

С В І Т

ФІЗИКИ

науково-популярний журнал

№4
2006



*Світ складається з таємниць,
які не можна відкрити в один день:
природа не показує нам їх усіх разом...*

*Наш час пояснив деякі з цих таємниць
і майбутнє продовжуватиме нашу справу*

Луцій Сенека

**ЧИ НАСПРАВДІ В УКРАЇНІ
ФІЗИКА НАД ПРІРВОЮ?**



Вітаємо **ОЛЕКСУ-МИРОНА БІЛАНЮКА**

Редакційна колегія журналу “Світ фізики” щиро вітає президента Української вільної академії наук у США, академіка Національної академії наук України, члена Наукового товариства імені Шевченка, Почесного доктора Львівського національного університету імені Івана Франка, члена редколегії журналу “Світ фізики”, професора Олексу-Мирона Біланюка з ювілеєм, бажає йому доброго здоров'я, успіхів і щасливого творчого довголіття.



Професор Олекса-Мирон Біланюк з колективом кафедри теоретичної фізики фізичного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка



Професор Олекса-Мирон Біланюк виступає на науковому семінарі у Львівському національному університеті імені Івана Франка

“За значний особистий внесок у збереження національних історико-культурних надбань, подвижницьку діяльність і сприяння поверненню в Україну безцінних архівних документів та творчої спадщини видатних співвітчизників указом Президента України від 02.03.07 року (№ 164/2007) Олексу Біланюка, президента Української вільної академії наук у США в 1998–2006 роках, доктора наук, громадянина США нагороджено орденом “За заслуги” III ступеня.

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:

Олекса Біланюк
Михайло Бродин
Петро Голод
Семен Гончаренко
Ярослав Довгий
Іван Климишин
Юрій Ключковський
Богдан Лукіянець
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) 96 46 73
у Києві 380 (044) 416 60 68
phworld@franko.lviv.ua; sf@ktf.franko.lviv.ua
www.franko.lviv.ua/publish/phworld

Від яблука до Місяця

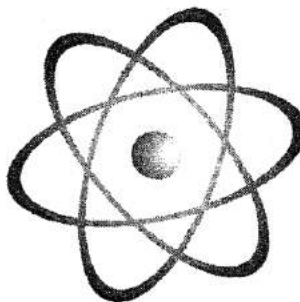
"...погляньмо, що робив Ісаак Ньютон, коли трішки подорослішав. 1661 року він вступив до Триніті-коледжу (коледжу Святої Трійці) в місті Кембриджі.

В Англії університетське навчання також ґрунтується на аристотелівських традиціях, але в бібліотеках легко можна знайти твори нових дослідників природи. Ньютон завдяки своїй допитливості читає все, що йому трапляється, а це не мало! "Геометрія" Декарта, твори Бойля, атомістична теорія Гассенді, публікації Кеплера й Галілея.

Читає Ньютон дуже швидко. Відомо, що на 1665 рік, коли він мусив залишити університет і переховуватися від епідемії чуми в селищі. Ньютон уже знав усі ці праці, до того ж, він їх докладно вивчав. На час переїзду молодому вченому було лише 23 роки.

Упродовж двох років (1665–1666), які Ньютон проводить у селі, він вчиться, думає, пише, розмірковує, фантазує, поглиблює свої знання, творить... робить усе, але не сидить, очікуючи яблука, яке мало б упасти йому на голову!..."

*(Із книжки А. Парізі, А. Тонелло.
Провідна нитка. На порозі атома)*



**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"

ЗМІСТ

1. Нові та маловідомі явища фізики

Проскура О. Нотатки до 100-річчя квантового формулювання закону фотохімічної еквівалентності

Литовченко Володимир. Система для кристалічних тіл, подібна до Менделєєвої – як це можливо?

Чінарова Лідія. Симбіотичні зорі

3

12

18

2. Фізика України

Фізик різнобічних зацікавлень (до 75-річчя від дня народження Володимира Литовченка)

24

3. Фізика світу

Пляцко Р., Шона Г. Він завжди повертається в Україну

26

4. Нобелівські лавреати

Шона Г. Закономірності чи випадковості

28

5. Олімпіади, турніри...

Анісімов Ігор. 5-й відкритий Всеукраїнський студентський турнір фізиків

Умови задач V Всеукраїнського студентського турніру фізиків (2006)

29

32

6. Актуальні проблеми

Знищення фізики або над прірвою гуманітарної катастрофи

34

7. В допомогу вчителю

Кондратенко А. П., Кондратенко М. О. Досліди з геометричної оптики, дифракції та спектроскопії

37

Паславський Р. Скрипка би не грала, якби не той смичок...

39

8. Реальність і фантастика

Мельничук О. Погляд на світ елементарних частинок

43

9. Інформація

Природа "швидкого" звуку у воді

46

10. Фізика для наймолодших

47



Нотатки до 100-річчя квантового формулювання закону фотохімічної еквівалентності

Олександр Проскура

кандидат фізико-математичних наук

(Берлін, Німеччина)

Мета цієї статті – розглянути історію відкриття основного закону фотохімії, а також показати становлення квантового формулювання закону фотохімічної еквівалентності на підставі праць видатних дослідників початку ХХ сторіччя – Йоганеса Штарка, Альберта Айнштейна та Олександра Гольдмана. Автор проаналізував публікації в наукових журналах та доступні для вивчення архівні матеріали. Такий підхід дає змогу, зокрема, повніше ввести до контексту досягнень світової науки праці засновника Інституту фізики НАН України академіка О. Гольдмана.

Ще за сивої давнини люди помітили тісний зв'язок між життям і світлом. Ці знання про невіддільність життя від світла різними, доступними людству способами, до яких згодом долучились і наукові, передавалися наступним поколінням.

За участю світла відбуваються найрізноманітніші природні явища. Сонячне світло – основний чинник органічного життя на нашій планеті. Накопичення сонячної енергії рослинами на Землі також здійснюється завдяки фотохімічним реакціям. Тому не дивно, що впродовж сторіч дослідженню фотохімічних реакцій природодослідники особливої ваги надавали.

Чіткі висловлювання про потребу поглинання світла рослинами для набуття ними зеленої барви та для їхнього трапляються вже в працях античних греків і в працях Аристотеля (384–422 до Р. Х.), який потемніння людської шкіри також відніс до дії сонячного світла. Такі явища, як чутливість до світла деяких фарб для малювання та знебарвлення полотен під дією світла віддавна були надбанням широкого загалу в побуті.

Середньовічні алхіміки, пробуючи добути золото з неблагородних речовин та в пошуках “quinta essentia”, встановили, що для виготовлення розчинів із певними хімічними властивостями потрібне сонячне світло. Вони ж застерігали, що в інших дослідах треба уникати дії світла. Вже в ХІІ сторіччі їм була відома fotocутливість солей золота та срібла.

Згодом винахід камери-обскури сприяв достовірнішим спостереженням фотохімічних реакцій. Перше надійне повідомлення про fotocутливість нітрату срібла з'явилося 1694 року, після чого публікації про fotocутливість нітрату та хлориду срібла швидко множились. Стало можливим за допомогою світла виділяти срібло з його солей і виготовляти зображення предметів та шрифтів.

З ІСТОРІЇ ФІЗИКИ...

ІХ ст. до Р. Х. Гомер у “Іліаді” описав, як по ланцюжку берегових маяків передавали інформаційне повідомлення про повернення флоту Агамемнона. У ХХ ст. Ричард Генніг (1908) обчислив, що відстань, на яку передавали повідомлення становила 600 км.

640 р. до Р. Х. Аристотель у книжці “Метафізика” згадав Сейласа з Мілети (Thales Miletus) (біля 625–546 до Р. Х.), як першого дослідника статичної електрики і магнетизму, який дійшов висновку, що деякі предмети (магнетні камені і бурштин) володіли внутрішньою “душею”.



У 1790–1820-х роках було знайдено багато фоточутливих речовин та відкрито різні фотохімічні реакції, тоді ж розпочалось інтенсивне вивчення особливостей відповідних процесів. 1808 року Гей-Люссак (Louis Joseph Gay-Lussak, 1778–1850) і Тенар (Louis Jacques Thenard, 1777–1857) спробували порівняти дію світла і теплоти на протікання хімічних реакцій і дійшли висновку, що дія теплоти не може замінити дії світла. Описуючи чутливість гримучого газу (газова суміш хлору та водню) до світла, вони зіслались на гіпотезу Румфорда (Sir Benjamin Thompson Rumford, 1753–1814). За гіпотезою Румфорда дія світла під час фотохімічних реакцій може полягати в дуже великому підвищенні температури найменших локальних об'ємів у речовині з незначним нагріванням масиву речовини. Посилаючись на цю гіпотезу, Нодак навіть припустив у публікації 1933 року [1], що Румфорда слід уважати попередником квантової теорії. Проте від гіпотези Румфорда до створення квантової теорії в її сучасному вигляді дослідникам треба було ще подолати довгий шлях фундаментальних досліджень і на цьому шляху насамперед встановити основні закони фотоелектричних явищ та фотохімічних реакцій, а далі виробити й утвердити ключове поняття – енергетичний світловий квант.

Наукове зацікавлення фотохімічними реакціями помітно зросло після винаходу фотографії, еру якої відкрив Даргер (Louis Jacques Mande Daguerre, 1787–1851) 1838 року, і внаслідок розвитку якої стало можливим після 1873 року розширити спектральну чутливість фотоматеріалів. Це розширення світлочутливості від фіолетової та синьої ділянок

у бік довших хвиль на зелену, жовту, червону спектральні ділянки здійснювалось шляхом підмішування до бромистого і хлористого срібла речовин, які поглинають довгохвильове світло.

