвинена приблизно за десять років, її створенню передували істотні зміни в поглядах вчених на саму природу атомних систем.



Нобелівська праця

Вадим Локтєв,

академік Національної академії наук України

*“Historiam nescire artis,
id est nescire et ars”*

*(“Не знати історію науки –
це значить не знати і самої науки”)*
(Латинський вислів)

У грудні 2010 року виповнюється 60 років з часу виходу в світ єдиної спільної праці двох видатних, а тоді, 1950 року, ще доволі молодих радянських фізиків-теоретиків Віталія Лазаровича Гінзбурга та Лева Давидовича Ландау з дуже простою і скромною назвою “До теорії надпровідності” (*Журнал экспериментальной и теоретической физики*, 1950. – Т. 20, № 12. – С. 1064). Проте так склалося, що ця стаття, яка поступила до редакції журналу у квітні того ж року, стала знаменитою як одна з визначальних у фізиці другої половини ХХ сторіччя, увійшовши до його золотого фонду. Про неї варто знати всім, хто мріє про фах фізика та готує себе до життєвого шляху дослідника. Історія написання цієї роботи дуже цікава і повчальна. Але не це, звичайно, є головним. Незаперечним і вельми важливим виявився її глибокий вплив на подальший розвиток всієї фізики, а, отже, молоді – школярам і студентам – надзвичайно корисно знати і про зміст цієї роботи, і про її роль в еволюції поглядів фізичного співтовариства на багато процесів і явищ, що вивчає наука, яка зветься фізикою. Один з авторів цієї видатної публікації – В. Гінзбург, який буквально нещодавно, восени 2009 року, пішов з життя. Його за результати, одержані у цій праці, 2003 року нагороджено Нобелівською премією з фізики (співавтор В. Гінзбурга і Нобелівський лауреат з фізики 1962 року за теорію квантових рідин, зокрема теорію надплинності зрідженого ^4He , Л. Ландау (1908–1968) не міг отримати другу таку премію, оскільки за правилами Нобелівського комітету найпрестижнішу у світі наукову відзнаку померлим не присуджують).

У теоретичній праці В. Гінзбурга і Л. Ландау (або, як прийнято говорити і писати, *теорії ГЛ*) мова йде про металеві системи, які при їх глибокому охолодженні стрибкоподібно втрачають опір щодо проходження крізь них електричного струму. Відповідні метали майже одразу отримали назву надпровідники, а їхніми дослідженнями займалося лише кілька лабораторій, бо навіть не всі передові країни світу могли у першій половині ХХ сторіччя дозволити собі створення настільки технічно складної апаратури, яка б забезпечувала вимірювання за температур, близьких до температури конденсації ^4He . Саме за таких температур деякі метали стають надпровідними. На той час – 30–40-і роки минулого сторіччя – багато властивостей надпровідників вже були добре відомі й експериментально досліджені. Маю на увазі, відкрите 1911 року Г. Камерлінг-Оннесом зникнення електричного опору у різних речовинах при певній, так званій критичній, і дуже низькій температурі, і виштовхування з масивних надпровідників магнетного поля (ефект Мейснера-Оксенфельда (1935)), низку термоелектричних явищ.

Великим внеском у фізику надпровідності стало несподіване спостереження Левом Васильовичем Шубниковим у Харкові, де була створена одна з перших у Європі кріогенних лабораторій, порушення ефекту Мейснера-Оксенфельда у деяких сплавах, куди, як з’ясувалось, магнетне поле могло проникати (1937). Згодом вони отримали назву надпровідників II-го роду на відміну від надпровідників I-го роду, для яких виштовхування магнетного поля залишається справедливим. Принагідно додам, що по суті тільки перші, тобто надпровідники II-го роду, знайшли згодом надзвичайно широке застосування в науці, техніці і промисловості, але цей аспект проблеми вимагає окремої детальної статті.



Різноманітних фактів про надпровідність як явище і надпровідники як речовини, де воно існує, було відомо багато, але причини виникнення надпровідного стану залишалися таємницею. Відсутність розуміння не зупиняла дослідників (насамперед, теоретиків) від спроб зрозуміти та описати явище надпровідності хоча б на феноменологічному (або напівфеноменологічному) рівні, що зазвичай передбачає отримати на підставі загальних міркувань і припущень формули, які б у той чи інший спосіб пов'язували між собою вимірювані величини та передбачали їхню поведінку в різних фізичних умовах.

Однією з таких теорій, яка виявилась доволі успішною, стала теорія братів Фріца та Хейнса Лондонів, яку вони створили 1935 року. В ній, зокрема, припускалося, що всі носії заряду в металі, що стає надпровідником, розбиваються (правда, незрозуміло і без пояснень, з яких причин) на дві незалежні групи – *надпровідні* і *нормальні*, до того ж загальна кількість носіїв, тобто сума їх парціальних густин, залишається рівною вихідній. На підставі оригінальних міркувань і, спираючись, як це не дивно, на класичні уявлення (навіщо дивуватись – квантовій механіці ще не було й 10 років!) брати Лондони зуміли модифікувати відомі електродинамічні рівняння Максвелла і записати рівняння – тепер відоме як *рівняння Лондонів*. З нього випливало, що присутність у металі надпровідної електронної компоненти є необхідною умовою виштовхування з товщі надпровідника магнетного поля. Вони ввели нову фізичну величину – *лондонівську глибину проникнення* λ_L – і знайшли температурну та просторову залежності такого виштовхування. З'ясувавши, зокрема, що поле проникає в об'єм надпровідника дуже і дуже мало. Таке проникнення магнетного поля в об'єм надпровідника вони описали експоненціальним законом спадання $\exp(-r/\lambda_L)$, (r слід рахувати від надпровідника). Зазвичай величина глибини проникнення не перевищує 10^3 – 10^4 ангстрем. Наступні експерименти довели, що у реальних масивних зразках поле справді виштовхується з об'єму, концентруючись у відносно тонкій приповерхневій ділянці. Щодо зразків малого розміру або плівок, то шоразу це окрема задача, яка вимагає аналізу та спеціальних розрахунків.

Теорія Лондонів, хоча і пояснила низку важливих експериментальних фактів, по суті не поглибила розуміння природи надпровідного стану, і воно залишалось вкрай поверховим, а саме явище продовжувало залишатись загадковим. Зауважимо, що ця теорія, попри низку задовільних, давала і неправильні висновки. Вона не описувала руйнування надпровідності у тонких плівках, а обчислення поверхневої енергії на межі між надпровідною та нормальною фазами металів завжди давало від'ємну величину, що суперечило прийнятим уявленням щодо знаку поверхневої енергії. Такий результат той же Ландау взагалі вважав неможливим, або, як кажуть фахівці, *нефізичним*.

Поштовхом для розвитку теорії ГЛ послужила запропонована Ландау 1937 року (між іншим, теж у Харкові, де він працював у середині зловісних 30-х років) загальна теорія *фазових перетворень II-го роду*, в якій було вперше встановлено глибокий зв'язок між неперервністю фазового переходу у сенсі зміни стану речовини – він зберігається – і невимушеною, або *спонтанною*, зміною деякої її (речовини) симетрії та введено поняття *параметру порядку*.

Фізичний зміст параметра порядку полягав у раптовому виникненні за *критичної температури* (або, що також буває, іншому критичному параметрі, що змінюється – поле, тиск тощо) нової властивості, якій він і відповідав (згадаймо хоча б появу намагнетченості у феромагнетиках чи електричної поляризації у фероелектриках, які формуються лише за певних умов) і для якої слугував мірою, неперервно зростаючи від нуля до свого максимального значення.

Ландау також розвинув послідовний аналітичний підхід, що дав змогу розраховувати спостережувані величини, виходячи з припущення, що поблизу критичної температури переходу термодинамічні потенціали фізичних тіл є регулярними функціями виникаючого параметра порядку.

Хотів би окремо звернути увагу читача, що у багатьох підручниках ідея про явище *спонтанного порушення симетрії* часто не приписується нікому, і може скластися враження, що вона є так би мовити колективною розробкою багатьох теоретиків, які працювали в галузі фізики фазових переходів. Вважаю, що це не правильно. У цієї ідеї



є автор – Л. Д. Ландау. Він її висловив і кількісно розвинув задовго до того, як спонтанне порушення симетрії увійшло у фізику елементарних частинок і теорію поля, ставши загально визнаною і широко застосовною теорією (за що, власне, й нагородили Нобелівською премією з фізики 2008 року трьох японських теоретиків – М. Кобаясі, Т. Маскаві та Й. Намбу).

Оскільки при надпровідному переході агрегатний стан речовини не змінюється (тобто метали як були, так і залишались твердими тілами), то, безумовно, такий перехід є перетворенням II-го роду. Отже, припустив Гінзбург, до надпровідного переходу напевно також можна застосувати теорію Ландау, але як визначити параметр порядку? З цим запитанням він і звернувся до Ландау.

Відповідь, яку вони знайшли в процесі роботи, не була тривіальною. Якщо коротко і популярно, то вони записали термодинамічний потенціал надпровідника (а точніше – його вільну енергію Гельмгольца) у магнетному полі з принципово новим і, як з'ясувалось згодом, основним доданком:

$$\frac{1}{2m^*} \left| \hat{\mathbf{p}}\Psi(\mathbf{r}) - \frac{e^*}{c} \mathbf{A}\Psi(\mathbf{r}) \right|^2, \quad (1)$$

де $\mathbf{H} = \text{rot}\mathbf{A}$ – магнетне поле, як завжди, зв'язане з векторним потенціалом \mathbf{A} операцією ротора. Гінзбург і Ландау виходили з аналогії, що вираз

$$\frac{1}{2m^*} |\hat{\mathbf{p}}\Psi(\mathbf{r})|^2 \quad (2)$$

– це відома з курсу квантової механіки густина кінетичної енергії частинки з масою m^* , переписана з урахуванням векторного потенціалу, коли оператор імпульсу, як вимагає електродинаміка, замінюється на оператор *узагальненого* імпульсу, або:

$$\hat{\mathbf{p}} \rightarrow \hat{\mathbf{p}} - (e^*/c)\mathbf{A}.$$

У поданих формулах (1) і (2) e^* – швидкість світла; e^* – деякий ефективний електричний заряд частинки, що переносить струм у надпровіднику, а $\Psi(\mathbf{r})$ – залежна від координати хвильова функція надпровідних носіїв, яка фактично і грає у теорії ГЛ роль параметра порядку. Так Гінзбург і Лан-

дау не тільки використали введене Лондонами уявлення про наявність у надпровідному стані колективу особливих – надпровідних – частинок, а й вперше отримали для них рівняння, яке по своїй природі було аналогічним до знаменитого шредингерівського рівняння у квантовій механіці. Водночас, нове рівняння відрізнялось від останнього не тільки присутністю нелінійного доданку, а й тим, що дивним чином застосовувалось до багаточастинкової конденсованої системи, тому воно отримало власну назву – *рівняння ГЛ*.

Коли спитати, чому саме хвильова функція була обрана надпровідним параметром порядку, то на нього, правду кажучи, строго відповісти неможливо. В усякому разі, на момент створення теорії ГЛ це було незрозумілим і, до деякої міри, неприйнятним. Але справу вирішив непоганий кількісний збіг низки отриманих розрахунків з експериментальними даними. Щодо самої функції, то можна лише припустити, що в теорії фазових перетворень II-го роду розклад вільної енергії починається з лінійного до параметру порядку члена, а в теорії надпровідності, здавалось б, треба було починати з густини надпровідних частинок, яка у квантовій теорії дорівнює $|\Psi(\mathbf{r})|^2$. Узгодити обидва положення вдалося припущенням про пряму відповідність хвильової функції параметрові надпровідного порядку. Гадаю, тільки б цього результату було досить, щоб визнати роботу ГЛ видатною.

Проте це виявилось далеко не єдиним, що було отримано в праці, про яку йдеться. Наприклад, оскільки у теорії ГЛ саме хвильова функція $\Psi(\mathbf{r})$ надпровідних частинок є параметром порядку, то його, внаслідок залежності цієї функції від координати \mathbf{r} , треба було вважати неоднорідним, що також було новим кроком у теорії фазових перетворень, в якій до того параметр порядку вважався однорідним, тобто незалежним від координат \mathbf{r} точок середовища. В теорії надпровідності ж така неоднорідність була врахована з прагматичних причин, бо розглядалися надпровідники у магнетному полі. Вона й стала одним із головних моментів, оскільки давала принципову змогу отримати відмінний від лондонівського вираз для поверхневої енергії на межі надпровідник–нормальний метал.



Справді, оскільки оператор імпульсу в квантовій механіці є, як відомо, диференціальним, то поверхнева енергія в теорії ГЛ, або енергія в ділянці неоднорідності параметра порядку, матиме внесок, який, як видно з формули (1), задається кінетичною енергією частинок, і тому завжди є додатним.

Це, в свою чергу, зумовило існування деякого характерного масштабу просторової зміни параметра порядку, яка означала введення у фізику надпровідності ще однієї величини, яка має розмірність довжини. Вона отримала назву *довжини когерентності* ξ . Вона, до певної міри, розкрила фізичний зміст хвильової функції $\Psi(\mathbf{r})$, або відповіла на питання, чому систему з величезною ($\sim 10^{21}$) кількістю частинок можна було описувати хвильовою функцією, яка залежить від однієї координати. А річ була в тому, що у надпровідному стані *всі* частинки, які належать до *надпровідного конденсату*, поведуться однаково, майже тотожно, або, як кажуть фізики, *когерентно*. Довжина когерентності і має визначати середню відстань, якій відповідає подібна поведінка розташованих у різних точках простору частинок. З іншого боку, поява ще одного параметра відразу дала змогу пояснити існування двох типів надпровідників, а саме: I-го і II-го роду. Для перших майже точно виконується нерівність $\lambda_L < \xi$, у той час як для других – $\lambda_L > \xi$.

Кількість надпровідників вимірюється сотнями, але їхній поділ на дві незалежні групи строго зберігається і в цьому відношенні є фундаментальним. Для порівняння нагадаю, що у відкритих 1986 року високотемпературних надпровідниках виконується сильна нерівність $\lambda_L < \xi$, а зручне для користування “безрозмірне” відношення λ_L/ξ , яке зветься *параметром ГЛ* K_{GL} , досягає значень $\sim 10^2$ і більше.

Надзвичайно цікавим є використання зірочок у позначенні деяких величин в теорії ГЛ. Якщо маса (квазі)частинки у твердих тілах завжди є ефективною, тобто у деякій мірі довільною, бо визначається не тільки затравочною (або вихідною) масою тієї чи іншої частинки, а й її взаємо-

дією з іншими, то стосовно заряду такого сказати не можна. Зірочка у позначенні заряду була використана авторами, бо 1950 року, або до створення 1957 року мікроскопічної теорії надпровідності теоретиками Дж. Бардінім, Л. Купером і Р. Шріффером з США (вони за це одержали Нобелівську премію 1971 року), а також українським математиком і фізиком-теоретиком М. М. Боголюбовим, який на той час вже переїхав з Кисва до Москви, ніхто не знав і не наважився б сказати, яким є заряд надпровідного носія. Після ж її опублікування стало ясно, що $e^* = 2e$ (при цьому, зрозуміло і ефективна маса надпровідного носія подвоюється). Наведене дуже просте співвідношення, тим не менш, розкриває глибокий зміст надпровідного стану, який знову ж таки спонтанно виникає, коли електрони, що належать до *ферміонів*, завдяки своїй взаємодії з коливаннями кристалічної ґратки, об'єднуються за низьких температур у скорельовані (і стабільні при скінчених, хоча й низьких, температурах) двійки – *куперівські пари*. Останні, будучи *бозонами*, можуть на відміну від ферміонів переходити у *надплинний* стан і рухатись, що відповідає струму, крізь кристалічне середовище вже без опору. Можна навіть говорити, що явище надпровідності – це надплинність електронної (тобто зарядженої) рідини, в якій тим чи іншим чином утворилися куперівські пари. За великим рахунком, відповідні коефіцієнти – єдине, що було внесено у феноменологічну теорію ГЛ, щоб вона у своєму оригінальному вигляді залишилася правильною в світі наступних мікроскопічних уявлень.

Взагалі кажучи, Гінзбург і Ландау розуміли, що ефективний заряд не обов'язково має дорівнювати електронному, але він у жодному разі не міг бути і довільним. Довільність, а також його залежність від температури або інших чинників, виключалася вимогою градієнтної інваріантності, втрата якої була неприпустимою для теорії. Проаналізувавши різні варіанти, Гінзбург і Ландау прийшли до висновку, що заради збереження градієнтної, або калібрувальної, інваріантності “*нема вагомих причин вважати ефективний заряд відмінним від заряду електрона*”. Саме така фраза з'явилася у праці ГЛ. Тим самим вони пройшли повз, без перебільшень, можливого геніального передба-



чення, що градієнтна інваріантність зберігалася б і для будь-якого іншого заряду, який кратний електронному, зокрема вдвічі більший. Цей абсолютно ніким не передбачуваний і несподіваний факт був встановлений лише згадуваною вище мікроскопічною теорією, отримавши назву *феномену Купера*, який, за дотепним висловом Ландау, “відмінняє закон Кулона”. Фізичні передумови можливості такої неочікуваної відміни розкрила та ж теорія Бардіна–Купера–Шріффера–Боголюбова, в якій електрони, що рухаються по поверхні Фермі металу, отримують змогу притягатися і об’єднуватися у куперівські пари, обмінюючись елементарними збудженнями кристалічної ґратки – фононами.