Гротгус (Theodor Freiherr von Grottguss, 1785–1822) 1817 року наголосив, що умовою хімічної дії світла на речовину є проникнення світла в речовину та поглинання світла цією речовиною. Це припускали й інші дослідники. Гротгус аргументував своє припущення тим, що в його дослідках синій розчин йодованого крохмалю змінював при сонячному освітленні своє забарвлення на жовто-зелене. Хоча Гротгус виявив якісний зв'язок між зміною забарвлення освітлюваної речовини та її опроміненням, однак він не сформулював достатньо чітко правила про те, що хімічно подіяти на речовину може тільки абсорбоване речовиною проміння. Точніше формулювання запропонував 1845 року Драпер (John William Draper, 1811–1882): “З кожною зумовленою світлом хімічною зміною тіла неодмінно поглинаються промені певної довжини, а без поглинання фотохімічні перетворення взагалі неможливі”. Отже, в фотохімії виникло правило Гротгуса-Драпера.

Згодом було встановлено, що для перебігу фотохімічних реакцій в речовині важливою може виявитись, що в ній міститься незначна домішка так званого сенсibilізатора, який хоча й поглинає світло, однак хімічно на світло не реагує. Про це явище вже згадано вище. Лишимо це явище, цікаве в науково-історичному та практичному планах, осторонь основної теми й обмежимося надалі розглядом так званих первинних фотохімічних реакцій. У них світло є каталізатором реакцій і приш-

З ІСТОРІЇ ФІЗИКИ...

427 р. до Р. Х. Грецький історик Цісидій (Thucydides) (біля 460–400 до Р. Х.) у книжці “Хронологія Пелопонеської війни” описав застосування берегових маяків для попередження спартанського флоту про наближення ворога.

150 р. до Р. Х. Давньогрецький історик Полибій (Polybius) (біля 200–120 до Р. Х.) описав “факельний” телеграф.

30 р. до Р. Х. Римський поет Марон Публій Вергілій (Vergilius) (70–19 р. до Р. Х.) у героїчному епосі “Енеїда” описав “візуальний синхронний телеграф”.



видшує або сповільнює їхній хід, не змінюючи їхнього перебігу. Прикладом такої первинної фотохімічної реакції під дією світла є реакція з гримучим газом.

Саме з гримучим газом важливі дослідження з кінетики фотохімічної реакції виконали в Гайдельберзі впродовж 1855–1859 років хеміки Бунзен (Robert Wilhelm Bunsen, 1811–1899) та його учень Роско (Sir Henry Enfield Roscoe, 1833–1915). Вони подолали настільки великі експериментальні труднощі, що засновник фізичної хемії Оствальд (Wilhelm Ostwald, 1853–1932) оцінив їхню працю як майстерну. Бунзен і Роско дослідили дію світла на реакцію $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{HCl}$ і досягли успіху тим, що контролювано виводили продукт реакції за межі реакційної камери, в якій концентрація компонентів реакції підтримувалась незмінною. Бунзен та Роско встановили, що кількісно величина продукту реакції прямопропорційна інтенсивності освітлення та тривалості експозиції, тобто прямопропорційна величині затраченої на реакцію світлової енергії. Висновок про те, що величина продукту фотохімічної дії світла залежить від добутку інтенсивності світла на тривалість освітлення, Бунзен та Роско поширили 1862 року також на явище почорніння світлочутливого паперу під дією світла.

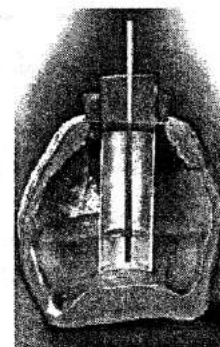
Проблема природи світла та його взаємодії з речовиною виявилась центральною фізичною проблемою в XIX та на початку XX сторіччя. В ті часи ще не існувало задовільної теорії фотохімічних процесів. За уявленнями про електромагнетні хвилі та світлові коливання висловлювались гіпотези про електричні зворушення в освіт-

люваній речовині [2]. На теоретичному рівні фотохімічні процеси поставили хвильову теорію світла перед парадоксом: експерименти показували, що визначальним чинником у цих процесах є довжина хвилі світла, а не інтенсивність світла, як це передбачалось за теорією. Радикальний перехід до сучасного розуміння природи фотохімічних реакцій став можливим після прийняття природодослідниками ідеї про те, що світлова енергія квантується.

Ідею про квантування енергії постулював 1900 року Планк (Max Planck, 1858–1947, Нобелівська премія з фізики 1918 року). Ця нова основоположна ідея відіграла визначальну роль у розвитку теорії фотохімічних реакцій. Праця Планка та опублікована 1905 року гіпотеза Айнштайна (Albert Einstein, 1879–1955, Нобелівська премія з фізики 1921 року) про світлові кванти знаменували еволюцію фізики від класичної до модерної. Спираючись на уявлення про кванти, Штарк (Johannes Stark, 1874–1957, Нобелівська премія з фізики 1919 року) 1908 року заявив, що для здійснення фотохімічної реакції потрібне поглинання атомом кванта світлової енергії [3]. Штарк розглянув висновки, які випливали з його засадничої гіпотези про те, що пряма хемічна дія світла на речовину полягає у вивільненні валентних електронів. Він висловив думку про те, що під час вивільнення валентного електрона відповідно до квантового закону поглинається більша світлова енергія, ніж енергія зв'язку валентного електрона. За Штарком у такому разі відокремлення валентного електрона від окремого атома або дисоціація “здвоєного” атома має називатись прямою пер-

З ІСТОРИЇ ФІЗИКИ...

Між 250 р. до Р. Х. і 250 р. Р. Х. “Багдадська батарея” було створена майже 2000 років тому. “Банку” знайдено в Куджут-Рабу (Khujut Rabu) в околицях Багдаду. Це була глиняна посудина, в якій знаходився мідний циліндр, закритий корком із бітума. Крізь корок пропущено залізний стрижень. Якщо посудину заповнити винним оцетом, то “батарея” генерує е.р.с. майже 1,1 В. Вірогідних даних про застосування “банки” не збереглося, але науковці схиляються до думки, що її могли використовувати для нанесення позолоти.





винною фотохімічною реакцією, оскільки вона зумовлена поглинанням світла на окремому валентному електроні. У статті [3] Штарк сформулював три закони. Третій з них полягає в тому, що: кількість речовини, що за одиницю часу первинно перетворюється завдяки хімічному поглинанню світла, пропорційна до інтенсивності світла, тобто первинно перетворена кількість речовини пропорційна кількості поглинутого світла. Має бути відповідність між кількістю світлових квантів і величиною поглинутої світлової енергії та, з іншого боку, кількостями вивільнених валентних електронів та хімічно перетвореної речовини.

Проголошена видатними фізиками нова квантова ідеологія вимагала експериментального підтвердження. Кількісний аналіз дії світла на хімічні процеси був проблематичний ще до першої декади ХХ сторіччя. Це було зумовлено браком прецизійних фотометричних методик та складністю детектування малих кількостей речовини, що беруть участь у хімічних реакціях.

Очевидну складність розуміння природи фотохімічних реакцій узагальнив Айнштайн 1909 року запитаннями: "Чому існування або відсутність фотохімічної реакції залежить тільки від кольору і не залежить від інтенсивності світла? Чому короткохвильове проміння хімічно взагалі значно ефективніше від довгохвильового проміння?"

Шукати відповіді на ці запитання Айнштайн почав ще до 1905 року. В знаменитій теоретичній праці [4], надрукованій 1905 року, який на честь Айнштайна було названо "роком незвичайним" (*Annus mirabilis*), він, не відкинувши електромагнетної теорії світлових хвиль, висунув згадану вище перспективну гіпотезу світлових квантів, які згодом назвали фотонами. Айнштайн припустив, що світлові кванти володіють порцією енергії

$\Delta E = h\nu$, де h – стала Планка, а ν – частота світлових хвиль. Дехто з провідних фізиків сучасності вважає саме цю працю Айнштайна найважливішою в його науковому доробку. Показово, що в ній Айнштайн запропонував квантову теорію світла так, що вона відображала експериментально встановлені закони зовнішнього фотоелектричного ефекту. Айнштайн спирався на досліди Ленарда (Philipp Lenard, 1862–1947) з фотоефекту та на теоретичні погляди Друде (Paul Drude, 1862–1906) про електронний газ у металах.

На підставі власної гіпотези про світлові кванти Айнштайн у праці [4] розглянув також йонізацію газу ультрафіолетовим опроміненням. Умову йонізації він вбачав у тому, щоб "робота йонізації молекули не перевищувала енергії поглинутого світлового кванта". Тоді максимальну кількість j дисоційованих молекул можна обчислити за формулою $j = L/\Delta E$ діленням поглинутого газом величини світлової енергії L на величину енергії фотона ΔE з достатньою для дисоціації молекули частотою. До своїх ранніх досліджень взаємодії між світлом та речовиною Айнштайн повернувся 1912 року, надрукувавши статтю про закон фотохімічної еквівалентності [5].

У праці [5], де Айнштайн теоретично довів закон фотохімічної еквівалентності, він протилежно до своєї ранньої праці про світлові кванти не спирався на квантову гіпотезу, яка, до речі, ще не була підтверджена експериментально, а ґрунтував свої висновки на припущенні, що хімічна дія радіації залежить тільки від її енергії. Айнштайн обмежився розглядом випадку з радіацією малої густини потоку в межах справедливості закону Віна для теплового випромінювання абсолютно чорного тіла. Він запропонував нове дове-

З ІСТОРИЇ ФІЗИКИ...

500 р. Ліхтарики, які піднімали повітряними зміями, використовували в Китаї як засіб зв'язку під час облоги міста Нанкін.

1588 р. Англійці успішно застосовували систему сигнальних вогнів під час відбивання нападу Іспанської Армади.



дення формули Віна для теплового випромінювання чорного тіла і ввів до цієї формули стали Планка і квант енергії. Свою працю Айнштайн доповів 27.03.1913 на конференції Французького фізичного товариства в Парижі [6]. У доповненні [7] до статті [5] Айнштайн проаналізував поглинання молекулою світла, а також “незвичайну” термодинамічну рівновагу між радіацією та фотохімічно активною речовиною; у подальшому це привело його до концепції спонтанного та індукваного випромінювань. Розвиток зацікавлення Айнштайна проблемами фотохімії, аналіз його листування з цього приводу з друзями, зокрема, Бессо (Michele Besso, 1873–1955), колегами та експериментатором Варбургом (Emil Warburg, 1846–1931), від якого Айнштайн отримав 03.02.1912 повідомлення стосовно підтвердження ним закону фотохімічної еквівалентності, докладно розглянуто в зібранні його праць [8].