Універсальність рівняння ГЛ виявилась настільки широкою, що його поступово почали застосовувати у багатьох розділах сучасної теоретичної фізики. Насамперед, це пов’язано з тим, що вихідним об’єктом квантової механіки взагалі і квантової теорії поля зокрема, є гамільтоніани. Відомі гамільтоніани Шредингера, Гайзенберга, Ізінга... Серед них почесне місце посідає і гамільтоніан ГЛ, який є одним з найважливіших і найуживаніших серед усіх інших. У ньому не тільки вперше поставлено і розглянуто питання про неоднорідний параметр порядку, а й запропоновано для опису фазових переходів квантово-механічний підхід, що дало змогу параметру порядку бути, як і будь-якій ψ -функції, комплексним. Це стало важливим, оскільки дало змогу будувати теорії для систем з неперервно порушеною симетрією.

До того ж, стало зрозуміло, що фізика єдина, і можна шукати відповіді на найглибші запитання, які ставить Природа, здійснюючи дослідження у будь-якій галузі фізики – але, зрозуміло, не з однаковим успіхом. Тому велике щастя вміти окреслити проблему і обрати правильний напрям пошуків. Розв’язуючи конкретну задачу про характер параметра порядку у надпровідному стані, Гінзбург і Ландау, насправді, зачепили одну з головних таємниць світобудови. Зараз навіть важко збагнути, як авторам вдалося зробити напрочуд правильні та далекоглядні висновки, стоячи на досить хиткому фундаменті і частково невірних уявленнях. Справді, теорія ГЛ спирається, як вже говорилося, на нелінійний гамільтоніан, який дозволяє

спонтанне порушення калібрувальної симетрії, а взаємодія з магнетним полем записана у градієнтно-інваріантному вигляді. У підсумку вихідний безмасовий квант електромагнетного поля, або *фотон*, придбає масу. А це не що інше, як ефект Мейснера–Оксенфельда. Те ж саме, з фізичного погляду, можна сказати і про так званий *бозон Хігса*, пошуки і визначення маси якого складають зміст майже найголовніших експериментів на Великому адронному колайдері, нещодавно, наприкінці 2009 року, запущеному у швейцарському м. Женева. Цей бозон є основоположним для усієї сучасної фізики високих енергій, проте його фізична природа прямо впливає з гамільтоніану, подібного до гамільтоніану ГЛ, якщо в останньому провести потрібні модифікації щодо врахування глибших і загальних порівняно з калібрувальною симетрією.

У цій єдності підходів і полягає одна з найважливіших і в той же час вражаючих особливостей теоретичної фізики як науки: не тільки фундаментальна фізика впливає на “фізику, що оточує нас” – фізику твердого тіла, фізику м’якої речовини, фізику плазми тощо (сюди, безумовно треба віднести і фізику надпровідності), але й ця – “проста” – фізика час від часу підказує найнесподіваніші ідеї, які зачіпають основи. А потім йде дослідницька, кропітка, а деколи й рутинна, робота в обидва боки – і в бік практичних застосувань, і в бік фундаменту. Один з найсвіжіших прикладів – відкриття 2005 року *графену*, або існуючих у вільному стані одноатомних шарів графіту, де електронні збудження описуються гамільтоніаном Дірака, а не гамільтоніаном Шредингера, як у решті кристалічних середовищ. І так сталося, що найтонші ефекти релятивістської фізики тепер можливо вивчати у звичайних лабораторіях, а не на інструментах типу гігантських і складних пришвидшувачів.

Ще один важливий наслідок теорії ГЛ – впровадження параметру, про який йшлося вище. Якщо він більший за критичне значення $2^{-1/2} \approx 0,71$, то поверхнева енергія, як і в теорії Лондонів, виявляється справді від’ємною, що Гінзбург і Ландау вважали фізичною “патологією” і тому навіть не обговорили. Проте така абсолютно неможлива, на перший погляд, ситуація була ретельно вивчена



учнем Ландау, також Нобелівським лауреатом 2003 року, Олексієм Олексійовичем Абрикосовим, який 1953 року зрозумів, що значенню параметра ГЛ, більшому від критичного, тобто від'ємній поверхневій енергії межі між надпровідною і нормальною фазами, відповідає проникнення поля в об'єм надпровідника, чим розкрив причини формування *шубніківської фази*, або стану надпровідника з невштовхнутим з нього магнетним полем. Як ним же було доведено у публікації 1957 року, воно там існує у вигляді *вихорів* – тонких магнетних ниток, кожна з яких відповідає нормальному стану металу і несе *квант магнетного потоку*. Абрикосівські вихори стали першими наочними прикладами індукованих зовні топологічних дефектів, які тепер відіграють важливу роль і у фізиці конденсованого стану, і у фізиці елементарних частинок, і в астрофізиці. Все сказане також є яскравими аргументами на користь єдності фізики як науки.

Якщо продовжувати характеризувати наслідки теорії ГЛ, то можна додати, що “неоднорідний” гамільтоніан ГЛ ліг і в основу флуктуаційної теорії фазових перетворень. Її розвинув американський теоретик К. Вільсон, який математично строго обґрунтував потребу врахувати нелінійні доданки ГЛ, для опису критичної поведінки систем в околі таких фазових перетворень, коли середньопольовий підхід ГЛ не спрацьовує і саме термодинамічні флуктуації відіграють вирішальну роль (Нобелівська премія 1982 року). Цікаво при цьому, що у надпровідних переходах такі флуктуації, зазвичай, дуже сильно придушені, і теорія ГЛ для них підходить без додаткових удосконалень. Тому проектування навіть технічних надпровідних систем і вимірювальних приладів демонструє виправдане застосування теорії ГЛ безпосередньо на практиці.

На принципах цієї теорії побудовані також феноменологічна теорія надплинності Гінзбурга та учня Ландау Лева Петровича Пітаєвського, актуальна для опису сучасних експериментів з глибоко охолодженими бозе-газами у магнетних пастках, і теорія фазових переходів І-го роду у м'яких речовинах (зокрема, з стану ізотропної рідини у стан рідкого кристалу) французького дослідника П. де Жена (Нобелівська премія 1991 року). При цьому широке використання рідкокристалічних дисплеїв

у комп'ютерах, телевізорах та годинниках зайвий раз робить непорушним твердження, що теорія ГЛ для деяких задач сьогодення є прикладною наукою.

Нарешті, на основі гамільтоніана ГЛ з урахуванням флуктуацій було показано, що фазові перетворення у низькорозмірних системах мають ряд особливостей. Зокрема, в одновимірних системах за скінчених температур нема і не може бути впорядкованого стану, бо він повністю руйнується тепловими флуктуаціями, роблячи параметр порядку рівним нулеві, а спонтанне порушення симетрії нездійсненним. У двовимірних системах ситуація інша й залежить від їхньої симетрії. В анізотропних системах ненульове значення параметра порядку можливе, як і не дорівнює нулеві критична температура. В ізотропних двовимірних системах, або системах з неперервною симетрією, далекого однорідного впорядкування також нема, але можна говорити про зміну характеру просторової поведінки кореляційних функцій. Як встановив радянський дослідник Вадим Львович Березинський 1971 року, у неупорядкованій фазі вони, як і належить, мають експоненційне спадання, а у частково впорядкованій (на відміну від неспадаючих кореляцій при звичайному далекому порядку) теж спадають, але за степеневим законом. Відповідне впорядкування, хоча і без порушення симетрії (!), називається фазою Березинського, або станом з *алгебраїчним порядком*, і спостерігається у шаруватих структурах – магнетиках, надпровідниках, а також у тонких плівках різної природи тощо.

Підсумовуючи, варто зазначити, ми зупинилися далеко не на всіх узагальненнях і напрямках розвитку, які продовжили життя ідей, що були вперше висунуті у праці ГЛ, яка стала незаперечною класикою фізики. Можна лише дивуватися і відчувати захоплення, як надзвичайно багато вмістилося всього в одній публікації, але зробленій титанами наукової думки. Ця праця не тільки міцно вплетена у тканину сучасного природознавства, а й продовжує знаходитись у центрі його інтересів. Про це красномовно свідчить кількість Нобелівських премій, які отримали послідовники Гінзбурга і Ландау, а також десятки тисяч цитувань їхньої праці. Я теж можу зізнатися, що знайомство з цією видатною працею досить сильно вплинуло на мої



особисті уподобання та напрям досліджень. І ця моя невелика стаття, що присвячена ювілейній даті від дня створення теорії ГЛ, лише скромна данина світлій пам'яті її незабутніх авторів. Можливо (в усякому разі, хотів би на це сподіватися) знання історії створення і вагомих результатів

теоретичної статті В. Гінзбурга і Л. Ландау спонукатиме читачів журналу "Світ фізики" до власних пошуків із застосуванням ідей і методів, запропонованих в одній з найвідоміших публікацій, які коли-небудь з'являлися на шпальтах наукових журналів світу.

Гадаю, варто також підкреслити, статті російськомовної, що нетривіально, бо починаючи з другої половини ХХ сторіччя фізика, разом з іншими природничими науками, майже повністю перетворилася на англійську, і цей процес експансії зайшов настільки далеко, що навіть у розвинутих країнах майже всі фахові видання виходять англійською, а не на їхній державній мові. З цього випливає, певною мірою, критична для майбутнього науковця сентенція: треба вивчати англійську мову, без знання якої успішне перебування у сучасній науці – праця за кордоном, грамотне написання статей, виступи на конференціях, спілкування з колегами – просто неможливе.

Жінки в науці

Організація ЮНЕСКО з нагоди Всесвітнього дня науки 10 листопада 2009 року в межах програми Л'Ореаль – ЮНЕСКО "Жінки в науці" оголосила імена п'ятьох видатних жінок-учених світу, що стали лавреатами премій Л'Ореаль – ЮНЕСКО. Цією нагородою відзначено їхні досягнення у фізиці і внесок у науковий прогрес. Різних за походженням лавреатів об'єднують такі якості, як рішучість і високий інтелект. Їхня робота відповідає самій суті програми: змінювати уявлення про науку і сприяти зростанню ролі в ній жінок.

Щорічно програма віддає належне п'ятьом видатним жінкам – по одній від кожного континенту. Кандидати на присудження щорічних премій відбирають члени Міжнародної мережі співпраці, до якої входять майже 1000 учених. Кожний лавреат одержує 100 тисяч доларів на знак визнання внеску жінки-ученого в науку.

За інформацією прес-служби, премії Л'Ореаль – ЮНЕСКО "Жінки в науці" за 2009 рік із фізичних наук (фізика і хемія) присуджено:

1. Тебело Ніоконг (*Африка і Арабські країни*), професорові хемічного факультету університету Родса (Південна Африка); за праці з використання світлових променів для терапії раку та очищення довколишнього середовища.

2. Акико Кобаяши (*Азіатсько-тихоокеанський регіон*), професорові та деканові хемічного факультету, коледжу гуманітарних і природних наук Ніхонського університету (Японія); за праці з органічної електроніки, які відкривають нові можливості в галузі мікрокомп'ютерів.

3. Євгенії Кумачевій (*Північна Америка*), професорові хемічного факультету університету в Торонто (Канада); за розроблення і виробництво нових матеріалів широкого застосування, а також методів спрямованої доставки ліків для лікування раку.

4. Атені М. Дональд (*Європа*), професорові експериментальної фізики Кавендишської лабораторії при фізичному факультеті Кембриджського університету (Велика Британія); за праці з розкриття раніше невідомих явищ у фізиці некрystalічних матеріалів – від цементу до морозива.

5. Беатрисі Барбі (*Латинська Америка*), професорові Інституту астрономії, геофізики і наук про атмосферу університету Сан-Пауло (Бразилія); за праці про життя зір – від зародження Всесвіту до наших днів.



УЧЕНЬ МИКОЛИ БОГОЛЮБОВА АНАТОЛІЙ СВДЗИНСЬКИЙ

В. І. Шостка,

*канд. фіз.-мат. наук, доцент Таврійського національного університету
імені В. І. Вернадського*



Кафедра теоретичної фізики була заснована 1975 року на базі кафедри математичної фізики. Її першим завідувачим був професор Анатолій Вадимович Свідзинський – фізик-теоретик, доктор фізико-математичних наук, учень та продовжувач традицій відомої наукової школи академіка Миколи Боголюбова. Професор Свідзинський очолював кафедру впродовж 17 років. У перші роки своєї діяльності він розробив цілу низку навчальних курсів зі спеціалізації з теоретичної фізики. У цей час активно почали працювати студентський та науковий семінари кафедри. Анатолій Вадимович 1985 року став фундатором міжкафедрального природознавчого наукового семінару, на засіданнях якого дискутувались загальні питання з філософії, фізики, астрономії, психології, біології та інших наук. Під його керуванням захис-

тили кандидатські дисертації сім аспірантів, серед них Сергій Савченко, який очолює Кримську філію “Просвіти”, і Леонід Ахрамович, який і нині працює доцентом кафедри теоретичної фізики Таврійського університету [1, 2].

Анатолій Свідзинський народився 1 березня 1929 року в м. Могилів-Подільський Вінницької області.

Його батько Вадим Свідзинський, 1888 року народження, походив із сім’ї священика Євтимія Свідзинського, закінчив Кам’янець-Подільську духовну семінарію, згодом – Комерційний інститут у Києві. Працював усе життя економістом. Велика сім’я отця Євтимія дала українському народу одного з найкращих поетів ХХ сторіччя Володимира Свідзинського.

Мати Клеопатра народилася 1904 року в м. Кагул у Бесарабії. Вищу освіту одержала в 1930-ті роки заочно, була вчителькою фізики, переважно в середній школі.

Мати Анатолія була жінкою надзвичайної доброти і жертвовності, зберігала в душі ненав’язливу віру в Бога. Ці риси її характеру створювали атмосферу любові в сім’ї, що мало глибокий позитивний вплив на розвиток характеру Анатолія. Батько мав інший, неспокійний, темперамент. Він понад усе любив природу, розумів її красу, за першої нагоди робив прогулянки в ліси, завжди брав з собою сина, часом навіть у відрядження по районах мальовничої Вінницької області. Це виховувало у Анатолія любов до природи, її розуміння, спостережливість, а надто – витривалість у піших переходах.

У 1931–1939 роках батьки Свідзинського мешкали в Жмеринці, де Анатолій розпочав навчання в середній школі.



З дитинства Анатолій був схильний до дуже сильних захоплень, зокрема, комахами (під впливом читання адаптованого Фабра та спостереженнями над природним оточенням). Вабила також сфера фізичних явищ, він рано навчився успішно виконувати фізичні досліди у фізичному кабінеті, яким завідувала в школі його мати.

На початку літа 1939 року сім'я переїхала до Києва. У Києві Анатолій дуже захопився астрономією і почав її вивчати та проводити елементарні спостереження неба під наглядом фахівців астрономічної обсерваторії. Однак війна з Німеччиною припинила контакти з науковцями-астрономами.

Аж до 1945 року сім'ї Свідзинських доводилося мешкати у Києві, не маючи постійного місця проживання. Восени 1943 року Анатолій, перескочивши через шостий клас заради компенсації перерви у навчанні, вступив на другу чверть сьомого класу школи № 30 у Києві. Цікаво, що другу чверть закінчив на трійки, третю – на четвірки, а четверту та рік – на всі п'ятірки. Тридцята школа була українською з непоганим викладанням мови і старанним, хоч і трохи кумедним, – літератури. Фізику і математику там викладали вкрай погано.

У 1945 році сім'я переїхала до Львова, де отримала, нарешті, двокімнатну квартиру, хоча і без кухні та інших вигод. Улітку 1946 року Анатолій вирішив по закінченні дев'ятого класу здавати екстерном екзамен за десятирічку. Опрацювавши за два місяці програму десятого класу, він склав всі іспити на "відмінно" й того ж року вступив до Львівського технологічного інституту будматеріалів, що відкривало шлях до професії інженера-технолога силікатної промисловості.

У перші два роки навчання в інституті Анатолій захопився фізикою та математикою, особливо розв'язанням олімпіадних задач під керівництвом молодого тоді фізика Григорія Зільбермана, у майбутньому – професора, теоретика в галузі фізики твердого тіла, який вів науковий гурток, а також читав лекції з вищої математики у згаданому інституті. За його порадою Анатолій залишив інститут і 15 січня 1949 року перевівся на 2-ий курс Львівського університету імені Івана Франка на фізико-математичний факультет. Анатолій Свід-

зинський 1952 року закінчив із відзнакою фізичне відділення фізико-математичного факультету та отримав рекомендацію до аспірантури.

Перший і частину другого року аспірантури Свідзинський працював під керівництвом провідного фізика-теоретика ЛДУ, чудової людини Василя Міліянчука. Однак молодий аспірант прагнув брати участь у розробленні наймодерніших проблем теоретичної фізики. До того ж задушлива політична атмосфера, яка панувала у Львівському університеті останні роки сталінської тиранії, не сприяла спокійній творчій роботі. Тому Свідзинський домігся довгострокового відраядження до Москви, де встановив контакт зі славетним Миколою Боголюбовим і продовжив роботу вже під його керівництвом.

Микола Миколайович Боголюбов провідний математик і фізик-теоретик, засновник наукових шкіл з нелінійної механіки, народився 21 серпня 1909 року у Нижньому Новгороді в сім'ї викладача богослов'я та психології, духовного письменника і протоієрея. Дитинство його пройшло в роки громадянської війни, у часи розладу. Його освітою займався батько. Помітивши у сина талант та тягу до фізико-математичних наук, батько брав для нього книжки в університетській бібліотеці. Сім'я Боголюбових 1921 року переїхала до Києва, де Микола продовжив вивчати фізику та математику. Починаючи з 14-ти років, він уже брав участь у роботі семінару кафедри математичної фізики Київського університету під керівництвом академіка Дмитра Олександровича Граве. До речі Граве був одним з ініціаторів заснування Таврійського університету [1, 5–8]. Коли Миколі Боголюбову було 15 років він написав першу свою наукову працю, в 17-річному віці його прийняли до аспірантури. Президія Укрголовнауки прийняла рішення: "Маючи на увазі феноменальні здібності з математики, вважати М. М. Боголюбова на положенні аспіранта науково-дослідної кафедри математики в Києві" [8]. Керівником його став ще один з професорів Таврійського університету, а з 1922 року – керівник математичної фізики Всеукраїнської академії наук (ВУАН) академік Микола Митрофанович Крилов, який разом із Миколою Боголюбовим заклав основи нового наукового напрямку – нелінійної механіки [2–4, 6].