Коли Айнштайн опублікував 1912 року статтю [5], Штарк нагадав про власну роботу, опубліковану 1908 року, та наголосив на своєму пріоритеті у відкритті закону фотохімічної еквівалентності. Того ж року Айнштайн і Штарк обмінялись в науковому журналі “Annalen der Physik” репліками стосовно пріоритету. Їхня суперечка закінчилась зауваженням [9] Айнштайна про те, що закон фотохімічної еквівалентності – цілком очевидний наслідок гіпотези світлових квантів, яку він висловив значно раніше, ще 1905 року в [4].

З приводу дискусії між Штарком і Айнштайном про науковий пріоритет цікаво ознайомитись із коментарем Франка (James Franck, 1882–1964, Нобелівська премія з фізики 1925 року). Зауважмо, що Франк не тільки особисто знав Штарка і його праці, а й підтримував добрі стосунки з Айнштайном, з яким, до речі, обговорив доцільність

їхньої еміграції з Німеччини до США і форму публічного оголошення про такий крок. У політично вмотивованій заяві на ім’я призначеного нацистами прусського міністра освіти Франк про свої плани звільнитись із посади ординарного професора і директора 2-го Фізичного інституту Геттінгенського університету 17.04.1933 відверто висловив протест проти настановлення уряду до німецької єврейської громади. Щодо відкриття основного закону фотохімії, то з цього приводу Франк в інтерв’ю для Архіву квантової фізики в Берклі, США висловився 10.07.1962 так: “Штарк з будь-якого погляду був пилкою на нерви. Проте, з одного боку, я мушу сказати, що він мав добрі ідеї. До того ж ранні. Він мав ту ідею, що фотохімія – це квантовий процес. Не так ясно, як Айнштайн, але все ж таки він її мав”.

Значення праці Айнштайна для розвитку фотохімії належно поцінували науковці: для позначення кількості фотонів, які під час поглинання спричинюють фотохімічне перетворення одного моля речовини, була запропонована величина, яка дорівнювала кількості молекул у молі речовини і її назвали “один Айнштайн” [10].

Становленню квантового підходу в фотохімії сприяли також експериментальні дослідження Гольдмана (Олександр Генріхович Гольдман, 1884–1971). Гольдман розпочав студії в Київському університеті Святого Володимира (нині – Київський національний університет ім. Т. Шевченка) і продовжив їх у Ляйпцигському університеті в Німеччині. Тоді до Німеччини їхала талановита молодь, щоб здобути добру загальну і фахову фізичну освіту, оскільки Німеччина була світовим центром фізичних досліджень і експериментальних, і особливо теоретичних. Позицію лідера у світовій фізичній науці Німеччина утри-

З ІСТОРИЇ ФІЗИКИ...

1600 р. Англійський фізик і лікар Вільям Гільберт (William Gilbert) (1544–1603) у праці “Про магніт, магнітні тіла і про великий магніт – Землю” (1600) вперше розглянув магнетні й електричні явища. Він уперше вжив слова “електрика”, “електрична сила” і “електричне тяжіння”. У творах Гільберта багато якісних спостережень і безліч припущень, змішаних із фантастичними поясненнями в стилі середньовічних алхіміків. За ці дослідження Гільберта назвали “батьком електрики”.





мувала впродовж першої третини ХХ сторіччя.

У Ляйпцигському університеті у проф. Вінера (Otto Heinrich Wiener, 1862–1927), який 1895 року почав досліджувати проблеми кольорової фотографії, Гольдман виконав і 1908 року захистив дисертацію “Фотоелектричні дослідження комірок з розчинами барвників” [11]. Гольдмана до цих досліджень спонукали його вчителі в Київському університеті проф. Йосип Косоногов (1866–1922) і в Ляйпцигському університеті проф. Герман Шоль (Hermann Scholl, 1872–1923). У своїй дисертації історично першого фотогальванічного явища – так званого ефекту Беккереля – Гольдман прийшов до фундаментальних висновків про природу первинних фотохімічних реакцій. Дослідження, яке виконав Гольдман, вважають класичним.

Ефект Беккереля полягає у виникненні електрорушійної сили між двома металевими зануреними в електроліт електродами, один з яких освітлюється. Про групу явищ молодий Беккерель (Alexandre-Edmond Becquerel, 1820–1891) повідомив 1839 року на зборах Французької академії наук. Він використав електричні струми для дослідження хемічної дії сонячного світла. Для вимірювання інтенсивності світла Беккерель виготовив актинометр. Він пророчо припускав, що електричні струми, які виникають під впливом світла – фотоструми, мають стати засобом до вивчення фотохімічних процесів. Його припущення набагато випереджувало рівень тогочасних наукових досліджень, оскільки лише на початку ХХ сторіччя стало очевидним,

що вивчення ефекту Беккереля веде до з’ясування основних проблем фотохімії, а використання методики фотострумів приведе до важливих відкриттів у фізиці й до виникнення нових технологій. Справді, саме на висновках з фотоелектричних досліджень ґрунтується розвиток основних ідей сучасної фізики – з’ясування природи електрона і світла, а також розвиток основної проблеми фотохімії.

О. Гольдман встановив закони ефекту Беккереля та 1908 року обґрунтував положення про електронну природу цього явища і спорідненість його із зовнішнім фотоелектричним ефектом. 1914 року в двох публікаціях, одну з яких виконав спільно з Й. Бродським, Гольдман докладніше розвинув теорію Беккерелевого ефекту. В подальшому ця теорія знайшла своє віддзеркалення і розвиток у дослідженнях внутрішнього фотоелектричного ефекту.

Досліджуючи Беккерелів ефект, Гольдмана увів барвник до складу електроліту в комірці. О. Гольдман вивчив спиртові розчини шести барвників – еозин, уранін, ціанін, малахітовий зелений, родамін – і експериментально встановив закономірності, яким підлягає дія світла на барвники. Виходячи із встановлених ним законів Беккерелевого ефекту, Гольдман перейшов до пошуку загальних законів фотохімічних реакцій і до вивчення основної проблеми тогочасної фотохімії. В ті часи фотохіміки орієнтувались на теорію електромагнетного поля та виходили з того, що всі молекули певної речовини перебувають в однакових умовах і при поглинанні світлової енергії

З ІСТОРІЇ ФІЗИКИ...



1663 р. Німецький фізик, інженер і філософ Отто фон Геріке (Otto von Guericke) (1602–1686) винайшов вакуумну помпу (1650), одержав вакуум, вивчав роль повітря в процесі горіння та дихання. Здійснив відомий експеримент із Магдебурзькими півкулями (1654), в якому використав дві мідні півкулі діаметром майже 35,5 см, порожнисті всередині, притиснуті одна до одної. Після викачування повітря зі сфери, коні не змогли роз’єднати півкулі, які були зчеплені між собою лише зовнішнім тиском повітря. Він винайшов перший електростатичний генератор (1663), який генерував електрику завдяки тертя. Отто фон Геріке виявив (1672), що заряджена електрикою за допомогою генератора куля з сірки потріскує і світиться в темноті (перше спостереження електролюмінесценції), а також виявив електричне відштовхування.



однаково збільшують свою енергію. З цього випливав висновок, що при сталому освітленні мала б виникати стала електрорушійна сила ефекту Беккереля, однак тоді важко було б зрозуміти основний закон фотохімічних реакцій – швидкість фотохімічних реакцій пропорційна до освітленості. На цю обставину особливу увагу звернув Гольдман. Саме тому він розробив для свого дослідження ефекту Беккереля оригінальну методику, яка полягала у вимірюванні фотогальванічних струмів як первинного явища, оскільки виникнення електрорушійної сили Гольдман розглядав як вторинне явище. У його дослідах з фотогальванічними елементами і барвниками величина фотоструму майже не залежала від опору електричного кола.

Як основне Гольдман висунув твердження про те, що за одиницю часу під впливом світла перетворюється тільки деяка частина від наявних молекул, причому ці перетворення фундаментальні. Гольдман зробив висновок про те, що світло, концентруючи свої дії в світлочутливому середовищі на окремих молекулах, переводить за одиницю часу певну кількість молекул, пропорційну до величин освітленої поверхні та сили світла, в якісно новий відмінний від попереднього стану. Цю зміну стану розглядав Гольдман як первинний фотохімічний процес і як модерне обґрунтування основного закону фотохімії: швидкість фотохімічної реакції пропорційна до кількості захопленого за одиницю часу світла. Це твердження сформульовано в Гольдмана так: “За одиницю часу змінюється певна кількість молекул пропорційно до сили світла та освітлюваної поверхні”. Ці твердження спираються, зокрема на важливу закономірність, яку встановив Гольдман: величина фотоструму в досліджуваній комірці з барвником пропорційна силі світла та площі освітлюваної поверхні. У праці Гольдмана фотострум пов’язувався з вивільненими із молекул барвника електронами.

На науковому засіданні Фізичного інституту Ляйпцигського університету 1907 року Гольдман уперше доповів про результати власних експериментальних досліджень електричних струмів, що виникають під дією світла, та про нові висновки щодо фотохімічних процесів.

Висновки Гольдмана з фотохімічних і фотоелектричних досліджень досить швидко знайшли підтримку колег. П. Лазарев (Петро Петрович Лазарев, 1878–1942, академік АН СРСР) у Росії наголосив на важливості одержаного Гольдманом результату про те, що кількість вивільнених з барвника фотоелектронів, а отже, кількість речовини, що хімічно розклалась під дією світла, пропорційна до поглинутої світлової енергії (Новые идеи в физике/ Ред. И. И. Боргман. Сборник № 4, Действие света. – СПб.: Образование, 1912). Висновки з праць Гольдмана тривалий час цитували також у Німеччині [12, 13]. Гіпотеза Гольдмана про те, що в світлочутливому середовищі дія світла веде до утворення окремих молекул з енергетичним станом, відмінним від початкового, збігається по суті з сучасним визначенням первинного фотохімічного процесу.

О. Гольдман продовжив вивчення Беккерелевого ефекту в працях [14, 15], однак подальший розвиток його досліджень в Ляйпцигу було перервано початком Першої світової війни, і він був змушений виїхати з Німеччини як підданий ворожій державі.

В Україні на значенні висновків Гольдмана для утвердження квантової теорії фотохімії наголошувалось 1932 року на сесії Всеукраїнської академії наук [16]. Доречно зауважити, що одним із наслідків дослідження Гольдманом Беккерелевого ефекту стало те, що він в Україні започаткував дослідження з фізики та техніки напівпровідників. Збагачений європейським досвідом, Гольдман, повернувшись в Україну багато зробив також для вишколу національних педагогічних і наукових кадрів, заснував і перший очолив Інститут Фізики НАНУ в Києві, а 1929 року його обрали дійсним членом Академії наук УРСР. Однак 1938 року Гольдмана було заарештовано згідно з розпорядженням московської централі НКВС. Попри тортури Гольдман не визнав себе винним в інкримінованих йому всесильними чекістами злочинах проти держави. Його без розгляду справи в суді постановою так званого “Особого Соповещанія” було вислано з України, до якої він зміг повернутись тільки за багато років після арешту. Факти арешту і заслання Гольдмана, проти якого було висунуто історично традиційне зви-



нувачення в антидержавній діяльності українського націоналіста, не могли не вплинути на деяке застереження у ставленні до нього адміністрації та до оцінювання його наукової спадщини. До вивчення його наукового спадку в Україні звернулись лише наприкінці ХХ сторіччя [17–20]. Життя ж і діяльність наукового генія Айнштейна, який став символом демократії ХХ сторіччя, давно є предметом інтенсивних досліджень. Айнштейн використав можливість емігрувати з Німеччини до США і так уникнув переслідувань з боку нацистів, які прийшли в Німеччині до влади на початку 1933 року.

Що ж до ідеолога “німецької фізики” та члена нацистської партії Штарка, то після 1933 року влада сприяла його службовій кар’єрі. Хоча Штарка було призначено керівником провідного Фізико-технічного Інституту в Берліні, однак німецька наукова громадськість поставилась до його політичних переконань й організаційних намірів досить критично, і на зборах Німецького фізичного товариства його не обрали головою. Складні проблеми німецьких дослідників та наукових товариств, які були змушені пристосовуватись до умов тоталітаризму, докладно досліджено в [21].

За чверть сторіччя після захисту дисертації Гольдман своє ставлення до висновків з власної дисертації 1908 року описав так [16]: “Це нове уявлення про сконцентрування впливу світла на окремих молекулах було чітким відображенням експериментальних фактів всупереч уявленням фотохіміків того часу ... і в певній мірі попередила славетну Айнштейнову працю 1912 року, в якій Айнштейн подав фотохімічний закон еквівалентності. Дальший розвиток, що його підґрунтя заклали Айнштейнові праці, зміцнив у фотохімії квантове пояснення фотохімічних реакцій і тим ствердив правдивість згаданого висновку з моєї праці 1908 р.” Ці думки Гольдман повторив і 1947 року в неопублікованому рукописі. Ствердно про внесок Гольдмана до формулювання основного закону фотохімії – закону фотохімічної еквівалентності йшлося також у доповіді члена-кореспондента АН УРСР П. Г. Борзяка на урочистих зборах Вченої ради Інституту фізики АН УРСР, присвяченій 80-річчю О. Г. Гольдмана, який після

реабілітації на той час уже повернувся до свого Інституту фізики, організував та очолював у ньому відділ електролюмінесценції.

Автор сердечно вдячний доцентіві З. О. Шиліній за довголітнє сприяння під час вивчення архівних матеріалів її батька – академіка О. Г. Гольдмана. Щиро дякує також шановним колегам – останньому аспірантові О. Г. Гольдмана директоріві Державного фонду фундаментальних досліджень Б. Р. Киякові та вченому секретареві Інституту фізики НАН України В. С. Манжарі за вагомую допомогу під час написання праці.

Література

1. W. Noddack. Photochemie // Handbuch der Physik. 2. Auflage. Quantenhafte Ausstrahlung. Band XXIII. Erster Teil. – Berlin, Verlag von Julius Springer, 1933. – S. 321–360.
2. W. Nernst. Theoretische Chemie. Funfte Auflage. – Stuttgart: Verlag von Ferdinand Enke, 1907.
3. J. Stark. Weitere Bemerkungen über die thermische und chemische Absorption im Bandenspektrum // Physikalische Zeitschrift. 1908. – Band. 9. – Nr. 25. – S. 889–894.
4. A. Einstein. Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt // Annalen der Physik, 1905. Vierte Folge. Band 17. – S. 132–148.
5. A. Einstein. Thermodynamische Begründung des photochemischen Äquivalentgesetzes // Annalen der Physik. 1912. Vierte Folge. Band 37. – S. 832–838.
6. A. Einstein. Deduction thermodynamique de la loi de l'équivalence photochimique // Journal de physique. 1913, 3, 277–282. Також: The collected papers of Albert Einstein. Princeton University Press, 1995, – Vol. 4. – P. 287–293.
7. A. Einstein. Nachtrag zu meiner Arbeit: “Thermodynamische Begründung des photochemischen Äquivalentgesetzes” // Annalen der Physik. 1912. Vierte Folge. – Band 38. – S. 881–884.
8. Einstein on the law of photochemical equivalence // The Collected Papers of Albert Einstein. Senior Editor A. J. Cox, 2005. – Princeton University Press. – Vol. 5. – P. 111–113.
9. A. Einstein. Antwort auf eine Bemerkung von J. Stark: “Über eine Anwendung des Planckschen Elementargesetzes...” // Annalen der Physik. 1912, Vierte Folge. – Band 38. – S. 888.
10. K. F. Bonhoffer, P. Harteck. Grundlagen der Photochemie. – Dresden-Leipzig: Verlag Steinkopf, 1933.



11. A. Golmann. I. Lichtelektrische Untersuchungen an Farbstoffzellen // *Annalen der Physik*, 1908. Vierte Folge. – Band 27. – Nr. 13. – S. 449–536.
12. J. Plotnikow. Allgemeine Photochemie. – Berlin und Leipzig: Verlag Walter de Gruiter & Co, 1936.
13. P. Gorlich. Photoeffekte, Band 1. Historische Entwicklung Photoemission der Metalle. – Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G, 1962.
14. A. Goldmann, J. Brodsky. Zur Theorie des Becquereleffektes. I. Lichtelektrische Untersuchungen an oxydierten Kupferelektroden // *Annalen der Physik*. 1914, Vierte Folge. – Band 44. – Heft 6. – S. 849–900.
15. A. Goldmann. Zur Theorie des Becquereleffektes. II. Grundzuge einer lichtelektrischen Theorie des Becquereleffektes // *Annalen der Physik*. 1914. Vierte Folge. – Band 44. – Heft 6. – S. 901–915.
16. Акад. О. Г. Гольдман. Фотоелектричні явища, проблема перетворення світлової енергії на електричну та огляд праць з цих питань Українського науково-дослідного інституту фізики при ВУАН // *Всеукраїнська Академія Наук на службі соціалістичного будівництва*. Праці ювілейної сесії ВУАН, присвяченої 15-літтю Жовтневої революції. – Київ: Видавництво ВУАН, 1933.– С. 117–135, С. 132.
17. А. Н. Глебова, Ю. А. Храмов, А. Г. Гольдман-основоположник фізики и техники полупроводников в Украине (к 110-летию со дня рождения) // *Вестник Днепропетровского университета*. 1994. – Вып. 1. – С. 102–116.
18. Б. Кияк, О. Проскура. Доля академіка Олександра Гольдмана // *З архівів ВУЧК-ГПУ-НКВД-КГБ*. 1997. – № 1–2. – С. 253–262.
19. О. Проскура. О. Гольдман: “Я залишив як слід своєї праці великий дослідний інститут фізики...” – // *Вісник Національної академії наук України*. 2001. – № 12. – С. 31–38.
20. О. Proskura. Einst verbannt, heute verehrt. Der Physiker A. Goldmann. Zum Gedenken an meinen Lehrer. // *Journal Universitat Leipzig*, 2002. – Heft 6. – S. 31–32.
21. D. Hoffmann, M. Walker (Hrsg.). *Physiker zwischen Autonomie und Anpassung*. – Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2006.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

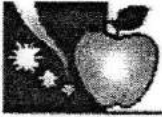
ЕВРОПЕЙСЬКІ АСТРОНОМИ ПОБУДУЮТЬ ДУЖЕ ВЕЛИКИЙ ТЕЛЕСКОП

Европейські астрономи запланували побудувати найбільший у світі телескоп (Extremely Large Telescope). Площа його головного дзеркала має бути вчетверо більша, ніж у всіх оптичних телескопів, побудованих дотепер. Діаметр телескопа – 42 метри. Його спорудження планують розпочати 2010 року.

Телескоп зможе розрізнити невеликі предмети на поверхні Місяця й найстаріші галактики у Всесвіті. Технологія виготовлення нового телескопа незвичайна, як і його можливості. На відміну від “монолітних оптичних деталей” більшості оптичних телескопів, його дзеркало складуть з невеликих сегментів, а “узгодженням” їхньої роботи керуватиме комп’ютер. Скільки знадобиться таких сегментів, поки невідомо.

Астрономи стверджують, що цей телескоп потрібний для пошуку планет за межами Сонячної системи. Досі такі дослідження найуспішніше здійснюють орбітальні телескопи невеликого діаметра. Зображення, отримані на них, не мають спотворень, які вносить атмосфера. А, створивши новий великий телескоп, науковці сподіваються ці перешкоди звести до мінімуму.