Микола Миколайович Боголюбов

М. Боголюбов 1929 року захистив свою аспірантську працю з варіаційного числення, і його зараховують до складу наукових працівників кафедри математичної фізики Академії. Було йому на той час лише 20 років. Праця М. М. Боголюбова “Застосування прямих методів до однієї проблеми варіаційного числення” отримала премію Болонської Академії наук. А вже 6 квітня 1930 року загальні збори фізико-математичного відділу ВУАН за поданням М. М. Крилова і Д. О. Граве надали йому вчений ступінь доктора математики. Згодом співробітники кафедри видали свої праці в “Записках Фізико-математичного відділу ВУАН” (1923–1931) у 5 томах, де немало належить перу Миколи Боголюбова, Миколи Крилова та Дмитра Граве [3, 5, 7, 8].

Микола Боголюбов 1934 року почав свою викладацьку роботу в Київському університеті, де 1936 року був обраний професором. Зі своїм вчителем М. М. Криловим він розробив нові методи нелінійної механіки та загальної теорії динамічних систем. У циклі досліджень з проблем статистичної механіки (1939–1945) створив метод

находження кінетичних рівнянь для механіки молекул. М. Боголюбов 1946 року вперше створив мікроскопічну теорію надплинності, яка є фундаментальною властивістю бозевських систем. З 1948 року Микола Миколайович подовгу та регулярно бував у Москві, де очолював Теоретичний відділ Інституту хімічної фізики АН СРСР. До того ж науковець працював також у Математичному інституті ім. В. О. Стеклова та Московському університеті, де 1953 року заснував кафедру квантової статистики і теорії поля, яку очолював до останніх часів свого життя [7, 8].

У 1953 році доля звела Анатолія Свідзинського з Миколою Миколайовичем Боголюбовим, який став у подальшому дворазовим Героєм Соціалістичної праці (1969, 1979), був лауреатом Ленінської, Державних премій СРСР (1947, 1953, 1984), членом багатьох іноземних академій та наукових закладів.

Напружена робота в сильному колективі учнів цього великого вченого, активна участь у роботі кількох московських фізичних семінарів, а також семінару знаменитого математика Ізраїля Гельфанда надзвичайно сприяла науковому розвитку Анатолія Свідзинського. Менш ніж за два роки він виконав кілька праць у галузі квантової теорії поля, написав кандидатську дисертацію на тему “Метод функціонального інтегрування в теорії функцій Гріна”, яку захистив 7 лютого 1956 року у Львові. Найважливішим результатом цієї дисертації є точне розв’язання моделі Блоха-Нордсика, яка моделює інфрачервону асимптотику функції Гріна електрона в реалістичній теорії – квантовій електродинаміці. Так була одержана неаналітична залежність цієї функції від константи зв’язку і зв’язана природа інфрачервоних розбіжностей у квантовій електродинаміці. Цей результат Свідзинського увійшов у класичну монографію Миколи Боголюбова і Дмитра Ширкова з квантової теорії поля.

На початку березня 1956 року Міністерство освіти скерувало Анатолія Свідзинського на роботу асистентом кафедри математичної (згодом – математичної і теоретичної) фізики Харківського політехнічного інституту. Тут він перші роки працював під помітним впливом сильної харківської математичної школи, читав всі математичні курси



на інженерно-фізичному та інших факультетах ХПІ з підвищеною математичною підготовкою, набув під керівництвом вимогливого завідувача кафедри, яскраво обдарованого математика Ізраїля Глазмана педагогічної майстерності, засвоїв строгі традиції викладача харківської вищої школи.

У Харкові 1960 року створюють Фізико-технічний інститут низьких температур АН УРСР, куди Анатолій Свідзинський переходить, спочатку у відділ математичної фізики, яким керував видатний математик Володимир Марченко.

Весь час Анатолій Свідзинський не переривав регулярних наукових контактів з Боголюбовим, отримуючи від нього позитивні впливи [10].

Учений 1972 року захистив докторську дисертацію з теорії надпровідності на тему: "Струмові стани в просторово-неоднорідних надпровідних системах".

Анатолій Вадимович 1975 року з суто особистих причин переїхав до Сімферополя, де його прийняли за конкурсом на роботу в Сімферопольський державний університет.

У цей період Свідзинський розвивав далі нові методи теорії надпровідних контактів, здобував із значним випередженням світової науки загальну формулу для струму в системах слабкої надпровідності, яка містить у собі цілу низку старих і нових результатів у цій галузі.

Всі ці результати, як і результати докторської дисертації А. Свідзинського, увійшли в завершену в Сімферополі монографію "Пространственно-неоднородные задачи теории сверхпроводимости" [11]. Ця монографія, побудована значною мірою на працях автора, містить дуже компактний і чіткий виклад найважливіших результатів мікроскопічної теорії надпровідності і використовується донині у всіх лабораторіях світу, де ведуться дослідження в теорії надпровідності.

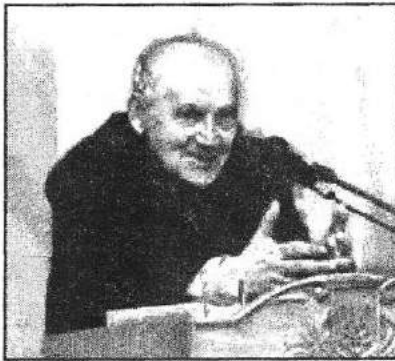
А. Свідзинський, залишивши повністю сформований колектив кафедри теоретичної фізики в Сімферополі, на пропозицію свого друга, академіка І. Р. Юхновського 1993 року переїхав на Волинь з метою організації нового університету в Луцьку. Він став першим ректором цього університету, організував колектив на розбудову за короткий строк і в тяжких економічних умовах основної структури університету, зокрема, збільшив майже вдвічі кількість факультетів.

Внаслідок погіршення здоров'я Анатолій Вадимович залишив посаду ректора у травні 1995 році і присвятив себе викладацькій і науковій роботі, розгорнув формування волинської школи фізиків-теоретиків.

Ще під час роботи ректором учений розпочав працю над підручником "Математичні методи теоретичної фізики", який принципово відрізняється від старих орієнтацією на методи, розроблені в добу квантової фізики. Ця книжка обсягом 442 сторінки була завершена 1997 року, видана видавництвом ім. Олени Теліги (Київ) 1998 року [12]. Наступного, 1999 року, у видавництві "Вежа" Волинського державного університету вищили його "Лекції з термодинаміки" [13], 2001 року – друге видання "Математичних методів теоретичної фізики" обсягом 563 стор., перший том монографії "Мікроскопічна теорія надпровідності". 2003 року А. В. Свідзинський завершив другий том "Мікроскопічної теорії надпровідності" обсягом 420 стор. [14].

Підручник "Математичні методи теоретичної фізики" викликав численні захоплені відгуки і студентів та аспірантів, і високоавторитетних академіків та професорів. Річ у тім, що цей підручник спричинив переверт у формі і змісті викладання математичної фізики у сучасних університетах України. Якщо традиційні підручники з цього фундаментального предмету будувалися на висвітлення математичних методів та теорій, які були створені для досліджень у галузі квантової фізики – панівної фізичної теорії ХХ ст., яка зберігатиме свою провідну роль і в наступному сторіччі. В цьому відношенні цей курс не має аналогів, бо, хоч існують математичні монографії з цього предмету, але власне підручника, приступного для активного студента – фізика-теоретика – вже з третього курсу, не було.

Для А. Свідзинського характерний широкий діапазон наукових інтересів. Наприкінці 1980-х років, під час дискусії навколо будівництва Кримської атомної електростанції, А. Свідзинський досліджує широке коло проблем, пов'язаних з атомною енергетикою, зокрема дає обґрунтовану оцінку апостеріорних ймовірностей різних типів



аварійності (вони виявилися на кілька порядків вище, ніж подані міністерством атомної енергетики СРСР). Пізніше ці оцінки були підтверджені американськими фахівцями.

На початку 1990-х років публікує дві праці з культурології, вже в першій висуває нову ідею про культуру як феномен самоорганізації ноосфери, що дало змогу застосувати ідеї синергетики для висвітлення проблем культурології. Ці дослідження підсумовані і розвинені далі в його монографії "Самоорганізація і культура", завершеній 1998 року.

А. Свідзинський – автор низки відомих праць з теорії релігії, політології, націології, філософських проблем природознавства та історії.

Як пропагандист наукових знань, активно працював членом товариства "Знання", у межах якого прочитав чимало лекцій на теми природознавства та його застосувань, глобальних проблем людства, екологічної кризи, шляхів розвитку енергетики.

Численні виступи Анатолія Вадимовича по радіо, телебаченню, в газетах, на особистих зустрічах були присвячені пропаганді української культури, ознайомленню населення з видатними її діячами, злочинно відірваними свого часу від культурного процесу. До таких видатних постатей належали, зокрема, поети Олег Ольжич, Олена Теліга, Євген Маланюк, Володимир Свідзинський, Михайло Орест, Кость Шишко, філософи Юліян Вассиян, Орест Зибачинський, яким Анатолій Свідзинський присвятив свої виступи та публікації.

Вище йшлося про його різноманітні захоплення. Всі вони залишили в його свідомості глибокий

слід, збагатили його душу і розум. Гостре захоплення ботанікою у 1965–1967 рр. назавжди залишили в нього знання рослин рідної природи, любов і повагу до неї. Все своє свідоме життя Анатолій Вадимович цікавився художньою літературою, філософією, музикою, історією, а особливо захоплювався поезією. Поетичні твори виконує без зовнішніх ефектів, але глибоко і виразно.

У 2003 року виходить його книжка про дядька Володимира Свідзинського. Вона стала помітною подією у вивченні життя і творчості цього великого поета. Книжці передували журнальні публікації (1996 та 2000 р.), матеріал накопичувався, уточнювався і нарешті з'явився у вигляді книжки під назвою "Я виноград відновлення у ніч несучий". Володимир Свідзинський – творець прекрасного" (Київ, вид-во ім. Олени Теліги) [15].

Цією книжкою Анатолій Свідзинський прагнув віддати борг своєму великому предкові, творчість якого органи влади намагалися стерти з пам'яті народу.

У вільний час він створює літературні мініатюри (у своєрідному жанрі мікронovel). Їм притаманні гумор, іронія, яскрава фантазія, неординарність бачення світу, несподіваність у висвітленні теми. Деякі з них опубліковані в журналах: "Український засів" ("Курка і соціалізм", "Геніальний гусак", "Універсальна промова"); "Сучасність" ("Масло"); "Розбудова держави" ("Всенародне горе"), у газеті "Українське слово" ("Як мені дали ім'я і що з того вийшло", "Гімалайський комар", "Гаманець з секретом") та інші.

Література

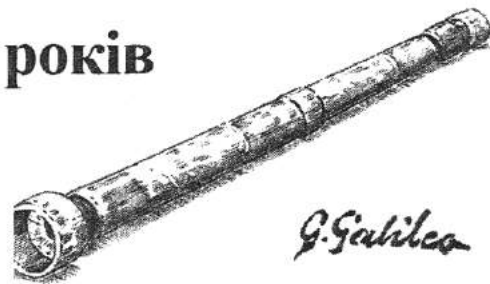
1. Історія Таврійського університету (1918–2003) (рос. мовою) / під ред. чл.-кор. НАН України М. В. Багрова. – Київ: Либідь, 2003.
2. Професори Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського (рос. мовою). – Київ: Либідь, 2007.
3. Таврический университет: док. и материалы / авт.-сост.: Н. В. Багров (рук. авт. коллект.) В. П. Шарапа и др. – Київ: Либідь, 2008.
4. Таврический университет: Времена и люди. 90 лет служения науке / под рук. чл.-кор. НАН Украины, профессора Н. В. Багрова. – Київ: Либідь, 2008.



5. Шостка В. И. Физики и лірики. 90-летию Таврического университета посвящается. – Симферополь: “Петит”, 2008.
6. Источник знаний и просвещения. Люди, события, факты / под ред. к.ф.-м.н. Шостки В. И. – Симферополь: “Ппетит”, 2008.
7. Самойленко А. М., Строк В. В., Секретній В. І. Хроніка – 2005: сторінки з історії Інституту математики / НАН України. – Київ: Ін-т математики НАНУ, 2005.
8. Литвинко А. С. Становлення статистичної фізики в Україні (30–40 рр. ХХ ст.). – Київ: Фенікс, 2009.
9. Н. Н. Боголюбов, В. В. Толмачов, Д. В. Ширков. Новый метод в теории сверхпроводимости. – М.: Изд-во АН СССР, 1958.
10. История отечественной математики. В 4-х т. – Київ: Наук. думка, 1970.
11. Свидзинский А. В. Пространственно-неоднородные задачи теории сверхпроводимости. – М.: Наука, 1982.
12. Свідзинський А. В. Математичні методи теоретичної фізики. – Київ: Вид-во ім. О. Теліги, 1998.
13. Свідзинський А. В. Лекції з термодинаміки. – Луцьк: Вежа, 1999.
14. Свідзинський А. В. Мікроскопічна теорія надпровідності. – Луцьк: ВДУ, 2001. – Т. 1., – 2003. – Т. 2.
15. Свідзинський А. В. Я виноград відновлення у ніч несучу... Володимир Свідзинський – творець прекрасного. – Київ: Вид-во ім. О. Теліги, 2003.

Телескопу Галілея – 400 років

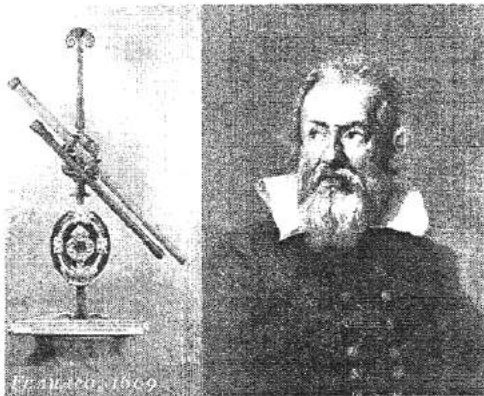
У 2009 році науковий світ відзначив 400-річчя створення першого оптичного телескопа – найпростішого і найефективнішого наукового приладу, що розкрив перед людством двері у Всесвіт. Його створив італійський винахідник Галілео Галілей. Він почав експериментувати з лінзами в середині 1609 року, тоді як дізнався, що в Нідерландах для потреб мореплавання винайшли зорову трубу. Її виготовили 1608 року. За півроку Галілеєві вдалося значно удосконалити цей винахід, створити на його принципі астрономічний інструмент і зробити низку відкриттів.

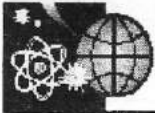


Успіх Галілея у вдосконаленні телескопа не можна вважати випадковим. Італійські майстри скла вже на той час були відомі: ще в XIII ст. вони винайшли окуляри. І саме в Італії була на висоті теоретична оптика. Працями Леонардо да Вінчі вона з розділу геометрії перетворилася на практичну науку.

Ні один телескоп майбутніх сторіч не дала такого внеску в науку, як перший телескоп Галілея.

У Флоренції, в Музеї історії науки зберігаються два телескопи з числа перших, що побудував Галілей. Там знаходиться і розбитий об'єктив третього телескопа. Цю лінзу використовував дослідник для багатьох спостережень у 1609–1610 рр. Її подарували Великому герцогу Фердинанду II. Згодом лінзу випадково розбили. Після смерті Галілея (1642) ця лінза зберігалася у принца Леопольда Медічи, а після його смерті (1675) її було приєднано до колекції Медічи в галереї Уффіці. Цю унікальну колекцію 1793 року передано до Музею історії науки.





До 100-річчя від дня народження
Миколи Боголюбова

МИКОЛА БОГОЛЮБОВ I СУЧАСНА ТЕОРЕТИЧНА ФІЗИКА

Петро Голод,

завідувач кафедри Національного університету "Києво-Могилянська академія"

У серпні 2009 року наукова спільнота України і всього світу відзначила століття від дня народження видатного математика і фізика-теоретика М. М. Боголюбова.

Миколу Миколайовича з певністю можна зарахувати до десятка найвидатніших учених ХХ сторіччя. Його науковий доробок і вплив на становлення квантової та статистичної фізики не менш значні, ніж у В. Гайзенберга, П. Дірака, Е. Шредингера чи Р. Фейнмана. Діапазон наукової творчості М. Боголюбова вражає. Це принципи проблеми нелінійної механіки з інженерними застосуваннями, статистична фізика, зокрема її динамічне обґрунтування, теорія надплинності і надпровідності, фізика плазми, квантова теорія поля, теорія кваркової структури матерії та ціла низка фундаментальних математичних праць.

Життя і творчість М. Боголюбова тісно пов'язані з Києвом, Україною. Тут він виріс і здобув освіту, тут плідно працював і створював наукові школи, які успішно функціонують досі. Зокрема кафедра фізико-математичних наук Національного університету "Києво-Могилянська академія" позиціонує себе як один із осередків школи М. Боголюбова та його, можливо, найталановитішого учня О. С. Парасюка. Ті, хто знав Боголюбова, розумів його ідеї, зобов'язані передати наступним поколінням цей неоціненний скарб. Тільки у такий спосіб можна сформувати стійку наукову традицію.