Нині існує декілька програм створення надвеликих телескопів, серед них 30-метровий каліфорнійський CELT, який європейці хочуть обігнати за розмірами. Де буде розташовано цей європейський телескоп, поки не відомо.



Система для кристалічних тіл, подібна до Менделєєвої – як це можливо?

Володимир Литовченко,

Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України

ВСТУП

Періодична система елементів Менделєєва (ПСЕ), яку було запропоновано понад сто років тому, зробила великий вплив на розвиток фізики, хемії та інших наук. Науковим підґрунтям для системи елементів, як відомо, є періодична залежність заповнення електронних станів для серії груп атомів. Бажано було б запропонувати аналогічну (з погляду систематизації) систему для кристалічних речовин. Природним шляхом для цього є використання, як базового, масштабного параметра кристалічного стану, а саме, постійної ґратки L або їй пропорційну величину міжатомної відстані $(r_A + r_B)$ у кристалі, яку визначають добре відомими з довідників валентними радіусами складових атомів: $r_A, r_B, r_C \dots$

Декілька спроб у цьому напрямі виявились безрезультатними: навіть для груп кристалів із узгодженими валентностями (тобто, коли сума валентних електронів одних атомів і незаповнених орбіт інших збігається), систематичні залежності параметрів кристалів (подібних ширині забороненої зони E_g та ін.) від L не спостерігались [1, 2]. Враховуючи це, доцільно розділити кристали на групи з подібними типами ґратки, та виділити характеристики, які визначаються енергетичними параметрами.

Проілюструймо результати аналізу типових для напівпровідників кубічних гранецентрованих кристалів (ГЦК), елементарна комірка якої має тетраедричну структуру. Це – алмазоподібні кристали та кристали зі структурою цинкової обманки. Далі цей клас речовин буде визначено як алмазоподібні кристали. Проілюструймо, що в цьому випадку для багатьох матеріалів можна кон-

статувати наявність монотонної залежності низки базових електронних параметрів кристалічних тіл, таких, як ширина забороненої зони E_g , енергії зон провідності, валентної зони та електронної спорідненості X_o , а також температури плавлення $T_{пл}$, мікротвердісті H та деяких інших величин – залежно від добре визначеного масштабного параметра кристала – постійної ґратки L . Зазначмо, що ця характеристика для кубічних кристалів може бути визначена з відносною похибкою (5–10 %) з валентних радіусів атомів, з яких складається структура, які є відомими табличними величинами [13, 14]:

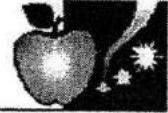
$$L = \frac{4}{\sqrt{3}} r \quad \text{– для одноатомних матеріалів,}$$

$$L = \frac{4}{\sqrt{3}} (x \cdot r_{VA} + y \cdot r_{VB}) \quad \text{– для двоатомних кристалів } AB,$$

$$L_{ABC} = \frac{4}{\sqrt{3}} (x \cdot r_{VA} + y \cdot r_{VD} + z \cdot r_{VC}) \quad \text{– для багатокomпонентних кристалів (де } x, y, z \text{ – відсоток компонентів } A, B, C).$$

АНАЛІЗ ВИХІДНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕОРІЇ КРИСТАЛІВ

Розрахунок електронної зонної структури для кристалів різного типу конфігурацій та визначення енергій зв'язку було проведено в низці відомих публікацій Шоклі, Слетера, Філіпса та ін. [3–12] за допомогою різних наближень: сильного зв'язку (метод лінійної комбінації атомних орбіталей (ЛКАО)), псевдопотенціалу, ав-initio тощо.



Однак залежності від атомно-масштабного параметра в загальному вигляді не були раніше встановлені. Мета цього повідомлення – навести саме такі співвідношення, які було одержано в останніх публікаціях [15–19].

Скористайтесь наближенням сильного зв'язку (ЛКАО), що дає добрі результати для типових напівпровідникових ГЦК кристалів кубічної симетрії. Для таких речовин лінії постійної енергії поблизу центра зони Бриллюена (тобто Γ -точки κ -простору (000)) мають простий сферичний вид, власні енергії рівняння Шредингера для таких кристалів визначаються лише найближчими сусідами. Це – кристали з псевдосферичним розташуванням найближчих оточуючих атомів. Отже, наявна псевдопланетарна конфігурація кристалічної структури, що нагадує електронну конфігурацію 4-валентних атомів. Саме ця обставина, як буде показано далі, й спричиняє можливість формування згаданої системи для кристалів.

У наближенні сильного зв'язку стан електронів описується простим хвильовим рівнянням:

$$\sum H_{j,i} \cdot \Psi_{i,j} = E_{j,i} \cdot \Psi_{i,j},$$

де j, i – номер атомів $A_i B_j$ у кристалі хемічного стану AB .

Мінімізація власної енергії відбувається через секулярне матричне рівняння, в якому різні члени відповідають різним за природою енергіям зв'язку. Якщо на кожний атомний зв'язок припадає два електрони, то такий стан стає стійким. Діагональний матричний елемент міжатомної взаємодії, що виникає завдяки перекриттю хвильових функцій сусідніх атомів Ψ_1 та Ψ_2 :

$$H_{12} < \Psi_1 | H | \Psi_2 > H_{21} = V_v,$$

визначає енергію валентного зв'язку E_v . Інші члени матриці зумовлені іншими за природою хемічними зв'язками, а саме – металічними та йонними (полярними).

Рівняння Шредингера дає змогу визначити енергії атомних станів (термів), які є базовими для визначення вказаних компонент хемічного зв'язку

$$\varepsilon_s = < \Psi_1^s | H | \Psi_1^s > \text{ (для } s\text{-орбіталі),}$$

$$\varepsilon_p = < \Psi_2^s | H | \Psi_2^s > \text{ (для } p\text{-орбіталі).}$$

Для гібридизованого тетраедричного стану в разі сильного перекриття хвильових функцій слід замінити енергії s та p орбіталей $\varepsilon_s, \varepsilon_p$ на енергії

$$sp^3 \text{ гібридних зв'язків } \varepsilon_h = \frac{1}{2}(\varepsilon_s + 3\varepsilon_p).$$

Розв'язання секулярного рівняння задає енергетичні зони електронних станів $E(\kappa)$ у κ -просторі, зв'язних та антизв'язних, і при слабкій гібридизації s та p орбіталей вони мають аналітичний вигляд [10]. Зокрема для центру зони Бриллюена ($\kappa = 0$):

$$E_V^p = \varepsilon_p + V_v \quad (1)$$

$$E_C^s = \varepsilon_s - V_v \quad (2)$$

Нижні, зв'язні стани відповідають валентній зоні, а антизв'язні (розштовхувальні) верхні стани – зоні провідності. Заборонена зона у випадку однокомпонентних кристалів зумовлюється двома складниками різної природи: валентного зв'язку V_v і металічного зв'язку

$$V_m \sim \frac{1}{4}(\varepsilon_s - \varepsilon_p):$$

$$\begin{aligned} E_g &= E_c - E_v = (\varepsilon_p - \varepsilon_s) + 2V_v - 4V_m = \\ &= E_{gv} - E_{gm} \end{aligned} \quad (3)$$

Металічний складник енергії має від'ємний знак, бо має розрихлювальну природу і більший, якщо більше відрізняються атомні терми s та p . Енергія s - та p -термів відрізняються, за принципом Паулі, тільки для колективізованого стану, тобто для молекул і конденсованих речовин, зокрема для твердих тіл. В однокомпонентному алмазоподібному кубічному кристалі всі атоми еквівалентні, отже, сил зв'язку іншої (полярної, полярізаційної, індукованої тощо) природи в рівноважному, ненапруженому стані нема.

Розгляньмо докладніше ці найсуттєвіші компоненти, що формують заборонену зону E_g та інші енергетичні характеристики. Вперше в працях Гарисона та Пантелідеса [9, 10] було продемонстровано, що матричні елементи обмінної (валентної) міжатомної взаємодії, взято по хвильових функціях найближчих сусідів, при переході від одного кристала до іншого для ряду (IV) змінюються по єдиному, параболічному відносно міжатомної відстані d (отже, і L), закону:



$$V_v \sim \frac{1}{d^2} \sim \frac{1}{L^2} \quad (4)$$

$$E_{gv} = V_v(r) = \eta \frac{\hbar^2}{md^2} \approx \frac{C_v}{L^2} \quad (5)$$

При цьому коефіцієнт при $1/L^2$ для різних ГЦК кристалів змінюється слабо і дорівнює $C = 1,2 - 7,62$ [eV·Å²].

Для розрахунку металічної компоненти, яка, як зазначалось, послаблене обмінний хемічний зв'язок, потрібно скористатися таблицями атомних термів $\varepsilon_s, \varepsilon_p$ [10, 11]. До того ж для 2 або більшого (n) числа атомних компонент

$$\begin{aligned} \bar{\varepsilon}_s &= \frac{1}{n} \sum \varepsilon_{s_i} = \frac{1}{2} (\varepsilon_{s_1} + \varepsilon_{s_2}), \\ \bar{\varepsilon}_p &= \frac{1}{n} \sum \varepsilon_{p_i} = \frac{1}{2} (\varepsilon_{p_1} + \varepsilon_{p_2}), \\ \varepsilon_h &= \frac{1}{4} (\bar{\varepsilon}_s + 3\bar{\varepsilon}_p). \end{aligned} \quad (6)$$

Для багатокомпонентних ГЦК кристалів рівняння Шредингера ускладнюється завдяки появі несиметрії у розподілі електронної густини між сусідніми атомами і з'являється йонний складник хемічного зв'язку E_p . Останній можна розрахувати також за енергіями електронних термів сусідніх атомів $\varepsilon_p, \varepsilon_s$ або простіше, використовуючи феноменологічний принцип електронегативності X атомних станів Полінга.

Виникає запитання, чи можливо запропонувати і тут аналітичні співвідношення, про які йшлося вище.