Народився Микола Боголюбов 8 серпня 1909 року в родині священника і доктора богослов'я Миколи Михайловича Боголюбова та Ольги Миколаївни Люмінарської у Нижньому Новгороді. Того ж таки року сім'я Боголюбових переїхала в Україну в Ніжин, куди Миколу Михайловича було запрошено на викладацьку посаду у Ніжинський

історико-філологічний інститут князя Безбородька. Згодом, 1913 року, Микола Михайлович отримав конкурсну посаду професора богослов'я Університету Св. Володимира у Києві. Так сім'я Боголюбових із двома малими дітьми – Миколою та Олексієм – переїжджає до Києва і поселяється неподалік університету, на вулиці Маріїнсько-Благовіщенській (нині вул. Сакаганського).

Діти виховувалися в академічному середовищі професорської сім'ї, бавилися на університетському подвір'ї, яке межувало з Ботанічним садом, де багато крутих ярів, тінистих алеї і тасмничих закутків. З іншого боку університетської будівлі – вулиця Велика Володимирська та Миколаївський парк (нині парк ім. Т. Шевченка). Це був вихід у світ великого міста з бібліотеками, театрами, музеями. Київ на той час був світлим і радісним, сповненим музики та поезії.

Проте щасливе дитинство тривало недовго. Настав 1917-й, а далі – 1918–1919-ті роки. У Києві змінювалася влада по декілька разів на рік. 1920 року остаточно закріпилися більшовики. Київ став "советским". Батько Миколки залишився без роботи, оскільки викладання філософії релігії замінив войовничий атеїзм. Щоправда, надійшла пропозиція від Агатангела Кримського – тодішнього вченого секретаря УАН (Української академії наук, яку було створено 1919 року за часів гетьманату П. Скоропадського) – очолити кафедру семіології, але з обов'язковою умовою зняти рясу священника. Микола Михайлович категорично відмовився. Щоб прогодувати родину, залишався єдиний шлях – іти в сільську парафію приходським священником. Так сім'я Боголюбових опиняється в с. Велика Круча на Полтавщині.



Полтавський період у житті Миколи Боголюбова дуже важливий. Тут він разом із братом Олексієм почав ходити до сільської школи. Одразу у сьомий клас, оскільки мав досить ґрунтовну початкову домашню освіту. Викладання у школі велося українською мовою, і російськомовні брати Боголюбови її швидко опанували. Історію вчили за Грушевським, а на шкільних вечорах співали “Заповіт” Шевченка. Уже будучи відомим вченим, згадуючи великокучанську школу, Микола Миколайович казав, що її педагогічний колектив склав би гідну конкуренцію кращим столичним школам, а в тому, що він став ученим, вбачав чималу заслугу цієї сільської школи. А знаннями української мови, набутими на Полтавщині, він послуговувався усе життя, зокрема для написання наукових праць.

Сім’я Боголюбових 1922 року повернулася до Києва. Батько Микола Михайлович розумів, що синів треба вчити далі, і вчити серйозно. Він перший помітив видатні здібності до математики у свого старшого сина і порадив йому відвідувати семінар Дмитра Граве, найяскравішого математика у тодішньому Києві, керівника Математичного інституту, створеного в системі УАН.

Але у Граве Микола Боголюбов провчився лише кілька місяців. Одного разу семінар відвідав Микола Митрофанович Крилов, теж математик, але прикладного спрямування. Напередодні його обрали академіком УАН і він очолював кафедру математичної фізики, яка, до речі, складалася з одного співробітника – самого Крилова. Він був знайомий з батьком Боголюбова і, порадившись з ним, запропонував 14-річному Миколці перейти на його кафедру. Так Микола Боголюбов отримав наукового керівника, з яким пов’язав свою долю майже на 25 років.

Уже в 1925 році 15-річний Боголюбов, під керівництвом Крилова, виконав свою першу наукову працю, а 1928 року захистив дисертацію на тему: “Застосування прямих методів варіаційного числення в дослідженні нерегулярних випадків варіаційних задач”.

Президія УАН 1930 року присвоїла Боголюбову ступінь доктора математики. На той час він мав декілька опублікованих фундаментальних праць, одну з яких було відзначено премією Болонської академії наук. Період із 1930 до 1941 року –

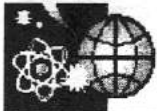
час продуктивної творчої праці та швидкого наукового зростання молодого вченого. Ось основні віхи творчості М. Боголюбова – написано всесвітньо відомі монографії: “Нові методи у варіаційному численні” (1932); “Приложение методов нелинейной механики к теории стационарных колебаний” (разом з М. М. Криловим) (1934); “Введение в нелинейную механику”, (разом з М. М. Криловим) (1937).

М. Боголюбов 1936 року став завідувачем кафедри математичної фізики Київського державного університету ім. Т. Г. Шевченка. Того ж року він отримав звання професора (йому на той час було лише 27 років). Науковець 1937 року написав важливу працю “Загальна теорія міри в нелінійній механіці” (Ann. of Math.). Упродовж 1937–1941 рр. вийшла низка праць про ергодичну гіпотезу та стохастичну динаміку систем багатьох частинок.

Перечитуючи праці Миколи Миколайовича, які він написав у 1937–1940 рр., можна помітити в них нові тенденції наукового пошуку. Досліджуючи загальні властивості динамічних систем, параметри яких змінюються випадково (стохастично), Боголюбов торкався фундаментальних проблем статистичної фізики і фізичної кінетики. Очевидно, можна стверджувати, що з 1937 року Боголюбов почав працювати як фізик-теоретик. Показовою у цьому плані є праця “Про рівняння Фоккера-Планка, що виводяться з теорії пертурбації методом, який ґрунтується на спектральних властивостях пертурбаційного гамільтоніану”, у якій досліджується стохастична поведінка одночасно класичної та квантової систем. Ця праця засвідчує глибоке розуміння Миколою Миколайовичем принципів і проблем квантової механіки та фізики загалом.

На початку війни, у липні 1941 року, родина Боголюбових була евакуйована до Уфи. Перебуваючи в евакуації, Микола Миколайович поглиблював свої знання з фізики, вивчав праці Больцмана, Гібса, Дірака. Поглибленню його знань із фізики сприяло знайомство з відомими московськими вченими, зокрема з професором Московського університету, завідувачем кафедри статистичної фізики А. О. Власовим.

Наприкінці 1944 року Боголюбов повернувся до Києва. Основне місце його роботи – універси-



тет ім. Т. Г. Шевченка. Миколу Миколайовича обрали деканом механіко-математичного факультету, де він усі зусилля спрямував на відновлення навчального процесу у столичному університеті. Водночас займався проблемами шкільної освіти, організовуючи перші всеукраїнські шкільні математичні олімпіади.

Другий київський період із 1945 до 1951 року – надзвичайно плідний у творчості Боголюбова. За цей час він написав понад 10 наукових праць у галузі теоретичної і математичної фізики [1–11]. Серед них дві фундаментальні монографії, які стали знаковими в теоретичній фізиці ХХ століття. Це – “Проблемы динамической теории в статистической физике” (1946), та “Лекції з квантової статистики” (1949). Обидві монографії написано на основі авторських спецкурсів, які Боголюбов читав у Київському університеті ім. Т. Г. Шевченка.

Майже кожна з перелічених праць стала всесвітньо відомою і започаткувала новий напрям у теоретичній фізиці. Щоб зробити їхній огляд та проаналізувати вплив на розвиток фізики, не вистачить однієї солідної монографії. Отже, звернемо увагу лише на дві з них – це праця [3], яка стосується теорії надплинності, та монографія [10]. У праці [3] Боголюбов запропонував і дослідив відносно просту квантову модель взаємодії бозе-частинок (молекул чи атомів) і показав, що за умов низьких температур у такій системі утворюється надплинний конденсат. Окрім мікроскопічного пояснення явища надплинності, у цій праці запропоновано низку методів (наприклад, відоме “*u-v*”-перетворення, для діагоналізації модельного гамільтоніану), які згодом були використані у багатьох інших задачах теорії конденсованої матерії та у квантовій теорії поля. Такі поняття як “фізичний вакуум”, “нееквівалентні представлення канонічних комутаційних співвідношень” увійшли до лексики теоретичної фізики значною мірою завдяки М. Боголюбову. Щодо другої визначної праці, то вона ознаменувала собою нову епоху в статистичній фізиці. Ланцюжок рівнянь для функцій розподілу, який уперше був отриманий у боголюбівській праці [10], став незмінним фундаментом усіх наступних праць у рівноважній та нерівноважній статистиці, зокрема в сучасній теорії плаз-

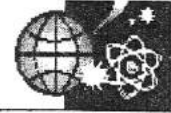
мових процесів. Отримуючи з оборотних у часі мікроскопічних динамічних рівнянь необоротні рівняння для функцій розподілу (рівняння типу Больцмана та їх узагальнення), Боголюбов уперше теоретично строго обґрунтував природу виникнення необоротності в макроскопічних процесах.

Починаючи з 1947 року, Боголюбов – бажаний гість у Московському університеті. На кафедрі статистичної фізики фізичного факультету він читав спецкурс за змістом, близьким до викладеного в монографії [10]. Одночасно його запрошують до Математичного інституту ім. В. А. Стеклова АН СРСР, а 1948 року, за рекомендацією академіка М. М. Семенова, “під Боголюбова” створили відділ математичної фізики в Інституті хімічної фізики АН СРСР. Так починає формуватися Московська школа М. М. Боголюбова.

Навесні 1950 року разом із деякими своїми вже московськими учнями Микола Миколайович вирушив у суворо засекречений населений пункт Арзамас-16 для роботи на “об’єкті”, де група інженерів і вчених розробляла атомну, а згодом і водневу бомбу. Там він працював в одній команді з А. Д. Сахаровим у теоретичному відділі, що його очолював І. Є. Там. Як писав згодом у своїх спогадах А. Д. Сахаров “...На “об’єкті” Боголюбов істотно посилив роботу математичного відділу. Проте його зовсім не цікавили інженерно-конструкторські та експериментальні роботи...”

Можливою винагородою за не зовсім добровільну працю на “об’єкті” були зірки Героїв Соціалістичної Праці. У багатьох учених, які працювали над створенням зброї масового знищення, виникали сумніви щодо моральних аспектів їхньої праці, і тому вони шукали першої слушної нагоди залишити “об’єкт”, не дочекавшись винагороди. Серед таких був і М. Боголюбов. Проте до Києва він не повернувся. Звільняючи від праці на “об’єкті”, його офіційно передали “в распоряжение Москвы”.

Щоб приручити видатного вченого, “Москва” створила Боголюбову комфортні умови проживання і праці. Йому надали пристойну квартиру в будинку поблизу станції метро “Сокол”, а згодом (1954) – квартиру у висотному будинку на території МДУ ім. Ломоносова. Того ж року в його розпорядження надали дачу-котедж в Абрамцево.



У той період Микола Миколайович обіймав декілька посад: він – завідувач кафедри теоретичної фізики Московського університету і завідувач відділу в Математичному інституті ім. Стеклова. У 1953 році його обрали академіком АН СРСР.

Хоча сім'я Боголюбових переїхала до Москви, Микола Миколайович не міг розлучитися з Києвом, який він дуже любив і де в нього залишалася велика когорта учнів. Фактично, це були дві групи вчених: одна з них, на чолі з Ю. О. Митропольським, займалася проблемами нелінійної механіки, а інша, в якій найяскравішою особистістю був О. С. Парасюк, працювала над проблемами теоретичної і математичної фізики. Сам Боголюбов до 1956 року залишався співробітником Інституту математики АН УРСР.

З 1953 року основні зусилля Микола Миколайович спрямував на розв'язання фундаментальних проблем квантової теорії поля. Ключовою на той час була проблема розбіжностей (нескінченностей), які виникали під час розрахунку ймовірностей тих чи інших процесів за участі електронів, позитронів та фотонів високих енергій. З розбіжностями “боролися” такі видатні вчені, згодом лауреати Нобелівської премії, як Г. Бете, Р. Фейнман, Ю. Швінгер та інші. Проте найглибше зрозумів їхню природу Боголюбов. Він підкреслював, що поява розбіжностей – це плата за “локальність” квантової теорії. Спробуємо пояснити це.

Фізичні уявлення про електромагнетну взаємодію ми отримали, досліджуючи взаємодії заряджених матеріальних тіл, які мають певний об'єм і розташовані на певній відстані одне від одного. З цього погляду, заряд електрона e , по суті, макроскопічним поняттям. У квантовій теорії, описуючи взаємодії між частинками, ми перемножуємо квантові поля, які їм відповідають, в одній і тій самій точці простору. “Точка простору” є математичним поняттям, яке стосується також “внутрішніх” точок електрона. Але яка взаємодія там, всередині електрона, яким зарядом вона визначається? Відповіді на це запитання не може дати феноменологія. За концепцією Боголюбова, квантова теорія поля потребує доозначення на малих відстанях (порядку 10^{-16} м). Задачу “доозначення” Боголюбов перевів у математичну площину, осмисливши її як проблему множення сингулярних

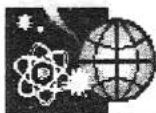
функцій, якими, фактично, є квантові поля та їхні середні значення (цей клас функцій у математиці називають узагальненими функціями). Проблема полягала в тому, щоб надати сенсу узагальненої функції добуткові двох сингулярних функцій, оскільки при множенні полів ступені сингулярностей зростають. Щоб добуток двох узагальнених функцій мав сенс, треба зробити так звану “віднімальну процедуру”, названу згодом R -операцією Боголюбова-Парасюка. (Розробка цієї теорії лягла в основу докторської дисертації, яку виконав під керівництвом Миколи Миколайовича молодий математик зі Львова Остап Степанович Парасюк). Віднімальна процедура, як це показано у працях М. Боголюбова і О. Парасюка, веде до зміни (“перенормування”) параметрів теорії. У випадку електродинаміки – це перенормування заряду і маси електрона (фізична природа перенормувань полягає в поляризації вакууму та його впливі на масу та заряд). О. Парасюк довів теорему, що цих перенормувань достатньо, аби уникнути розбіжності у будь-якому порядку за теорією збурень.

Теорія перенормувань Боголюбова-Парасюка стала одним із найвидатніших досягнень квантової теорії поля (КТП). Вона увійшла до всіх відомих підручників з КТП, викладена в декількох українських та іноземних монографіях.

Семінари Боголюбова з проблем квантової теорії поля відбувалися на фізичному факультеті МДУ і в Математичному інституті ім. В. А. Стеклова. Учасники семінарів не тільки виступали з доповідями про власні роботи, а й вивчали важливі праці Фейнмана, Швінгера, Дайсона та інших.

Боголюбов разом зі своїми учнями переосмислював усе, що було напрацьоване світовою наукою в галузі КТП, намагався надати різноманітним підходам цілісності та математичної обґрунтованості. Ця кропітка праця завершилася написанням (спільно з Д. В. Ширковим) фундаментальної монографії “Введение в теорию квантованных полей” (1957). Видана вперше понад 50 років тому, ця книжка є незамінним підручником з КТП і досі. На ній виховувалося не одне покоління фізиків-теоретиків у всьому світі.

Ще один блискучий тріумф творчості Боголюбова припадає на 1957–1958 роки. Це створення мікроскопічної теорії надпровідності. Звичайно,



Боголюбов усвідомлював близькість між явищем надплинності, теорію якого він запропонував 1946 року, та явищем надпровідності. Можна було здогадуватися, що надпровідність – це надплинність зарядженої рідини або зарядженого конденсату, існування якого у бозе-системах за низьких температур встановив Боголюбов. Але у надпровідних металах носіями струму є електрони, для яких виконується принцип Паулі, тому утворення конденсату в електронній “рідині” неможливе. Але важливе спостереження Л. Купера про “спарювання” двох електронів завдяки їхньої взаємодії з коливаннями кристалічної ґратки металу підштовхнуло Боголюбова до створення правильної мікроскопічної теорії надпровідності. Однак публікація боголюбівської теорії трохи “запізнилася” (вона з’явилася друком у жовтні 1957 року). Влітку 1957 року в журналі “Physical Review” з’явилася відома праця трьох авторів: Дж. Бардіна, Дж. Шриффера та Л. Купера, в якій було запропоновано модель явища надпровідності, дуже подібну до боголюбівської. За цими авторами закріпився пріоритет першовідкривачів, хоча глибокі результати Боголюбова визнаються також. А якщо казати про сучасні застосування явища надпровідності, то підхід Боголюбова є домінуючим і кількість цитувань його праць на цю тему сягає сотень щороку.

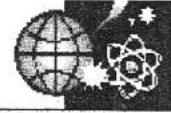
У березні 1956 року між Радянським Союзом та країнами так званого “соціалістичного табору” (Польща, Болгарія, Угорщина, Румунія, Східна Німеччина, Монголія, В’єтнам) було підписано угоду про створення міжнародного центру досліджень проблем ядерної фізики. Місцем дислокації центру обрали містечко Дубна поблизу Москви. Одним із творців нового інституту був М. Боголюбов. Він очолив лабораторію теоретичної фізики. Відтоді Микола Миколайович приділяв багато уваги дослідженням, які проводилися у Дубні. Оскільки ж це були переважно експерименти з розсіяння високоенергетичних частинок на ядерних мішенях, то доводилося глибоко вникати в роботу експериментаторів та будувати теоретичні моделі, наближені до експерименту.