Відповідь на це одержимо з аналізу атомних електронних термів елементів періодичної системи. Як показує аналіз, величини ε_s майже вдвічі більші від величин ε_p , і монотонно збільшуються під час переходу від групи II до VI ПСЕ того ж ряду, а також слабо зменшуються зі зростанням номера ряду ПСЕ (до 1,5 раза з переходом від 1 до 6 ряду). Однак різниця p та s термів для цього типу напівпровідникових кристалів (що зазвичай розташовуються всередині періодичної системи, формуючись переважно з елементів групи IV та пар III-V; II-VI) змінюється слабо. Отже, принципово важливим висновком, який одержано вперше, є те, що енергія металічної компоненти

зв'язку E_{gm} є майже сталою величиною [15–19]:

$$E_{gm} = V_m = -2,2 \cdot C_m L [\text{eV}] \approx 1,8 = \text{const}$$

$$C_m = 1 - (L - L_D) / 4L_D, \quad (7)$$

тут L_D – постійна ґратки алмазу, що є мінімальною відомою величиною.

Саме цей висновок дає змогу запропонувати аналітичну формулу для фактора металічного зв'язку $\alpha_m(L)$:

$$\begin{aligned} \alpha_m &= V_m / (L_v^2 + L_i^2)^{1/2} \cong V_m / V_v \approx \\ &\approx 1,1(L/2L_D)^2 \approx L^2 \approx d^2 \end{aligned} \quad (8)$$

Якщо валентна компонента енергії зі зростанням L різко (квадратично) зменшується, то для металічного зв'язку енергія, навпаки, квадратично зростає. Завдяки цьому для кристалів з великою постійною ґраткою різко зростає фактор металічності аж до 1 при $L \rightarrow 2L_D$.

Отже, для однокомпонентних ГЦК кристалів (де нема полярної компоненти $V_p = 0$) може бути запропонована єдина аналітична монотонна формула для енергії забороненої зони E_g (а також для деяких інших енергетичних характеристик):

$$\begin{aligned} E_g &\cong 1,2 E_{gv} (1 - \alpha_m) = \\ &= \frac{A}{L^2} \left(1 - 1,2 \frac{L^2}{4L_D^2} \right) = F(L), \\ A &= 1,2 \cdot 7,6 [eV / \text{Å}^2] \end{aligned} \quad (9)$$

(множник 1,2 враховує наближеність теорії [10]).

Оскільки металічність зменшує (екранує) валентний хемічний зв'язок, то її зростання приводить до зменшення енергії забороненої зони. Отже, для великих значень сталої ґратки $L > L_D$, де роль металічного складника енергії домінує ($\alpha_m \rightarrow 1$), передбачається стрімке зменшення ширини забороненої зони аж до її зникнення $E_g \rightarrow 0$, а при $L > 2L_D$ наявні навіть "від'ємні" значення ширини забороненої зони $E_g < 0$, тобто перекриваються зона провідності (c -зона) та валентна (v -зона).

Розгляньмо далі кристали, що сформовані з різних атомів. Тут діагональні матричні елементи H_{22} неоднакові, отже, виникає асиметрія зарядного стану для A та B атомів, тобто виникає кулонівський полярний зв'язок з енергіями, які кіль-



кісно можуть бути обчислені через табличні атомні терми [9, 10]:

$$V_i^s = \frac{1}{2}(\varepsilon_{SA} - \varepsilon_{SB}); \quad V_i^p = \frac{1}{2}(\varepsilon_{PA} - \varepsilon_{PB});$$

$$V_i^h = \frac{1}{2}(\varepsilon_{hA} - \varepsilon_{hB}) \quad (10)$$

Для атомів малих радіусів перерозподіл електронної густини між катіонними (донорними) A та аніонними (акцепторними) B компонентами кристалів більший, ніж для далеко розташованих, отже, й енергія полярного зв'язку буде поступово зменшуватись зі збільшенням L . Для розрахунку ширини забороненої зони, як і раніше, слід визначити енергію зв'язного E_b та антив'язного E_a станів:

$$E_b = \varepsilon^h - (V_v^2 + V_i^2)^{\frac{1}{2}}; \quad E_a = \varepsilon^h + (V_v^2 + V_i^2)^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

Їхня відмінність дає розщеплення s, v зон і формування забороненої зони:

$$E_g = \varepsilon_a - \varepsilon_b = 1,2\alpha(V_v^2 + V_i^2)^{\frac{1}{2}}(1 - 1,2\alpha_m) \quad (12)$$

Через ці величини врешті можна записати формулу для ширини забороненої зони, і за нею побудувати криві, які зображено на рис. 1 і 2.

$$E_g = 1,2V_v \left[1 + \frac{\alpha_i^2}{(1 - \alpha_i)^2} \right]^{\frac{1}{2}} (1 - 1,1\alpha_m) \quad (13)$$

Можна простішим способом розрахувати ступінь йонності, використавши феноменологічний параметр – електронної спорідненості X_{oi} елементів, які ввів Полінг [7]. За Полінгом, фактор йонності пов'язують із йонністю "р" простим співвідношенням:

$$i = [1 - \exp(-\Delta X_{AB}/2)]^2 \approx \Delta X^2/4 \quad (\text{останнє} - \text{для} \Delta X_{AB} = X_A - X_B < 1)$$

$$i = \alpha_i^2 \approx \Delta X^2/4 \quad (14)$$

Отже, для розрахунку $E_g(L)$ може бути запропонована така загальна формула:

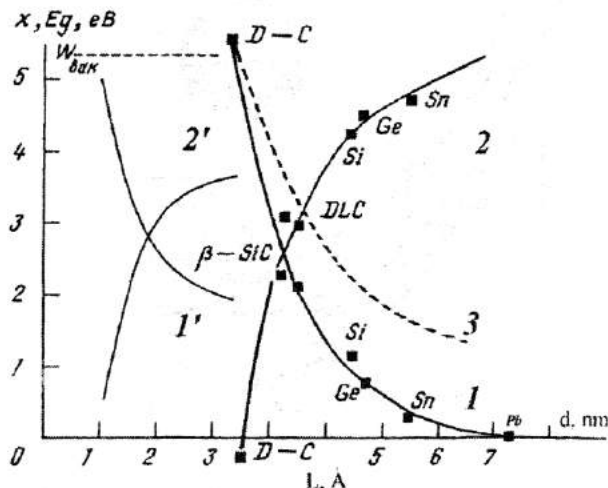


Рис. 1. Зіставлення теоретичних (лінії) та експериментальних (точки) залежностей величин енергії забороненої зони E_g (криві 1, 1') та електронної спорідненості X_0 (криві 2, 2') від постійної ґратки для кубічних кристалів IV-ї групи періодичної системи елементів, криві справа. Криві ліворуч – залежності від розміру нанокристалу. Крива 3 – параболічна залежність $E_g \sim 1/L^2$

$$E_g(L) = A \cdot V_v \left(1 + \frac{\alpha_i^2}{(1 - \alpha_i)^2} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot (1 - 1,1\alpha_m) =$$

$$= E_{gD} \cdot \left(\frac{L_D}{L} \right)^2 \cdot \left(1 - \frac{i}{1-i} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left[1 - \left(\frac{L}{2L_D} \right)^2 \right] \cong \quad (15)$$

$$\cong E_{gD} \cdot \left(\frac{L_D}{L} \right)^2 \cdot \left[1 + \frac{(0,5\Delta X)^2}{(1 - 0,5\Delta X)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left[1 - \left(\frac{L}{2L_D} \right)^2 \right]$$

Аналітична формула у вигляді функції від L (або міжкатомної відстані) має лише два параметри: L_D (постійна ґратки алмазу) та фактор полярності ΔX_{AB} , які є добре відомими величинами для багатьох елементів.

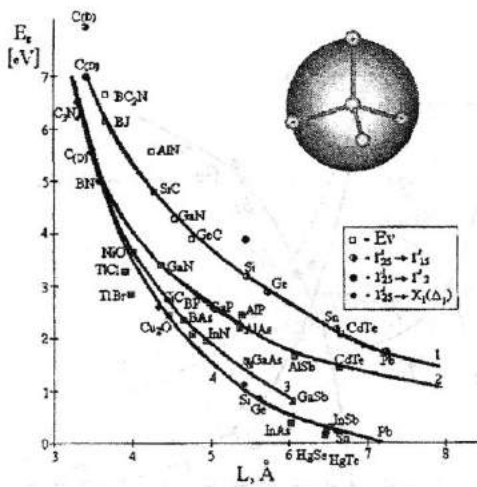


Рис. 2. Залежність ширини забороненої зони $E_g = E_c - E_v$ для різних кристалічних речовин залежно від постійної ґратки для кубічних кристалів різної природи. Лінії – теоретичні криві: 1 – для валентної компоненти хемічного зв’язку $E_v \sim 1/L^2$; 2 – $E_g \sim E_{DC}/L^2$ у випадку, коли полярність компенсується внеском металічності: $(1 + \alpha_i^2)^{1/2} \cdot (1 - \alpha_m) = 1$; 3 – враховуючи всі три механізми формування хемічного зв’язку для найтипівіших складних напівпровідників (поміrkовані величини полярності $\alpha_i \leq 0,5$); 4 – залежність

$E_g(L) = L_g D(L_D/L)^2 [1 - (L/2L_D)^2]$ враховує внесок лише валентного та металічного зв’язку

ПОРІВНЯННЯ З ЕКСПЕРИМЕНТОМ

Зіставлення експериментальних даних по кристалах групи IV (точки) з обчисленими теоретичними залежностями (лінії), які запропоновано в цій праці, зображено на рис. 1 та 2 для різних ГЦК кристалів. Дані подано для понад 50 найтипівіших напівпровідників із ГЦК структурою (напівпровідники IV групи системи елементів, III–V, II–V та деякі міжрядові). Видно, що кристали з відносно малою величиною полярності демонструють єдину монотонну залежність E_g від L . Суттєво відрізняються дані тільки для сильно полярних або не ГЦК кристалів.

Найнижчі величини ступеня йонності α_p композитів (а, отже, такі, що їхні параметри збігаються з теоретичною залежністю від L) демонст-

рують кристали з великим внеском металічності (наприклад, для InSb $\alpha_i \approx 0,13$, $\alpha_m \approx 0,8$). І навпаки, для полярних LiBr, AlN $\alpha_p \approx 0,6 \div 0,7$, а $\alpha_m \leq 0,4$), де залежність V_i від L має складніший вигляд, ніж для валентної та металічної компонент енергії зв’язку. Матеріали, сконструйовані з елементів різних рядів ПСЕ, завдяки сильнішій відмінності електронних орбіталей, мають більшу полярність хемічного зв’язку. Для кристалів з однаковим аніоном та катіонами одного стовбця (АК₁) величини $V_i \sim \text{const}$, тоді як у протилежному (А₁К) випадку V_i спадає зі зростанням L навіть швидше, ніж для валентного складника V_v , а саме $V_i \sim 1/L^n$, $n \sim 3 - 4$.

Подібно до того, як це було показано в працях [15–18], можемо сподіватися степеневій залежності також для деяких інших характеристик – для температури плавлення $T_{пл}$, частоти оптичних фононів ω_{Lo} та мікротвердості H у ГЦК кристалах:

$$T_p, \omega_{Lo} \sim C_1/L^n, \quad n \approx (2 - 1,5), \quad (16)$$

$$H \approx C_2 C_1/L^n, \quad n \approx (3,5 - 5). \quad (17)$$

У працях [15–19] також було одержано важливе співвідношення між E_g та електронною спорідненістю X_o (або оптичною роботою виходу):

$$E_g(L) + X_o(L) = 5,3 + \delta E_v \approx 5,5 \text{ (eV)}, \quad (18)$$

(де $\delta E_v(L)$ – невелика поправка на зміну положення валентної зони залежно від L). Виходячи із записаних вище співвідношень $E_g(L)$, можна обчислити величини роботи виходу для широкого кола напівпровідників. Отже, ці співвідношення дають змогу за величиною E_g (або L), визначити роботу виходу, і навпаки, за величиною роботи виходу оцінити значення енергії забороненої зони (рис. 1).

Подібні розрахунки проведено також для плівкових квантово-розмірних структур (КРС), прийнявши для цього типу для квантових структур степеневу залежність від їхніх розмірів d :

$$E_g \approx A/d^2.$$

Тут можна передбачити подібну залежність для роботи виходу X_o , а саме, різке зменшення X_o



зі зменшенням розміру квантованої структури:

$$\begin{aligned} (E_{g_0} + A/d^2) + (W_0 - B/d^2) &\cong \\ &\cong (5,5 - \delta E(L, d)) \text{ eV} \approx \text{const} \end{aligned} \quad (19)$$

Зокрема для нанорозмірних структур найменших розмірів можна чекати появи аномальних емісійних властивостей аж до одержання об'єктів з від'ємною роботою виходу $X < 0$.

ВИСНОВКИ

У працях [15–19] було запропоновано систему для опису енергетичних параметрів напівпровідникових кристалічних структур. Ідея підходу ґрунтується на тому, що електронні характеристики тетраедричних кубічних ГЦК кристалів визначаються насамперед взаємодією зовнішніх електронних орбіталей найближчих сусідів. У зв'язку з цим принциповим твердженням для ГЦК кристалів (т. зв. алмазоподібних) виконуються аналітичні співвідношення, що пов'язують електронні параметри (E_g, X_o, E_{ex}, T_{ni}) з відстанню між сусідніми атомами: $d = r_A + r_B$ (r – атомний радіус елементів), або пропорційній їй сталій ґратки $L = \frac{2}{\sqrt{3}}(r_A + r_B)$.

Енергія зв'язку E і її пропорційні матричні елементи V відповідного рівняння Шредингера мають три складники різної природи: енергії валентного зв'язку (виникає завдяки перекриттю електронних орбіталей) V_v , енергії полярного зв'язку (виникає завдяки несиметрії електронних орбіталей) V_p , енергії екранування вільними електронами (металічний зв'язок), що має ослаблювальну (антизв'язку) силу V_m .

Одержано загальну аналітичну формулу для розрахунку ширини забороненої зони.

На підставі цієї формули було передбачено параметри нових багатокомпонентних напівпровідників, а також нанокластерів.

Було також одержано співвідношення між E_g та електронною спорідненістю X_o , що дає змогу за значеннями E_g обчислити X_o .

$$X_o = 5,5 \text{ [eV]} - (E_g - \Delta E_v).$$

За отриманими формулами (4, 5), обчисливши L за значеннями атомних радіусів r_i та задаючись співвідношенням компонент ($x, y, z \dots$), було розраховано параметри нових ГЦК сполук.

Література

1. A. B. Chen, A. Sher, Semiconductors Alloys, Plenum, N 4 (1995).
2. P.Y. Yu, M. Cardona, Fundamental Semiconductors, Springer (2002).
3. W. Shockley, Electron and Holes in Semiconductors (Van Nostrand, New York, 1950; W. Shockley, Bell Syst. Tech. J. 28, 645 (1938).
4. G.E. Kimbell, J. Chem. Phys. 3, 560 (1935).
5. C. Slater, Insulator, Semiconductors, Metals (McHill Book Co., 1967).
6. J. D. Joannopoulos, and M. L. Cohen, Phys. Rev. B. 8, 2733 (1973).
7. L. Pauling. The Nature of the Chemical Bonds and the Structure of Molecules and Crystals (Cornell University Press, Ithaca, 1960).
8. J. C. Philips, Covalent Bonding in Crystals, Molecules and Polimers (Chicago University Press, Chicago, 1969).
9. S. T. Pantelides, Phys. Rev. B. 11, 2391; 5082 (1975).
10. W. A. Harrison, Electronic Structure and Properties of Solids (Oxford University Press, New York, 1979).
11. A. O. Animalu, Intermediate Quantum Theory of Crystalline Solids (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1977).
12. J. R. Chelcowsky, and M. L. Cjhen. Phys. Rev. B. 13, 826 (1976); 14, 556 (1976).
13. V. I. Gavrilenko, A. M. Grekhov, D. V. Korbutyak, V. G. Litovchenko, Optical Properties of Semiconductors (Note-book), Kiev, Naukova Dumka (1987).
14. Physical Parameters, edited by I. S. Grigoriev and E. Z. Meilikhova (Energoizdat, Moscow, 1990).
15. V. G. Litovchenko, Ukr. Fiz. Zh. 42, 2228 (1997).
16. V. G. Litovchenko, J. Phys. Low-Dim. Structures, 7/8, 129 (1999).
17. V. G. Litovchenko, Ukr. Fiz. Zh, 42, 228 (1997); 44, 1164 (1999).
18. V. G. Litovchenko, Analis of the band structure, Phys. Rev. B, Vol. 65, 153, 108 (2002).
19. В. Г. Литовченко, Укр. фіз. журнал, 2005.



Симбіотичні зорі

Лідія Чінарова,

науковий співробітник Астрономічної обсерваторії
Одеського національного університету ім. І. І. Мечнікова

У різноманітному світі тісних подвійних зір кожна зоряна система несе інформацію про спільну еволюцію двох зір. Переважно ці зорі майже одного віку. Вони народжуються з майже однаковими масами та хемічним складом. Але навіть розбіжність мас лише на $\sim 5\%$ достатньо, щоб масивніша зоря пройшла еволюційний шлях до білого карлика чи нейтронної зорі, а її "сусідка" ще була на головній послідовності. У своєму різноманітті тісні подвійні зорі мають схожі фізичні вияви, за якими їх групують у різні класи.

Величезне зацікавлення є сьогодні до зорі, виділені в окремий клас симбіотичних зір. Симбіотичні зорі утворюють групу астрофізичних об'єктів різної природи, але показують подібні вияви. Досліджуючи їх, вчені виявили ознаки одночасно низькотемпературного та високотемпературного випромінювання. Крім цього, в симбіотичних зорях спостерігається змінність блиску, переважно, нерегулярна. Ці вияви можна пояснити тим, що симбіотичні зорі є подвійними системами. Здебільшого вони складаються з червоного гіганта і білого карлика чи субкарлика, оточеного газом навколозоряною оболонкою. До цього класу подвійних зір так само відносяться і системи, що складаються з червоного гіганта і зорі головної послідовності. Головне в симбіотичних зорях те, що основним джерелом енергії є енергія, яка виділяється в процесі "перетворення" потенціальної енергії речовини, що потрапляє на "гарячий" компонент, у кінетичну та теплову. Отже, основна світність симбіотичних зір має бути пов'язана з акрецією речовини червоного гіганта. Тому, наприклад, пари гігант і гарячий гігант уже не належать до класу симбіотичних зір. У цих парах "гарячі" компоненти світять завдяки власним внутрішнім джерелам енергії (рис. 1).

Зазначмо, що орбітальний період симбіотичних зір лежить у діапазоні від 200 діб до 10 років. Це широкі системи, і взаємодія компонентів відбувається лише на визначеному короткому

інтервалі їхньої еволюції. Тому таких оригінальних об'єктів мало. Маси компонентів, що входять до складу симбіотичної зорі, не перевищують 2–3 маси Сонця. У широких системах зоря, що розширюється, втрачає речовину завдяки зоряному вітрові. Однак існує невеликий відсоток симбіо-

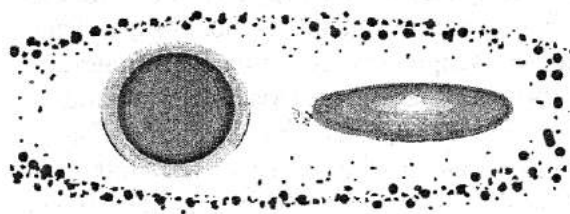


Рис. 1. Симбіотична зоря – червоний гігант і білий карлик з акреційним диском, оточені загальною оболонкою

тичних зір із короткими орбітальними періодами, в яких гігант заповнив свою приливну порожнину. У цьому варіанті маємо дискову акрецію речовини.