На той час модною наукою у фізиці високих енергій була аналітична теорія матриці розсіяння (S -матриці). Це була спроба оминати важкі проб-

леми квантової теорії поля шляхом побудови безпосередньо кінцевого продукту теорії – матриці розсіяння, спираючись на декілька надійно встановлених принципів. Серед них один із найважливіших – принцип причинності. Наслідком цього незаперечного постулату є аналітична залежність амплітуд розсіяння від енергій та імпульсів частинок, що зіштовхуються і взаємодіють між собою. (Аналітичність – це змога продовжити ці залежності у комплексну площину енергій та імпульсів). З умови аналітичності, у свою чергу, можна отримати інтегральне співвідношення між дійсною та уявною складовою амплітуди розсіяння. Такі співвідношення мають назву дисперсійних (термін запозичений з оптики) і відіграють важливу роль в аналізі процесів розсіяння.

Проблемою дисперсійних співвідношень Боголюбов зацікавився у 1955–1956 роках. У стилі, характерному для Миколи Миколайовича, задача була сформульована у строго математичних термінах і пов’язана з фундаментальними проблемами аналізу функцій багатьох комплексних змінних, граничні значення яких можуть бути узагальненими функціями. Було виконано великий комплекс досліджень, до яких були залучені Б. В. Медведєв, М. К. Поліванов, В. С. Владіміров та інші. Результати цієї роботи підсумовано в монографії “Вопросы теории дисперсионных соотношений”, що вийшла з друку 1958 року.

Як уже згадувалося, в Україні працювало декілька груп учених, які були учнями Боголюбова і розвивали його ідеї та методи. Але вони працювали в різних містах і різних інститутах та університетах. Думку про створення серйозної школи теоретичної фізики в Україні Боголюбов висловлював ще 1955 року, зокрема після успішного захисту докторської дисертації О. Парасюком та переїздом його в Україну. Сприятливі обставини для реалізації задуму виникли у 1964–1966 роках. Власне, тоді ідея створення потужного наукового центру з широкими міжнародними зв’язками почала набирати конкретних форм. На той час М. Боголюбов утвердився як незаперечний лідер у теоретичній і математичній фізиці. Його обрали генеральним директором Об’єднаного інституту ядерних досліджень (ОІЯД) у Дубні та академіком-секретарем відділення математики АН



СРСР. Окрім наукового авторитету, тепер він мав певний адміністративний ресурс. До його думки дослухалися в уряді та ЦК КПРС. (Сам М. Боголюбов ніколи партійним не був).

Остаточно план створення в Києві нового наукового інституту почали реалізовувати з 1965 року. Про це свідчить, зокрема, факт створення кафедри квантової теорії поля на фізичному факультеті Київського державного університету ім. Т. Г. Шевченка. Очолив її О. Парасюк, якого щойно обрали академіком АН УРСР і академіком-секретарем відділення фізики та астрономії.

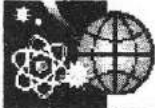
Як розповідав О. Парасюк авторові цього тексту у серпні 1965 року, Микола Миколайович, як новообраний генеральний директор ОІЯД у Дубні, звернувся до ЦК КПРС з листом, у якому містилася низка пропозицій щодо організації фізичних досліджень і підготовки наукових кадрів. Серед іншого Боголюбов пропонував створити в Україні два нових науково-дослідних інститути – Інститут теоретичної фізики та Інститут ядерних досліджень, що працювали б у тісній взаємодії з Об'єднаним інститутом у Дубні. На той час українські ЦК і Рада Міністрів були дуже обмежені у своїх можливостях рішення й реалізації проектів, вартість яких перевищувала певну суму. Очевидно, затрати на організацію двох інститутів мали бути значними і перевищували дозволену суму. На реалізацію таких масштабних проектів була потрібна санкція Москви. Це добре розумів тодішній перший секретар українського ЦК Петро Юхимович Шелест. Він усіляко підтримував наміри Боголюбова. (Син Шелеста – Віталій – навчався тоді в аспірантурі у Дубні). Можливо, зміст листа у московський ЦК погоджувався з Шелестом. Як було насправді – невідомо, але вже 5 січня 1966 року Рада Міністрів УРСР приймає постанову про створення Інституту теоретичної фізики (ІТФ) в системі АН УРСР. (Інститут ядерних досліджень було організовано згодом). На підставі постанови Ради Міністрів приймає відповідну постанову Президія Академії наук. Так, із січня 1966 року Інститут теоретичної фізики почав діяти. Його директором було призначено М. Боголюбова, заступником – В. П. Шелеста, а вченим секретарем – В. П. Гачка. Вже восени того ж року в замиському урочищі Феофанія розпочалося будівництво нових

інститутських корпусів і готелю, а поки що ІТФ розміщувався на четвертому поверсі будинку № 53 на вул. Чкалова (нині вул. О. Гончара). Нижні три поверхи займав Інститут геологічних наук.

Період із 1966 до 1972 рр. можна назвати третім київським періодом у житті Боголюбова. Тепер він обтяжений званнями та обов'язками, проте не згасає його наукова активність. Він слідкує за найновітнішими досягненнями у фізиці, щедро ділиться ідеями зі своїми учнями. Першою публічною акцією нового інституту, який очолював Боголюбов, була школа-конференція з фізики елементарних частинок у Ялті. На ній Микола Миколайович прочитав цикл лекцій з теорії унітарної симетрії та кваркової структури матерії. На той час це була найпопулярніша тема у теоретичній фізиці. Боголюбов швидко заглибився в нову для себе галузь і вже 1965 року разом зі своїм аспірантом Борисом Струмінським здобув важливий результат: він обгрунтував потребу додаткових квантових чисел, які мають розрізняти кварки всередині нуклонів (кожен нуклон утворений з трьох кварків). Ці додаткові квантові числа (названі згодом кольорами) потрібні, щоб узгодити кваркову структуру нуклонів та інших сильно взаємодіючих частинок із принципом Паулі. На підставі гіпотези про кольорові ступені вільності (яку одночасно з М. Боголюбовим і Б. Струмінським висловили М. Ган, І. Намбу і П. Фройд) згодом була побудована квантова хромодинаміка – сучасна польова теорія сильних взаємодій.

У Києві 1970 року було організовано масштабну конференцію з елементарних частинок і фізики високих енергій. Конференцію відкрив М. Боголюбов уже в новому корпусі ІТФ у Феофанії, де були чудова конференц-зала, затишні холи для семінарів і кімнати для зосередженої праці.

Інститут теоретичної фізики у Києві, дітище Миколи Миколайовича, відіграв важливу роль у культурному та науковому житті України. У 1970–1980-х роках, і особливо у 1990-ті, він був осередком національно свідомої і демократично налаштованої інтелігенції. Тут працювали такі відомі особистості як О. Парасюк, О. Давидов, І. Юхновський, О. Лубченко, О. Ситенко, П. Дзюб, навчався в аспірантурі І. Вакарчук. Ці люди відомі



не лише як науковці, а й як видатні громадяни України. Вони мали мужність виступити на захист несправедливо засуджених “дисидентів” у 1970-х роках, були в перших рядах тих, хто виборював і утверджував незалежність України наприкінці 1980-х – початку 1990-х. Усі вони зі школи Боголюбова.

1980-ті роки для Боголюбова не надто продуктивні. Роки беруть своє. Особливо міцним здоров'ям Микола Миколайович не міг похвалитися. У науковій роботі учений зосередився на розвитку і поглибленні своїх ідей. Зокрема в цей час він опублікував великі мемуари “Сверхтекучесть и квазисредние в задачах статистической механики” та монографію (разом зі старшим сином, також Миколою).

У Дубні 1989 року відзначали 80-річчя Миколи Боголюбова. Надійшло багато привітань з усіх куточків світу, звучали гарні слова про Вченого і Учителя, про його роль у світовій науці. Цього ж року М. Боголюбов залишив посаду генерального директора ОІЯД.

Останньою приємною подією в його житті (за свідченнями брата вченого – Олексія [12]) стало обрання Миколи Миколайовича дійсним членом Наукового товариства імені Т. Г. Шевченка, діяльність якого поновлено в Україні 1991 року. Щойно звістка про відродження Товариства долинула до Москви, академік М. Боголюбов тепло привітав львівську наукову громаду, своїх учнів із цією історичною подією. Від нього надійшов лист, у якому читаємо: “Бути членом відродженого Наукового товариства ім. Т. Г. Шевченка, відомої у всьому світі української наукової інституції, дуже почесно і значимо для мене”.

13 лютого 1992 року Боголюбова не стало. Поховали видатного вченого за православним християнським обрядом на Новодівичому цвинтарі в Москві. Пом'янули його й на загальних зборах Академії наук України. Адже з 1924 року Боголюбов був найстаршим членом української академії. Національна академія наук України заснувала медаль імені М. М. Боголюбова. Його ім'я присвоєно заснованому ним Інституту теоретичної фізики. У вестибюлі Інституту встановлено погруддя Миколи Миколайовича Боголюбова.

Література

1. Боголюбов М. М. *Элементарный пример установления статистического равновесия в системе, связанной с термостатом.* // О некоторых статистических методах в математической физике. – 1945. – С. 115–137.
2. Боголюбов М. М. *Метод функціональних похідних в статистичній механіці.* // Збірник праць Інституту математики АН УРСР, 1946. – Т. 8. – С. 177–189.
3. Боголюбов М. М. *К теории сверхтекучести.* // Изв. АН СССР. Сер. физ., 1947. – Т. 11, № 1. – С. 77–90.
4. Боголюбов М. М., Гуров К. П. *Кинетические уравнения в квантовой механике.* // ЖЭТФ, 1947. – Т. 17, Вып. 7. – С. 614–628.
5. Боголюбов М. М. *Энергетические уровни неидеального бозе-эйнштейновского газа.* // Вестн. Моск. ун-та, 1947. – № 7. – С. 43–56.
6. Боголюбов М. М. *Рівняння гідродинаміки в статистичній механіці.* // Збірник праць Інституту математики АН УРСР. – 1948. – Т. 10. – С. 41–59.
7. Боголюбов М. М. *Кинетические уравнения в теории сверхтекучести.* // ЖЭТФ, 1948. – Т. 18, Вып. 7. – С. 622–630.
8. Боголюбов М. М., Хацет Б. И. *О некоторых математических вопросах теории статистического равновесия.* // ДАН СССР, 1949. – Т. 66, № 3. – С. 321–324.
9. Боголюбов М. М. *Об одной новой форме адиабатической теории возмущений в задаче о взаимодействии частицы с квантовым полем.* // УМЖ, 1950. – Т. 2, № 2. – С. 3–24.
10. Боголюбов М. М. *Проблемы динамической теории в статистической физике.* – М.-Л.: ОГИЗ. Гостехиздат, 1946. – 119 с.
11. Боголюбов М. М. *Лекції з квантової статистики. Питання статистичної механіки квантових систем.* – К.: “Радянська школа”, 1949.
12. Боголюбов А. Н. *Н. Н. Боголюбов. Жизнь и творчество.* – Дубна: ОИЯИ, 1996.

Додатково про М. Боголюбова читайте в журналі “Світ фізики”, 1999, № 4; “Світ фізики”, 2009, № 3, а також у книжці І. Мриглод, В. Ігнатюк, Ю. Головач. *Микола Боголюбов і Україна* (“Свросвіт”, 2009, 192 с.)



Нобелівську премію з фізики за 2009 рік одержали Чарльз Куен Као (Charles Kuen Kao) за праці в галузі оптоволоконного зв'язку, Віллард Стерлінг Бойл (Willard Sterling Boyle) та Джордж Елвуд Сміт (George Elwood Smith) за створення оптичних напівпровідникових схем. Їхні роботи лягли в основу функціонування сучасних ПЗЗ-матриць цифрових фотоапаратів.

Чарльз Куен Као народився 4 листопада 1933 року в Шанхаї (Китай). Ступінь доктора наук він здобув 1965 року із інженерної електротехніки у Лондонському університеті. Був директором з енергетичних питань Лабораторії комунікацій в Гарлоу (Великій Британії) та віце-ректором Китайського університету в Гонконзі. Науковець із 1996 року на пенсії.

Віллард Стерлінг Бойл народився 8 липня 1924 року в Амхйорсті (Канада). Ступінь доктора наук з фізики здобув 1950 року в Мак-Гіллському університеті в Канаді. Був директором Лабораторії Белл, Мюррей у Нью Йорку (США). Науковець із 1979 року на пенсії.

Джордж Елвуд Сміт народився 10 травня 1930 року у Нью Йорку (США). Ступінь доктора наук з фізики здобув 1959 року в Чиказькому університеті (штат Іллінойс, США). Працював у Лабораторії Белл, Мюррей у Нью Йорку (США). Науковець із 1986 року на пенсії.

НОБЕЛІВСЬКІ ЛАВРЕАТИ

2009

Визнання оптоелектронних технологій



Чарльз Као



Віллард Бойл



Джордж Сміт

Олександр Гальчинський,
Галина Шопя

Однією з технологічних революцій XIX сторіччя став винахід способів передачі інформації на великі відстані, і дротами, і без них, за допомогою радіохвиль. Спочатку здавалося, що ці два варіанти мають повністю задовольняти всі інформаційні і комунікаційні запити людства. Проте для сучасного світу пропускна спроможність цих каналів – чи то мегабіти за секунду або тисячі одночасних телефонних розмов – недостатня. І що найважливіше, у цієї пропускної спроможності є принципове обмеження, яке не можна обійти ніякими технологічними удосконаленнями, воно пов'язане з особливістю процесів, що протікають в самому каналі передачі інформації.

Розгляньмо для прикладу передавання інформації за допомогою радіохвиль з несучою частотою 100 МГц. Інформація кодується у вигляді невеликої модуляції несучої хвилі, проте ці моду-

ляції мають бути набагато повільнішими, ніж коливання самої хвилі, – інакше хвиля дуже сильно спотвориться, займе велику смугу частот. Це означає, що в такій хвилі можна закодувати послідовність бітів, що йдуть один за одним з частотою від сили в декілька мегагерц, що дає пропускну здатність каналу зв'язку декілька мегабіт за секунду. Тому якщо ми хочемо збільшити швидкість передавання інформації, нам доведеться збільшувати і несучу частоту електромагнетних хвиль. Саме тому фізики звернули свій погляд до світлових хвиль. При частоті майже 10^{15} Гц світлові хвилі дають змогу, принаймні теоретично, передавати сотні терабіт за секунду.

Цікаво, що першу спробу передати телефонну розмову за допомогою світла реалізував Олександр Грем Белл ще 1880 року. Його пристрій – фотофон – за допомогою дзеркала зв'язаного з



мембраною модулював сонячний промінь звуковою хвилею. Ця схема була, очевидно, вразлива до світлових шумів, дуже залежала від стану атмосфери і давала змогу передавати сигнали лише на невелику відстань у межах прямої видимості. Для ефективнішої роботи пристрою було доцільно передавати світло по каналу, що захищений від зовнішніх світлових перешкод.

На допомогу тут могло б прийти оптоволокно – тонка, а тому гнучка, скляна нитка, яка поміщена в захисну оболонку. Таке оптоволокно пропускає світло завдяки явищу повного внутрішнього відбивання. Так називають ефект, за якого світло, що йде уздовж волокна і підійшовши до межі розділу скло–повітря, не виходить назовні, відбивається назад у скло, і в результаті йде уздовж волокна, слухняно слідуючи всім його вигинам.

На початку ХХ сторіччя робилися спроби використати цей ефект для передавання світлових сигналів на великі відстані, проте тут з'ясувалося несподівана річ – скло виявилось не таким вже й прозорим матеріалом. В цьому можна переконались самостійно, взявши лист скла і подивившись крізь торець. Спостерігаючи крізь торець скла, ви побачите не зображення з протилежного боку, а просто товщу скла характерного зеленуватого кольору. Світло “пробивається” в товщі звичайного скла на відстань майже метр.

Якщо середовище однорідне, то згасання інтенсивності світлової хвилі (тобто світлового сигналу) йде з відстанню експоненціально за законом Бугера. Іншими словами, те, на скільки порядків слабшає сигнал, пропорційне до довжини пройденого шляху. Якщо сигнал зменшився в 10 разів у 10-метровому оптоволокні, то він зменшиться в 100 разів у 20-метровому волокні, і в 1000 разів у 30-метровому. В техніці порядки часто виражаються в децибелах: 10 дБ – ця зміна на один порядок, 20 дБ – зміна на два порядки і т. д. Тому конкретна лінія передавання характеризується своїм коефіцієнтом загасання, який виражають у дБ/м (або дБ/км). Скажімо, описана вище ситуація (падіння інтенсивності світлової хвилі в 10 разів на кожні 10 метрів шляху) відповідає коефіцієнту згасання 1000 дБ/км.

Навіть у найчистішому склі, яке виготовляли у першій половині ХХ сторіччя, світло згасало на відстані в десятки метрів, тобто коефіцієнт зга-

сання був майже 1000 дБ/км. Оптоволокна все ж таки почали застосовувати там, де не вимагалось великих відстаней (наприклад, в медицині при гастроскопії). Однак використовувати такі оптоволокна для передачі даних на великі відстані все ще було нереально. Оцінки показували, що для того, щоб оптоволокно стало ефективним комунікаційним засобом, потрібно зменшити коефіцієнт згасання хоча б в 100 разів – тобто, до рівня 20 дБ/км. Але як цього добитися і чи можна добитися взагалі, в середині ХХ сторіччя було абсолютно незрозуміло. Окрім згасання, залишалися також й інші проблеми, наприклад дисперсія світла в склі, через яку профіль світлового імпульса зазнавав спотворення.

У результаті в 1950-і роки відношення фахівців до цього було скептичним, і набагато перспективнішими виглядали інші способи комунікацій. У 1956 році було прокладено перший телефонний трансатлантичний кабель, а за декілька років почався розвиток супутникових технологій зв'язку.

Молодий інженер китайського походження Чарльз Као у 1960-і роки, який щойно захистив дисертацію в Лондонському університеті, вирішив дослідити, чому ж не вдається добитися потрібної прозорості скла. Разом із молодим теоретиком Г. А. Гокгамом (G. A. Hockham) він уважно вивчив різноманітні оптичні процеси в склі і дійшов висновку, що головний внесок у згасання світла роблять домішки в склі. Као передбачив, що якби вдалося ці домішки усунути, то можна було б добитися коефіцієнта згасання в декілька дБ/км!

На той час були уже створені лазери, які генерували світло, та активні середовища, які підсилювали це світло, тобто були створені передумови для передавання сигналів по оптоволокну. Наприкінці 1960-х років зацікавлення цією проблемою спалахнуло з новою силою, почалася справжнісінька технологічна гонитва за отриманням якомога чистішого скла з мінімальним згасанням. Великий внесок у це зробив Ч. Као. Він продовжував активно вивчати поширення світла в різних матеріалах і дійшов висновку, що найкращим має бути кварцеве скло. До того ж, науковець активно пропагував ідею оптоволоконних інформаційних технологій, спілкувався із фахівцями різних лабораторій, інженерами і промисловцями.

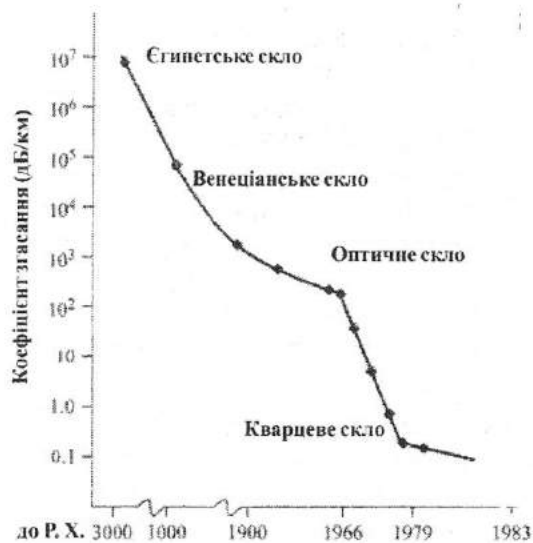


Рис. 1. Коефіцієнт згасання скла з часом

Виготовлення надчистого кварцового скла виявилось складним завданням через його високу температуру плавлення. Проте 1970 року група дослідників з компанії "Corning Glass Works" (Роберт Маурер, Дональд Кек, Пітер Шульц) розробили методику вирощування потрібного оптоволоконна за допомогою технології хемічного осадження з газової фази. Вони добились коефіцієнта згасання 16 дБ/км, а за два роки знизили його до 4 дБ/км. П'ять років згодом перші комерційні оптоволоконні канали зв'язку з'явилися у Великій Британії, тоді в США та Японії, а 1988 року був прокладений трансатлантичний оптоволоконний кабель. Ще пізніше оптоволоконні мережі зв'язку з'явилися в усіх країнах. Водночас продовжувала удосконалюватись технологія виготовлення оптоволоконних кабелів (рис. 1). І нині коефіцієнт згасання в зразках з рекордною прозорістю становить менше 0,2 дБ/км. Це навіть менше ніж ті оцінки, які отримав Ч. Као в своїх теоретичних працях.

Для ефективнішого використання оптоволоконних мереж слід звернути увагу на залежність коефіцієнта згасання в кварцовому склі від довжини хвилі світла. З рис. 2 видно, що коефіцієнт згасання найменший в інфрачервоній ділянці спектра. У видимій ділянці спектра він більший. Зі зменшенням довжини хвилі коефіцієнт згасання стрімко зростає завдяки розсіянню світла на

неоднорідностях показника заломлення середовища (релеївське розсіяння). В діапазоні довжин хвиль понад 1 мкм спостерігаються лінії поглинання гідроксильних груп ОН, від яких не вдається позбутися під час виготовлення оптоволоконна. В результаті мінімальне поглинання спостерігається в окремих "вікнах прозорості" (переважно це 1,3 мкм і 1,55 мкм), які лежать у ближньому ІЧ-діапазоні. Саме на цих довжинах хвиль працює сучасний оптоволоконний зв'язок.

Другою половиною Нобелівської премії з фізики за 2009 рік нагородили Віларда Бойла і Джорджа Сміта за винахід приладів із зарядним зв'язком – ПЗЗ (англійською CCD – charged-coupled device). Так називають напівпровідниковий пристрій, який дає змогу робити фотографії відразу в цифровому форматі: світловий потік потрапив на прилад – а з нього вийшов цифровий файл із закодованим зображенням. Тепер, коли цифрова фотографія стала такою звичною, втрачається відчуття, наскільки революційним виявилось це відкриття. Адже ще декілька десятиріч тому цифрове опрацювання фотографічних даних, що застосовували лише в наукових дослідженнях, було тривалою і складною операцією. Спочатку зображення реєстрували на фотоплівку, яку проявляли, з неї друкували фотографії, їх сканували, далі перетворювали на цифровий файл і лише тоді обробляли за допомогою комп'ютера. ПЗЗ-матриця, яка, оминувши всі ці етапи, відразу ж давала придатне для опрацювання цифрове зображення, швидко спростила і пришвидшила весь процес опрацювання оптичних зображень.

Створення приладів із зарядним зв'язком стало можливим завдяки специфічному класу матеріалів – напівпровідникам, і кмітливості винахідників, які придумали, як сповна використовувати їхні властивості. В. Бойл і Дж. Сміт, будучи співпрацівниками знаменитої лабораторії "Bell Labs" (працівники якої вже одержали сім Нобелівських премій), отримали завдання придумати ефективний напівпровідниковий пристрій для запису і зчитування інформації, в якому інформація зберігалася б у вигляді мікроскопічних "хмаринок заряду". Мета цього завдання – скласти конкуренцію іншому підрозділові тієї ж "Bell Labs", в якому вже інтенсивно розробляли елементи пам'яті на основі "магнетних доменів". Про якусь світло-

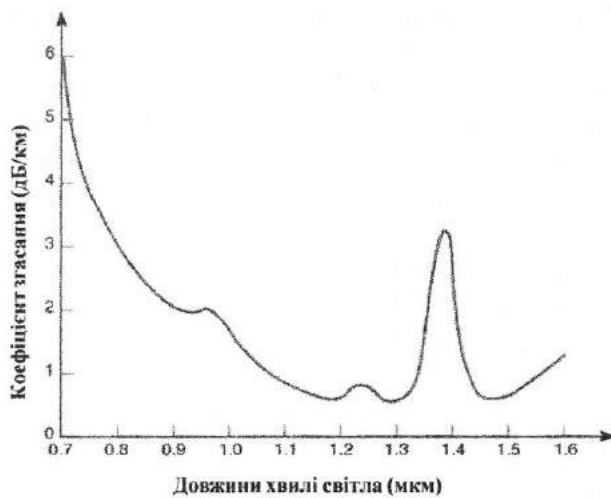


Рис. 2. Залежність коефіцієнта згасання в кварцевому оптоволоконі від довжини хвилі світла

чутливість поки не йшлося – завдання торкалося тільки пристрою для зберігання і зчитування інформації.

В. Бойл і Дж. Сміт 17 жовтня 1969 року взяли за це завдання і буквально упродовж години зобразили на дошці прототип потрібного пристрою із зарядовим зв'язком. Головним його елементом є найпростіша МОН-структура (“метал–оксид–напівпровідник”), що складається з металевого шару і шару напівпровідника, розділених тонким прошарком ізолятора, звичайно оксиду кремнію. Напівпровідник при цьому вибирають такий, в якому основними носіями заряду є дірки, тобто напівпровідник *p*-типу. До металевого “острівця” може прикладатись потрібна напруга.

Роль одиниці інформації в такому пристрої має відігравати хмаринка електронів. Проте берегти її в напівпровіднику *p*-типу просто так не вийде: дірки тут же набіжать і всі вільні електрони рекомбінують. Тому вимагається створити невелику ділянку, в якій дірок буде дуже мало, і водночас зробити так, щоб електрони нікуди з цієї ділянки не розбігалися. Обидві ці вимоги задовольняються одним способом, якщо на металевий електрод подати додатну напругу. Під дією створеного електричного поля дірки через свій позитивний заряд залишать ділянку, розташовану під електричним полем, а електрони – навпаки, будуть у ній перебувати і нікуди не йти. Утворюється “пастка для

електронів”, в якій зберігається інформація. Якщо в пастці є електрони – в комірці записана “одиниця”, якщо немає – “нуль”.

Втім, тут же виникає запитання: як зчитувати цю записану інформацію? Якщо тільки зняти додатну напругу, електронна хмаринка зникне внаслідок рекомбінації. Для цього В. Бойл і Дж. Сміт придумали метод зчитування інформації, який назвали зарядовим зв'язком (рис. 3).

Нехай маємо ланцюжок з МОН-структур – така одновимірною ПЗЗ-матриця. До кожного елемента пам'яті підходять електроди, між елементами пам'яті є допоміжні неінформаційні МОН-структури. Під час зберігання інформації в інформаційних комірках на них подана потрібна напруга, а на допоміжних – ні. Тоді на сусідні допоміжні комірочки – нехай на ту, що праворуч – теж подається додатна напруга, і в результаті кожна “пастка для електронів” розширюється на дві комірочки. У наступний момент напругу з початкових комірок знімають, “пастка для електронів” знову стискається, але при цьому вона вже переміститься на крок праворуч, і всі електрони перемістяться за нею. Отже, інформація в усіх елементах пам'яті синхронно зсунеться праворуч. Так продовжується цикл за циклом, а на виході з цього ланцюжка МОН-структур буде електричний струм у вигляді цифрового електричного сигналу.

Для двовимірної ПЗЗ-матриці принцип зчитування аналогічний. Із самого нижнього рядка (і лише з нього одного) зчитується колонка бітів, так, як описано вище. Тоді вся матриця зсувається на один крок донизу, з нижнього рядка знову зчитується інформація і т. д. Отже в дуже компактній напівпровідниковій схемі за допомогою єдиного пристрою, що детектує заряд, який прийшов, можна послідовно, рядок за рядком, отримати в цифровій формі весь масив даних.

Досі йшлося про зчитування інформації. Проте цю інформацію зовсім не обов'язково туди записувати – вона може виникнути там під час опромінювання ПЗЗ-матриці світлом. Це відбувається тому, що напівпровідник має ще одну унікальну властивість – світлочутливість. Фотони світла, потрапляючи всередину напівпровідника, якщо їхня енергія більша від ширини забороненої зони, породжують у ньому пари електронів і дірок. Якщо такий процес відбувається в МОН-струк-

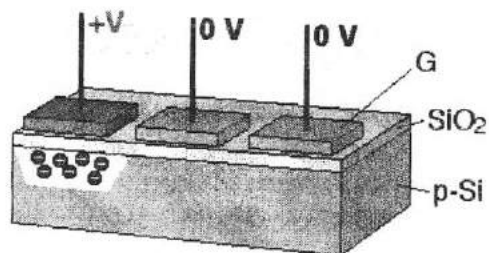


Рис. 2. Принцип роботи зарядового зв'язку в ПЗЗ-матриці

турі, в межах спочатку порожньої “пастки для електронів”, то електрони осідають у ній, а дірки дрейфують геть. У результаті з часом у пастці нагромаджується заряд, пропорційний до поглиненого світлового потоку (кількості квантів). Отже, ця МОН-структура працює як світлочутливий піксель з великим діапазоном градацій яскравості. І якщо тепер у процесі зчитування інформації пристрій не просто детектуватиме відсутність або наявність заряду в черговому елементі пам'яті, а й зможе виміряти заряд, що накопичився, то в нас вийде справжнє оптичне зображення, записане відразу в цифровому вигляді.

Звичайно, сучасні ПЗЗ-матриці набагато досконаліші, ніж ця найпростіша схема. Сучасна ПЗЗ-матриця вміє розрізняти кольори, знає, як уникнути переповнення “пасток для електронів”, так і сама вона побудована за вдосконаленою напівпровідниковою технологією.

ПЗЗ-матриці широко застосовують у компактних цифрових фото- і відеокамерах. Мініатюрні розміри ПЗЗ-матриць привели до революції в медицині, оскільки значно розширили і діагностичні (наприклад, за різних варіантів ендоскопії), і оперативні можливості лікаря. Завдяки ним розвинулася техніка мінімально інвазивної хірургії (лапароскопія). До того ж, нині ПЗЗ-матриці широко використовують не лише для детектування видимого випромінювання, а й в інших ділянках спектра, зокрема їх застосовують у малодозних цифрових рентгеновських установках. ПЗЗ-матриці використовують у детекторах для реєстрації елементарних частинок, що народжуються в сучасних колайдерах. Їх також використовують у всіх сучасних телескопах, зокрема й космічних.

Але все це розпочалося із здогадки Бойла і Сміта про те, як зберегти і послідовно передавати “хмаринки електронів” у напівпровідниках.

Універсальний фізик-теоретик — академік Віталій Гінзбург

Нобелівський лавреат з фізики 2003 року, академік Російської Академії наук, фізик-теоретик Віталій Лазаревич Гінзбург на 93-му році життя помер 8 листопада 2009 року в Москві. Його поховали на Новодівичому цвинтарі.

Віталій Гінзбург народився 4 жовтня 1916 року в Москві. Закінчивши школу фабрично-заводського учнівства, він 1938 року закінчив фізичний факультет Московського державного університету, 1940 року захистив кандидатську дисертацію з фізики, далі перейшов працювати до Фізичного інституту ім. Лебедева АН СРСР, де й продовжував працювати до кінця життя. Академік В. Гінзбург створив та очолив кафедру проблем фізики і астрофізики в Московському фізико-технічному інституті.

В. Гінзбург написав понад 400 наукових праць і 10 монографій, присвячених теоретичним питанням фізики, фізиці зір і плазми, походженню і властивостям космічного випромінювання, розповсюдженню радіохвиль, вивченню космосу за допомогою радіотелескопів.

Академік В. Гінзбург 2003 року отримав Нобелівську премію з фізики за дослідження явищ надплинності і надпровідності, що спостерігаються за наднизьких температур. Він став одним з провідних універсальних фізиків-теоретиків другої половини ХХ сторіччя.





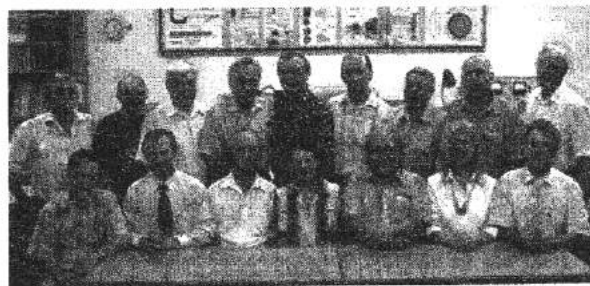
Фізичний факультет Таврійського національного університету. Головні віхи розвитку

О. В. Воляр,

*доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач кафедри загальної фізики Таврійського
національного університету ім. В. І. Вернадського*

В. І. Шостка,

*кандидат фізико-математичних наук, доцент
кафедри загальної фізики Таврійського
національного університету ім. В. І. Вернадського*



Керівний склад фізичного факультету

Таврійський університет – перший вищий навчальний заклад Криму, був заснований у часи громадянської війни за ініціативи губернського земства та місцевих органів самоврядування. В його організації брали участь видатні вчені, зокрема брати Павлови, директор Никітського ботанічного саду, член-кореспондент Російської академії наук Микола Кузнецов, корифеї математики Дмитро Граве, Микола Крилов, видатні фізики Абрам Йоффе, Ігор Тамм, Яків Френкель та інші.

У грудні 1917 року в Ялті за ініціативи професорів Київського університету ім. Св. Володимира М. Крилова та М. Довнар-Запольського було прийнято рішення про відкриття в Лівадії філіалу Київського університету.

З травня 1918 року почались заняття в аудиторіях фізико-математичного факультету, як тоді називався фізичний факультет. Факультет мав два відділення: математичне та природознавче. Кабінет фізики математичного відділення очолював проф. Л. Кардиш, один з найталановитіших фізиків-теоретиків. Його наукові праці присвячені питанням гравітації, спектроскопії, теорії рентгєнівських променів, надпровідності, теорії дисперсії білого світла та теорії відносності. В ті часи тут працювали А. Йоффе, І. Тамм, Я. Френкель, М. Крилов, М. Тихомандрицький, О. Байков, В. Вернадський, навчалися майбутні акад. І. Курчатов, К. Синельников та інші.

Кабінет фізики 1921 року очолив проф. Семен Усатий, який взяв на роботу в фізичний кабінет талановитих студентів К. Синельникова та І. Курчатова. Зустріч та робота з проф. Усатим відіграла велику роль в їхньому становленні як майбутніх учених. Навчаючись в університеті, студенти Курчатов та Синельников слухали лекції Абрама Йоффе, Володимира Смирнова, Миколи Крилова, Михайла Франка, Лева Вишневецького, приват-доцента Якова Френкеля. Я. Френкель був яскравим лектором, він міг зрозуміло та наглядно пояснити фізичні явища.

Практичні заняття вів Ігор Тамм. Його глибокий аналітичний розум, логіка, вміння використання математичного апарата зробили великий вплив на формування фізичного та інженерного світогляду майбутніх фахівців. Оптику викладав Іван Тіхановський, який приїхав до Криму з Ташкенту, а хемію – проф. Олександр Байков, який на початку 1921 року змінив на посаді ректора акад. Володимира Вернадського.

У 1924 році кабінет фізики був реорганізований в Фізичний інститут. Завідував інститутом проф. Іван Тіхановський (1924–1930), а у 1930–1956 роках – проф. Микола Лебедев. Основні наукові напрями досліджень інституту мали велике значення для Криму: актинометрія, метеорологія та оптика атмосфери. При Фізичному інституті 1926 року було засновано оптичну станцію Академії



наук, на якій почали досліджувати сонячну радіацію, інтенсивність, поляризацію, атмосферно-оптичних ефектів. Із 1928 року почали проводити аерологічні експерименти за допомогою куль. Препаратором фізичної лабораторії 1928 року працював майбутній академік, лауреат Нобелівської премії Ілля Франк, згодом тут навчався та працював Кирило Щьолкін.

У 1927–1929 роках курси з математики, термодинаміки та методики викладання фізики читала проф. Тетяна Афанасьєва-Еренфест, дружина відомого фізика Пауля Еренфеста. Астрономію викладав проф. Євген Скворцов.

В інституті проводили “семінарії”: основи квантової оптики, основи теорії відносності та нової квантової механіки, основи електронної теорії і теорії кванта. Щорічно 14 грудня в інституті відзначали “День народження гіпотези кванта” (у цей день 1900 року Макс Планк уперше виступив з доповіддю про нову ідею квантової фізики).

У вересні 1927 року відбувся V Сольвеевський конгрес фізиків. До Сімферополя проф. Т. Афанасьєвій-Еренфест прийшов лист від П. Еренфеста, на якому були підписи усіх на той час фізиків – лауреатів Нобелівської премії: Айнштейна, Бріллюена, Паулі, Бреґга, Фаулера, Бора, Дебая, де Бройля, Шредінґера, Гайзенберґа та інших. Сімферополь та фізичний інститут, завдяки Т. Афанасьєвій-Еренфест, став відомим у наукових колах світу. Традиції, які вона заклала, знайшли своє продовження і в сьогоденні, що підтверджується багаточисленними конференціями та школами, організатором яких є Таврійський університет.

У 1930–1988 роках інститут очолював проф. Лев Ваґін, а у 1938–1956 роках – проф. Микола Лебедев. Хоча матеріальна база інституту знаходилась на провінціальному рівні, професорсько-викладацький склад вів навчальну та дослідницьку роботу за вибраними напрямками на досить високому рівні.

За ці роки університет зазнав багато змін. Він був університетом, а з 1925 року – педінститутом, але фізичний інститут фізико-математичного факультету завжди був на передових теренах науки.

Кафедру фізики (так фізичний інститут став називатись 1948 року) 1956 року очолив канд. фіз.-мат. наук Рубен Бадальян. Він керував і кафедрою

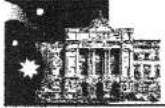


*Декан фізичного факультету
Коростеліна Тамара Анатоліївна*

і фізико-математичним факультетом Кримського державного педагогічного інституту понад двадцять років.

У 1972–1977 роках він очолював фізичний факультет Сімферопольського державного університету, який був створений у лютому 1972 року на базі педінституту. Це при ньому були створенні кафедра астрономії та викладання фізики, кафедри експериментальної фізики та геофізики, математичної фізики та фізики твердого тіла. Були створені лабораторії росту кристалів, сформува-лись школи з квантової електроніки, магнетизму та магнетних матеріалів, почало працювати конструкторське бюро “Домен”. У цей період фізичний факультет поповнили молоді вчені – доктори наук А. Хлистов, А. Дрокін, Е. Колесніков, А. Свідзинський та інші.

Кафедру загальної фізики (так у Сімферопольському університеті називалась кафедра фізики) 1975 року очолив доц. Л. Кучикян, який перший в університеті почав займатися госпдоговірними науково-дослідницькими роботами. Кошти, що заробили учені факультету, дали змогу значно поліпшити матеріально-технічну базу університету та факультету. Була створена база для наукового та професійного росту молодих викладачів та аспірантів. У 1986 році було організовано кафедру радіофізики та електроніки, яку очолював на той час ректор університету Олександр Шеїн, а в 1989 році – кафедру прикладної термодинаміки (завідувач кафедри проф. Іван Стадник).



Нині на факультеті працює 12 докторів наук, професорів, понад 30 кандидатів наук, доцентів. Почесне звання “Заслужений діяч науки та техніки України” мають проф. В. Бержанський та Е. Терез; “Заслужений працівник освіти АРК” – проф. О. Воляр, Ю. Фрідман, доц. Л. Кузнецова, В. Паненко, Г. Козік; “Заслужений вчитель України” – доц. М. Карпенко, “Заслужений вчитель АРК” – доц. Т. Коростеліна. Членами Академії наук АРК є проф. О. Воляр, В. Бержанський, Е. Терез; членом-кореспондентом НАН України – проф. І. Стадник.

Кафедру комп’ютерної інженерії було створено 2006 року (завідувач кафедри проф. А. Скатков). Нині сім кафедр здійснюють підготовку фахівців за напрямками: “Фізика”, “Прикладна фізика”, “Радіофізика і електроніка”, “Комп’ютерна інженерія”. У підготовці фахівців беруть участь 16 лабораторій, центр комп’ютерних технологій ТНУ, Кримська астрофізична обсерваторія, відділ функціональних матеріалів та волоконної оптики КБ “Домен”.

На факультеті працює Спеціалізована Рада із захисту дисертацій за напрямками “Магнетизм”, “Фізика твердого тіла”, “Оптика”.

Кафедра загальної фізики – перша і основна кафедра фізичного факультету – була заснована в травні 1918 року як кабінет фізики математичного відділення фізико-математичного факультету. Засновником кафедри був Абрам Йоффе – видатний учений, засновник фізико-технічного інституту в Ленінграді (нині Санкт-Петербург, Росія). Її завідувачами були проф. Леон Кардиш, проф. Семен Усатий, проф. Іван Тіхановський, проф. Лев Вагін, доц., згодом проф. Микола Лебедев, доц. Рубен Бадальян, доц. Леонід Кучикян. З 1999 року кафедру очолює проф. Олександр Воляр.

На кафедрі працювали видатні вчені та організатори науки: акад. А. Йоффе, Герой соціалістичної праці, президент Академії наук СРСР; чл.-кор. АН СРСР Я. Френкель; лавреат Нобелівської премії, Герой соціалістичної праці, акад. І. Тамм; лавреат Нобелівської премії акад. І. Франк; проф. Т. Афанасьєва-Еренфест; проф. В. Кастров; проф. І. Попов, ректор Кримського педінституту (1947–1952), засновник та перший директор Інституту біофізики Землі та інші видатні вчені. Найвідоміші



Колектив кафедри загальної фізики

випускники кафедри – акад. АН СРСР І. Курчатов, Тричі Герой Соціалістичної праці, керівник ядерного проекту в СРСР; акад. АН УРСР К. Синельников, директор Харківського фізичного технологічного інституту АН УРСР; чл.-кор. АН СРСР Тричі Герой Соціалістичної праці К. Щолкін; д-ри наук В. Черепанов, П. Лойцяньський, І. Попов, В. Кастров, О. Воляр, В. Хвостіков та інші.

Упродовж усього періоду роботи кафедри проводились дослідження в галузі оптики, напівпровідників, оптики атмосфери, люмінесценції. З 1973 року, коли кафедру очолив Л. Кучикян, вчені та співпрацівники кафедри першими в університеті почали займатися госпдоговірними роботами в галузі квантової електроніки та волоконної оптики, що дало змогу створити потужну матеріально-технічну базу для організації досліджень та підготовки висококваліфікованих фахівців із квантової електроніки, волоконної та інтегральної оптики.

Основний напрям наукових розробок та досліджень кафедри – дослідження широкого різноманіття оптичних лінійних та нелінійних явищ для розробки і удосконалення приладів та елементів квантової електроніки, волоконної та інтегральної оптики.

Проф. О. Воляр, очоливши кафедру, 1999 року створив новий напрям досліджень із сингулярної та нелінійної оптики. Під його керівництвом успішно захистили дисертації С. Лапаєва, Т. Фадєєва, В. Шведов, Ю. Єгоров, К. Олексіїв, Я. Іздебська. Під керівництвом Т. Фадєєвої захистив дисертацію О. Олексіїв.



*Завідувач кафедру загальної фізики, професор,
доктор фізико-математичних наук О. Воляр*

Одним з основних результатів цього наукового напрямку є теоретичне та експериментальне дослідження вихоревого складу волоконної моди. Вперше була розкрита спін-орбітальна природа поля оптичного волокна та досліджено її впливу на поширення оптичних вихорів. (О. Воляр, Т. Фадєєва). Розроблено найчутливіший інтерферометричний волоконно-оптичний вимірювач температур на основі керованого оптичного вихору з температурною чутливістю понад $200 \text{ рад/м} \cdot \text{К}$, що захищений патентами України (О. Воляр, Т. Фадєєва, О. Олексіїв).

З 1990 року на кафедрі ведуться теоретичні та експериментальні дослідження хвильових каустик (О. Воляр, С. Лапаєва). Розроблено оригінальну методику генерування одиничних оптичних вихорів та сингулярних пучків у видимому та інфрачервоному діапазонах (О. Воляр, В. Шведов, Я. Іздебська). Розроблено експериментальну установку для захоплення та транспортування мікрооб'єктів з розмірами до 200 мкм . Розроблено методику та створено установку для формування та керування монохроматичними і поліхроматичними оптичними вихорами, які поширюються крізь систему оптичних кристалів (О. Воляр, Ю. Єгоров, О. Рибась).

Ще одним з напрямів діяльності кафедри є дослідження нелінійних процесів поширення світла в діелектричних аморфних середовищах, в діелектричних резонаторах та в оптичних світловодах з різним профілем показника заломлення. Проводять дослідження нелінійних хвиль та оптичних

імпульсів з різними топологічними структурами, вихореві світлі та темні солітони (І. Дзедолік, С. Лапаєва, В. Вершицький). На підставі класичної та квантової моделей сконструйовано вихореві імпульсні вимірювачі фізичних величин та оптичні логічні елементи, на які одержані патенти України. За матеріалами досліджень видано монографію І. Дзедоліка "Поляритони в оптичних волокнах та діелектричних резонаторах" (2007).

За останні роки співпрацівники кафедри опублікували майже 1000 наукових праць в українських та іноземних журналах. Кафедра тісно співпрацює з Інститутом фізики НАН України (м. Київ), Інститутом радіоелектроніки (м. Харків), Інститутом фізичної оптики (м. Львів), Фізико-технічним інститутом ім. А. Йоффе РАН (м. Санкт-Петербург, Росія), Російським інститутом прикладної математики ім. Стеклова (м. Санкт-Петербург, Росія), Київським, Чернівецьким, Харківським, Санкт-Петербурзьким політехнічними інститутами, також з відділенням сингулярної оптики Аризонського університету (США), з відділом лазерної фізики Австралійського університету (м. Камбера) та багатьма іншими провідними науковими та навчальними закладами світу.

Наукові дослідження кафедри загальної фізики отримали визнання не лише в Україні, а й за кордоном. Проф. О. Воляр виступає рецензентом у наукових журналах "Journals of Physics", "Optics Letters", "Optics Express", "Optics Communications" та інших, є членом редколегії журналу "Ukrainian Journals of Physical Optics"; доц. В. Шостка є членом редакційної ради журналу "Crimean Holidays", членом журі конкурсів, олімпіад творчої молоді, студентства. Кафедра займається популяризацією досягнень сучасної науки, пропагує історію фізичного факультету Таврійського національного університету, творчих та наукових шляхів його працівників і випускників (В. Шостка).

Викладачі, аспіранти та студенти кафедри беруть участь в організації та проведенні міжнародних конференцій: "Singular Optics", "Nonlinear of Liquid and Photorefractive Crystals, NOLPC", "The International Conference on Advanced Optoelectronic and Lasers" (CAOL), "Modern Problems of Humanization and Harmonization of Management" та багатьох інших.



На кафедрі створено студентські відділення міжнародних наукових установ SPIE та OSA. Кафедра та фізичний факультет 14 жовтня 2008 року відзначили своє 90-річчя.

Кафедра фізики твердого тіла засновано 1972 року. Першим її завідувачем у 1972–1988 рр. був проф. О. Хлистов, у 1988–1989 рр. – проф. В. Пивоваров, у 1989–1993 рр. – проф. В. Селезньов. З 1997 року кафедру очолює д-р фіз.-мат. наук, доц. М. Стругацький.

На кафедрі склалися наукові напрями: магнето-акустика та поверхняний магнетизм, фізика сегнетоелектричних матеріалів та пористих алюмосилікатів (О. Яценко, О. Сапіга). Із 1997 року при кафедрі діє лабораторія росту кристалів (М. Стругацький, С. Ягупов).

У межах госпдоговірних робіт з провідними науковими центрами, наукових програм та грантів у лабораторії розробляють технології газотранспортного синтезу, вирощують монокристали магнетних феродіелектриків. З найважливіших результатів треба відзначити розробку технології формування кристалів бората заліза $Fe_{1-x}M_xVO_3$. Синтез збагачених по ізотопу ^{57}Fe монокристалів бората заліза став основою для створення нового методу досліджень твердого тіла – магнетної месбаурографії. Комплекс, який створено в лабораторії, дає змогу синтезувати та обробляти профільні монокристали сапфіру, що широко використовують у науці, техніці та медицині.

У співпраці з кафедрою магнетизму МДУ досліджено поверхневий магнетизм бората заліза (М. Стругацький). Виявлено, що на поверхні не-

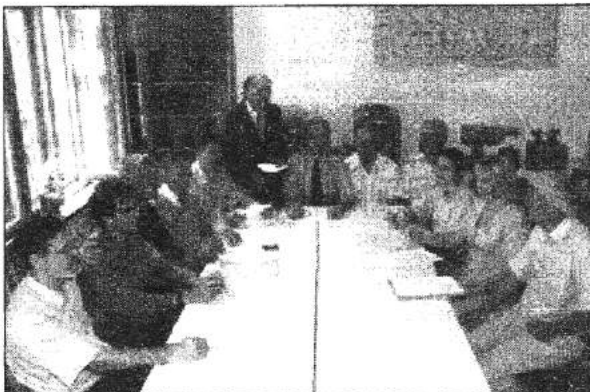


Завідувач кафедрою фізики твердого тіла, доктор фізико-математичних наук М. Стругацький

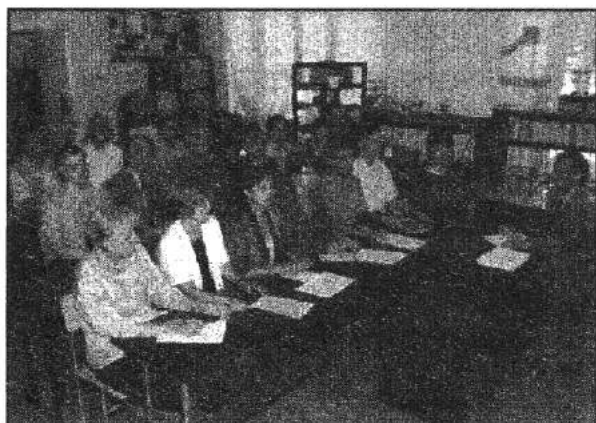
базисних граней кристалу спостерігається лабіринтна доменна структура, аналогічна доменній структурі ЦМД-матеріалів (А. Прокопов, В. Селезньов, М. Стругацький, С. Ягупов). Це дає змогу використовувати такі магнетики для запису, збереження та опрацювання інформації.

Разом із Інститутом радіоелектроніки НАН України проведено комплексні дослідження магнетного двозаломлення звуку в бораті заліза. Створено теорію двозаломлення звуку в бораті заліза за різних тисків (М. Стругацький, К. Скибинський), яка знайшла використання під час розроблення нових приладів – магнетоакустичних детекторів.

Ще одним напрямом наукових досліджень кафедри є дослідження структури та фізичних властивостей сегнетоелектричних матеріалів і пористих алюмосилікатів. Роботи ведуться у співпраці з Інститутом фізики Сибірського відділення РАН (м. Красноярськ, Росія), з Інститутом неорганічної хімії Сибірського відділення РАН (м. Новосибірськ, Росія). Були розроблені та виготовлені спектрометри ЯМР для дослідження впливу якості структури кристалів на спектри ЯМР квадрупольних ядер (М. Сергійв, Д. Рябушкін, С. Популях, О. Сапіга, О. Яценко). Досліджено особливості структури $LiNbO_3$, які визначають чинники довгочасної пам'яті (О. Яценко). Кафедра співпрацює з Інститутом фізики Санкт-Петербурзького університету (Росія), Щецинським університетом (Польща), Інститутом фізики НАН України (м. Київ),



Колектив кафедри фізики твердого тіла



Колектив кафедри експериментальної фізики

Національним університетом “Львівська політехніка”, Інститутом проблем матеріалознавства НАН України (м. Київ) та іншими.

Кафедру експериментальної фізики засновано 1975 року. Її засновником та першим завідувачем був проф. О. Дрокін – представник відомої в усьому світі Красноярської школи акад. Л. Киренського. З 1990 року кафедру очолює проф. В. Бержанський.

З прибуттям до Криму проф. О. Дрокіна з групою своїх учнів та співпрацівників СВ АН СРСР (І. Пухова, В. Щербакова, В. Селезньова, згодом М. Сергіїва та В. Бержанського) в університеті розпочали підготовку фахівців з фізики магнетних явищ.



Завідувач кафедрою експериментальної фізики, професор, доктор фізико-математичних наук В. Бержанський

У межах договору з МДУ лабораторії з атомної та ядерної фізики оснащуються унікальними приладами (Ю. Сорокін, В. Власов, В. Толтов, М. Сергіїв). Модернізуються лабораторії механіки та молекулярної фізики (А. Панкєєва, Л. Червенчук), лабораторії з електрики (Т. Метляєв, В. Чуклов). Створено навчально-наукові лабораторії магнетних досліджень (О. Дрокін, І. Пухов, В. Щербаков, В. Бержанський).

На базі лабораторії магнетних плівок 1979 року сформовано підрозділ Фізичного Інституту ім. П. О. Лебедева (С. Пухова). У 1980 році відкрили відділення НДТІП з експериментальними базами в Сімферополі та Саках. На його базі 1989 року сформовано науково-дослідницький технологічний інститут функціональної мікроелектроніки.

У 1981 році було організовано спеціальне конструкторське бюро “Домен”. Великий внесок у роботу бюро внесли в різні роки М. Грошенко, В. Бержанський, В. Чистов, Г. Орлов, Ю. Кузьмін.

Магнетні дослідження розширювалися щорічно, було розвинуто такі напрями: радіоспектроскопія (В. Щербаков, М. Сергіїв, О. Яценко, Г. Абеляшев, Д. Рябушкін, С. Полулях), магнетні напівпровідники (В. Бержанський, І. Евстаф'єв), магнетооптика (М. Грошенко, С. Дубинко), синтез ЦМД-матеріалів. У дослідженнях фізики магнетних явищ брала участь група теоретиків на чолі з доцентом, а нині проф. Ю. Мицасм (Ю. Фрідман, В. Бутрім, А. Майорова, Н. Шахова). Співпрацювали з кафедрою проф. О. Хлистов та В. Селезньов з кафедри твердого тіла.

КБ “Домен” 2004 року реорганізували у відділ функціональних матеріалів та волоконної оптики. Ведуться розробки в галузі магнетооптичних матеріалів та приладів на їхній основі (В. Вишневський, А. Прокопов, О. Недвига, О. Шумилов), наукового та технологічного приладобудування (О. Шапошніков), волоконнооптичних приладів (Г. Басиладзе, О. Долгов).

Кафедра активно бере участь в організації та проведенні міжнародних наукових конференцій у Криму. Далеко за межами України відома міжнародна конференція “Функціональні матеріали”, у якій беруть участь учені зі всього світу.

У 1995 році на кафедрі було відкрито інженерну спеціальність “Прикладна фізика” зі спеціалізацією “Наукоємні фізичні технології”.



Колектив кафедри теоретичної фізики

Співпрацівники кафедри займаються винахідницькою діяльністю, вони є авторами понад 40 винаходів та патентів. На кафедрі вперше запропоновано метод багатоквантової ехоспектроскопії, розроблено теорію та вивчено ядерну спінову динаміку (Г. Абеляшев, В. Бержанський, С. Полулях, М. Сергіїв), розроблено електродинамічні основи радіо поглинаючих покриттів (В. Пономаренко), сконструйовано сенсорні магнетооптичні прилади, магнетометри, ультразвукові хірургічні інструменти (В. Кокоз, В. Бержанський, В. Вишневський, С. Дубинко, Т. Метляєв, Т. Власова, С. Журавльов, І. Лагунов, Д. Ляшко). Розроблено оригінальне програмне забезпечення для опрацювання зоряних спектрів (Д. Ляшко), сконструйовано месбауєрівський спектрометр (Ю. Сорокін) та багато інших.

У 2005–2007 роках кафедра ініціювала україно-польську співпрацю з дослідження багатоквантових ефектів у магнетиках, бере участь у програмах “ECONET” та “ДНІПРО” разом із Францією. Кафедра співпрацює з Ecole de Lille та Інститутом мікроелектроніки і нанотехнологій (Lille, France), з Університетом штату Техас (США) та іншими країнами.

За останні роки в межах напрямів досліджень кафедри захищено 9 докторських (В. Селезньов, М. Сергіїв, Ю. Мицай, В. Пономаренко, В. Бержанський, Ю. Фрідман, О. Яценко, М. Стругацький, С. Полулях) та понад 30 кандидатських дисертацій.

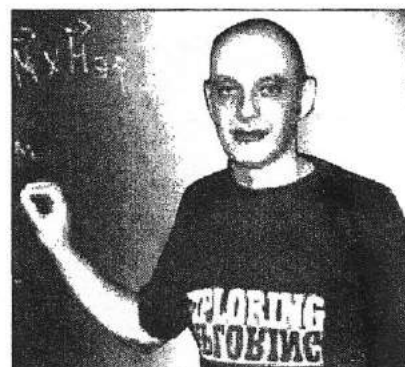
У межах кримської магнетної школи працює Рада із захисту кандидатських дисертацій (керівник В. Бержанський).

Кафедру теоретичної фізики засновано 1975 року на базі кафедри математичної фізики. Її завідувачем упродовж багатьох років був проф. А. Свідзинський – відомий учений, учень та продовжувач традицій наукової школи М. Боголюбова. На кафедрі існує декілька наукових напрямів досліджень, зокрема фізика надпровідності та теорія систем з сильним магнетним порядком. Очолює ці напрямки з 1998 року проф. Ю. Фрідман, до нього – Ю. Мицай. Із 1994 року кафедру очолював проф. Л. Аріфов, фахівець у галузі гравітації. На кафедрі також розвивають наукові напрями: теорія струн, сингулярна оптика.

Кафедру теоретичної фізики із 2005 року очолює проф. Ю. Фрідман. Під його керуванням захистили дисертації та працюють на кафедрі молоді талановиті теоретики: кандидати наук Ф. Клевець, О. Космачев, О. Кожем'яко, Д. Матюнін, Д. Спірін.

К. Олексіїв заклав основи дослідження поширення оптичних вихорів в оптичних волокнах. Працюючи в цьому науковому напрямі, М. Яворський захистив дисертацію. Результати досліджень одержали світову підтримку, їх видано окремою монографією в Нью-Йорку “Lasers, Optics and Electro-Optics Research Trends”.

Кафедра підтримує контакти з Київськими інститутами фізики, магнетизму, теоретичної фізики НАН України, з Науковим центром НАН України, з Донецьким фізико-технічним інститу-



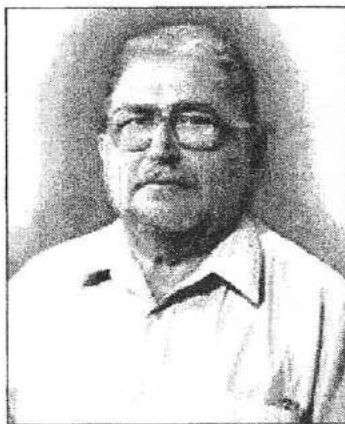
*Завідувач кафедрою теоретичної фізики,
професор, доктор фізико-математичних наук
Ю. Фрідман*



Колектив кафедри прикладної електродиніміки

том, Волинським державним університетом ім. Лесі Українки (Луцьк), Об'єднаним інститутом ядерних досліджень (Дубна, Росія), Красноярським інститутом фізики ім. Л. В. Киренського РАН (Росія), Інститутом теоретичної фізики (Грац, Австрія), Національним університетом Швеції (Стокгольм), Інститутом фізики Жешувського університету (Польща), Американським математичним співтовариством (м. Анн-Арбор, штат Мічиган, США) та багатьма іншими.

Кафедру прикладної електродиніміки створено 1989 року. Отже, 2009 року їй виповнюється 20 років. Очолює кафедру проф. І. Стадник. Основні наукові напрями: розроблення ефективних методів розрахунку електромагнетних полів для оптимізації конструкції електродвигунів та елект-



Завідувач кафедрою прикладної електродиніміки, професор, доктор технічних наук І. Стадник

ромагнетів; методів синтезу магнетних систем для використання під час конструювання роторів електричних машин тощо. За останні роки, крім теоретичних напрацювань, розроблено нові оптимальні конструкції роторів електричних машин, які привносять характеристики існуючих машин на 30–40%. Втілено у виробництво понад 50 авторських свідоцтв та патентів.

За роки існування кафедри підготовлено та захищено одну докторську (І. Стадник), п'ять кандидатських (В. Мілюков, М. Клевець, А. Телегін, О. Гримальський, О. Коломиєць). О. Гримальський нині доктор наук (Росія), О. Коломиєць – доктор філософії (США).

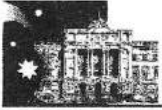
Кафедра підтримує зв'язки з Інститутом електродиніміки НАН України, Інститутом проблем моделювання в енергетиці НАН України, Південноросійським державним технічним університетом (Росія), фірмою “Аеротек” (США) та іншими.

Кафедру астрономії та методики викладання фізики заснував 1918 року відомий астроном Людвіг Струве.

У 1977 році її організовано в Сімферопольському державному університеті на базі кафедри методики викладання фізики та технічних засобів навчання. Першим завідувачем був доц. К. Альбін. Ініціатором створення кафедри виступив доц. Е. Терез (нині д-р наук, проф.), який перейшов до університету з Кримської астрофізичної обсерваторії АН СРСР. Він був другим після К. Альбіна завідувачем кафедри. У 1980 році на кафедрі відкрили спеціалізацію “Астрофізика”, яка дає змогу упродовж тридцяти років формувати висококваліфікованих фахівців з астрономії.

Внесок у розвиток кафедри зробили такі відомі вчені-астрономи як академік НАН України, чл.-кор. РАН, проф. М. Стещенко (Кримська астрофізична обсерваторія), проф. А. Загородніков (Головна астрономічна обсерваторія ім. А. І. Воейкова), проф. І. Колесник (Головна астрономічна обсерваторія НАН України), проф. В. Шабанський (фізичний інститут ім. П. М. Лебедєва РАН), проф. П. Щеглов (МДУ, Росія). У 1988 році на базі кафедри було створено відділ астрофізики і фізики атмосфери.

Із 2002 року кафедру очолює доц. В. Кувшинов. На кафедрі працюють заслужений діяч нау-



Завідувач кафедрою астрономії та методики викладання фізики, кандидат фізико-математичних наук В. Кувшинов

ки і техніки України, член Міжнародної геофізичної Ради, лавреат премії АРК проф. Е. Терез, заслужений учитель України, декан фізичного факультету, доц. Т. Коростеліна, заслужені працівники освіти АРК доц. Л. Кузнєцова, В. Панченко.

На кафедрі розвинуто чотири основні напрями досліджень: фізика зоряних атмосфер; подвійні зоряні системи на різних стадіях еволюції; дослідження параметрів земної атмосфери оптичними методами; розробка методики викладання фізики в середній та вищій школі.

Кафедра співпрацює з багатьма університетами та науковими закладами України та іноземними науковими закладами: Кримською астрофізичною обсерваторією МОН України, Одеським національним університетом, Московським та Санкт-Петербурзьким державними університетами (Росія), Тартуським університетом (Естонія), Інститутом астрономії Віденського університету (Австрія), Університетом м. Ужала (Швеція), Університетом Західного Онтаріо (Канада), Корейським інститутом астрономії та фізики космосу, інститутом м. Планка (Німеччина), відділом астрономії Університету м. Кіото (Японія) та багатьма іншими.

Кафедру радіофізики та електроніки засновано 1986 року. Організатором кафедри та її першим завідувачем був проф. О. Шеїн. На різних етапах існування кафедри вагомий внесок зробили проф. А. Брунс, доц. Б. Бондаренко, Е. Умеров, О. Ткаченко, Є. Григор'єв, М. Глумова, Є. Таран.

З 1991 року кафедру очолює д-р фіз.-мат. наук В. Старостенко. Основою її наукової діяльності є створення математичних моделей фізичних приладів СВЧ-діапазону.

Підготовка фахівців ведеться за напрямами: напівпровідникова електроніка, СВЧ-техніка, телекомунікації, математичне моделювання фізичних процесів в електронних приладах.

За всі роки існування кафедра підготувала понад 800 фахівців, які працюють не лише в Україні, а й за кордоном. При кафедрі існує аспірантура. Основні напрями наукової діяльності кафедри – експериментальне та теоретичне дослідження процесів взаємодії високо інтенсивних імпульсних електромагнетних полів з мікроструктурними елементами напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем; дослідження систем формування електронних пучків різної інтенсивності, шумових характеристик електровакуумних та напівпровідникових приладів та інші.

Кафедра співпрацює з багатьма науковими та навчальними закладами України, Росії, Білорусі, зокрема з Харківським та Київським університетами, Харківським національним університетом радіоелектроніки, Інститутом радіофізики та електроніки (Харків), Інститутом фізики напівпровідників НАН України, науково-виробничим об'єднанням "Оріон" (Київ).

У 2001 році було створено спеціалізацію "Комп'ютерні мережі та системи", а 2006 року реорганізовано в кафедру "Комп'ютерна інженерія", готує фахівців з обчислювальної техніки для виробництва та науки, телекомунікації та освіти.



Завідувач кафедрою радіофізики та електроніки, доктор фізико-математичних наук В. Старостенко

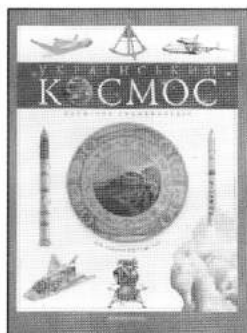
Лукіянець Б. А., Понеділок Г. В., Рудавський Ю. К. Основи квантової фізики. Навчальний посібник. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 420 с.

Викладено основи квантової фізики, яка становить органічну частину курсу загальної фізики і відповідає програмі інженерно-технічних та фізико-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Поряд з традиційними для курсу фізики темами розглянуті окремі прикладні використання квантової фізики. Для демонстрації практичного використання фізичних принципів та математичного апарата квантової фізики розв’язано задачі різного рівня складності. Мінімальний довідковий матеріал з фізики і математики, потрібний для вивчення основ квантової фізики, подано у додатках. Буде корисним як вступ до спеціальних дисциплін інженерних напрямів підготовки, зорієнтованих на сучасні наукоємні технології.

Рекомендовано для студентів інженерно-технічних та фізико-технічних спеціальностей університетів.



В. Чередниченко, С. Грабовський, В. Аблицов, В. Гаркуша, І. Малкович. Український космос. Космічна енциклопедія. – Київ: Видавництво Івана Малковича “А-БА-БА-ГА-ЛА-МА-ГА”, 2009. – 46 с.



Упродовж тисячоліть астрономи вивчали безмежні простори Всесвіту, спостерігаючи за небом із Землі. Небачених успіхів астрономія досягла завдяки космонавтиці. Це грецьке слово означає “космічні польоти” (у багатьох країнах вживають термін “астронавтика” – зоряні польоти). Космонавтика вбирає в себе найпередовіші винаходи людства і швидко розвивається.

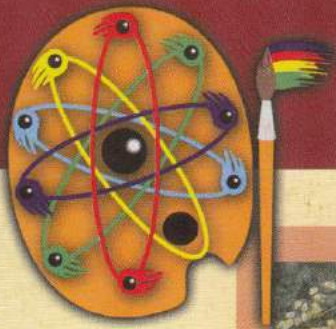
Серед прославлених творців ракетно-космічної техніки було і є багато українських фахівців. На жаль останнім часом усі здобутки радянської космонавтики Росія з якогось дива приписує виключно собі, забуваючи, що радянські космічні успіхи значною мірою були й українськими. Прочитавши цю книжку, Ви дізнаєтесь про вагомий внесок українців в освоєння безмежних космічних просторів. Завдяки нашим космічним геніям – Ю. Кондратюку, С. Корольову, В. Глушку, М. Янгелю, В. Челомею та іншим ми маємо всі підстави пишатися українськими космічними досягненнями. Наші співвітчизники не тільки створили чудову пісню “Дивлюсь я на небо та й думку гадаю: чому я не сокіл, чому не літаю...”, а й зуміли втілити цю пісню в життя...

ШАНОВНІ ЧИТАЧІ!

Не забудьте передплатити
науково-популярний журнал “Світ фізики”,
попередні числа видання можна замовити
в редакції журналу за адресою:



вул. Саксаганського, 1,
м. Львів, 79005, а/с 6700;
Phworld@franko.lviv.ua



**Петро
ХОЛОДНИЙ**
(1876–1930)
Дівчина і пав.
1915 р.

Петро Холодний – визначний маляр-імпресіоніст з нахилом до ліризму, неовізантіст, живописець, художник-монументаліст, графік, проєктант ужиткового мистецтва, педагог, за фахом фізик-хемік.

Народився 18 грудня 1876 р. у Переяславі. Родичі Петра Холодного з боку матері були художниками-іконописцями, які працювали переважно на Полтавщині.

Гімназію він закінчив у Києві. Відвідував вечірні заняття у Київській рисувальній школі Миколи Мурашка. Закінчивши 1897 р. природознавчий факультет Київського університету за спеціальністю математика та мінералогія, викладав у Київській технічній школі на кафедрі фізики.

З 1906 р. був директором комерційної школи у Києві, а з березня 1917 р. – директором першої української гімназії в Києві. Восени 1917 р. працював в уряді УНР на посаді товариша міністра освіти, а згодом – міністра.

Ще в 1910 р. на виставці українського мистецтва в Києві без відома художника були показані його роботи. Це стало початком його мистецької кар'єри. В тих роках він створив картини: "Дівчина і пав", "Івасик і відьма", "Вітер", "Катерина", "Похмурий день" та ін.

Після ліквідації УНР, Петро Холодний разом з її урядом емігрував на Західну Галичину.

Львівський період був найбагатший у творчості Холодного. Він почав малювати ікони, виконувати розписи стін і проєктувати вітражі. У 1924–1930 рр. працював над оздобленням однієї з найкращих пам'яток ренесансної архітектури Львова – Успенської церкви, для якої виконав ікони та вітражі.

Помер Петро Холодний 1930 р. у Варшаві.

У Національному музеї Львова 1931 р. відбулася посмертна виставка робіт художника, на якій було показано понад 350 його творів.