Коли червоний гігант втрачає речовину з великою швидкістю, то частина речовини утворить навколо подвійної зорі загальну оболонку. Інша частина потрапляє в околиці гарячого компонента. Потрапивши під вплив другої зорі, речовина накопичується в орбітальній площині поблизу її поверхні. Згодом утвориться диск – спочатку невеликий і тонкий. Далі в процесі нагромадження речовини, цей диск розширюється. З внутрішньої частини диска речовина потрапляє на поверхню білого карлика чи зорі головної послідовності.

За деякий час червоний гігант перейде на новий ступінь еволюції. Процес розширення зміниться стисканням. Акреція речовини припиниться, і система перестане бути симбіотичною (рис. 2).

Отже, у процесі еволюції, деякі подвійні зорі тимчасово будуть входити до класу симбіотичних зір. Ймовірно, це буде відбуватися не раз. Подвійні зорі, до складу яких, входить червоний гігант, і зорі головної послідовності перший раз вступають у клас симбіотичних зір. Пари зір – червоний гі-

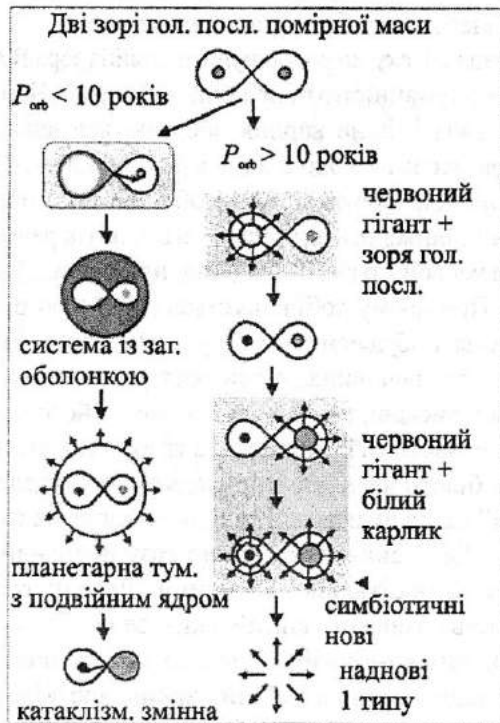
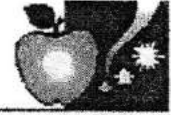


Рис. 2. Схема еволюції симбіотичних зір

гант і білий карлик – уже більш проеволюціонована система. Вона, можливо, вдруге проходить процес обміну речовиною і, отже, вдруге вступає в клас симбіотичних зір.

Симбіотичні зорі, компоненти яких перебувають на різних еволюційних ступенях, матимуть різні фізичні вияви.

Розгляньмо один з таких виявів – нерегулярну змінність блиску. У симбіотичних зір може спостерігатися збільшення блиску (на кілька зоряних величин) впродовж місяців, а потім впродовж року зоря повертається до первісного блиску. Однак, як відомо, білий карлик – зоря стабільна і не може давати такої змінності. Отже, причину цих змін потрібно шукати у фізичних процесах, що відбуваються у супутнику – холодному гіганті чи в зміні процесів акреції на білий карлик.

З аналізу даних для симбіотичних зір можна провести розподіл цих об'єктів на два класи *S* і *D*. До класу *S* відносять симбіотичні зорі, у системах яких мало пилу, і змінність блиску зумовлена процесами, що відбуваються в акреційному диску. У

класі *D* холодний компонент, зазвичай, мірида, і в системі міститься значна кількість пилу, а так само спостерігаються вияви неоднорідних газових оболонок. У таких симбіотичних зорях, змінність блиску пов'язана не лише зі змінами в режимі акреції речовини. Мірида – це змінна зоря, що пульсує. Розширюючись і стискаючись, вона змінює режим акреції.

Міра (омікрон) Кита – це перша зоря, в якій було виявлено таку змінність блиску. Усі зорі зі схожою змінністю блиску об'єднані в один клас. Цей клас назвали на честь першої зорі міридами. Маса мірид майже така як маса Сонця. На відміну від звичайних червоних гігантів, у мірид розширення поверхні відбувається у вигляді пульсацій. Під час пульсації поверхні зорі, в її атмосфері можуть утворюватися сферичні ударні хвилі. Поява ударної хвилі приводить до розігрівання газу. Завдяки цьому оболонка зорі стає прозорою, і блиск зорі зростає. Згодом оболонка знову остигає. Це приводить до відновлення молекулярних сполук, зруйнованих підвищенням температури. І ми спостерігатимемо мінімум блиску, що відповідає найменшій температурі зорі. Далі у надрах зорі знову виникає нестійкість у ядерних реакціях “горіння” гелію, що створює пульсації. Пульсації виникатимуть знову й знову, доки зоря не пройде цю смугу нестабільності. У процесі еволюції зоря не раз потрапляє у смугу нестабільності. Під час проходження ударної хвилі відбувається посилена втрата маси зорі. Така втрата маси майже в 40 разів більше, ніж поступова втрата маси в зорі з постійною світністю.

Цікаво, що ж буде, якщо така зоря перебуватиме в парі з іншою зорею? Такі зорі називають симбіотичними міридами. Характерним представником симбіотичної міриди є зоря V407 Суг. Для цієї зорі було ретельно проаналізовано всі дані й визначено такі параметри. Поблизу максимуму і мінімуму блиску спектральний клас міриди близький до M6. За температури 2650 К, радіус міриди в максимумі блиску дорівнює 480 радіусам Сонця. Період пульсацій – майже 745 діб. Світність гарячого компонента навіть під час спалахів суттєво менша від світності міриди. Дані свідчили, що зорі мають суцільний хмарний покрив. Порівнюючи, як змінюється блиск V407 Суг у різних фільтрах з переходом міриди від



мінімуму блиску до максимуму було запропоноване таке пояснення. Структура пилової оболонки шарувата, і її оптична товщина визначається розподілом порошинок за розмірами. Світність другого компонента менша від світності міриди, тому його внесок у нагрівання пилових частинок несуттєвий. За останні 104 роки утворення пилової оболонки відбувалося за постійного темпу втрати маси. Цей темп дорівнює темпові “утворення” порошинок у пиловому шарі. Пиловий шар утворюється щодва роки під час чергового мінімуму блиску міриди. Порошини в пиловому шарі народжуються за температури майже 1200 К (графітові) і 1000 К (силікатні) на відстані 3,5 радіуса міриди. У цей час у ньому зосереджено понад половину оптичної густини всієї пилової оболонки. Коли мірида виходить на максимальний блиск, цей пиловий шар віддаляється від зорі. Тоді знову відбувається конденсація пилового шару.

Згодом, коли відкрили подвійність самої Міри, її також віднесли до класу симбіотичних зір, хоча сам феномен міриди з подвійністю не пов'язаний.

Отже, у симбіотичних міридах основний внесок у змінність вносить мірида. А що буде, якщо до змінності міриди додати помітну змінність блиску завдяки акреції на білий карлик?

Таким екзотичним об'єктом є симбіотична зоря R Aqr. Один з компонентів зорі R Aqr – червоний гігант, що є довгоперіодичною змінною типу Міри Кита спектрального класу M7e. Другий компонент – невидимий гарячий супутник. Це білий карлик з великою світністю. Загальновідомо, що велика світність припускає наявність навколо білого карлика могутнього акреційного диска. Найбільше виділення енергії відбувається у внутрішніх шарах диска поблизу поверхні зорі. З активним витіканням речовини з холодного компонента, акреційний диск більший і тому у внутрішніх шарах гарячіше. Температура там може досягати 10^5 К і вище. Підвищення температури приведе до збільшення тиску променів і витіснення речовини з внутрішніх шарів диска поблизу поверхні зорі. Витікання матерії з вторинного компонента в усі боки приводить до утворення протяжної атмосфери і туманності. Джерелом високо-температурного випромінювання є акреційний диск, тому вторинний компонент сам собою може бути холодною зорею головної послідовності

малої маси. Звичайно, можливо, що вторинний компонент може бути і гарячим карликом.

У моделі, яку ми розглянули, подвійна зоря R Aqr оточена туманністю неправильної форми. Червоний гігант і білий карлик обертаються навколо центра мас із періодом майже 40 років дуже ексцентричною орбітою. Коли обидві компоненти сильно зближаються, збільшується потік речовини від червоного гіганта, що підсилює акреційний диск. При цьому збільшується гаряче випромінювання і збудження газів у туманності. Коли надходить речовина, підсилюється енерговиділення в дискові, підвищується тиск у його центральній частині. Ці процеси, а також випромінювання білого карлика, і приводять до “видавлювання” газу з диска у вигляді двох могутніх струменів. Диск викидає струмені газу перпендикулярно до орбітальної площини. Деколи такий струмінь називають англійським словом “джет”.

Існують симбіотичні зорі, до складу яких також входить мірида і білий карлик, але з іншим виявом змінності блиску. Симбіотичну зорю HM Стріли (HM Sge) було відкрито 1975 року. Спалах білого карлика на 5m привів до відкриття цієї зорі. Крім цієї зорі, подібні їй вияви зміни блиску мали такі зорі, як RR Телескопа (RR Tel), RT Змії (RT Ser), V 1016 Лебеда (V 1016 Cyg) й інші. З вигляду кривої блиску – це повільні Нові, але тільки ще в 100 разів повільніші. Для таких симбіотичних зір від 1983 року було введено особливий клас – симбіотичних Нових. Щоб пояснити феномени, що спостерігаються, для зорі HM Стріли було запропоновано таку модель. Один з компонентів подвійної зорі – червоний гігант класу M6 – змінна зоря типу Міри Кита. Інша зоря – це білий карлик, що вибухає. До спалаху обидва компоненти були занурені в газово-пилову оболонку. Утворенню такої оболонки сприяв зоряний вітер міриди. Саме спалах білого карлика міг зумовити максимум блиску (рис. 3).

Взаємодія двох потоків – зоряного вітру від червоного гіганта та матерії, що викидається від білого карлика, приводять до виникнення рентгєнівського випромінювання. Завдяки цим процесам у системі утворилися пилова, газово-пилова і газова туманності. Розміри частинок туманності залежать від їхньої відстані до гарячого компонента і від інтенсивності йонізуючого випромінювання.

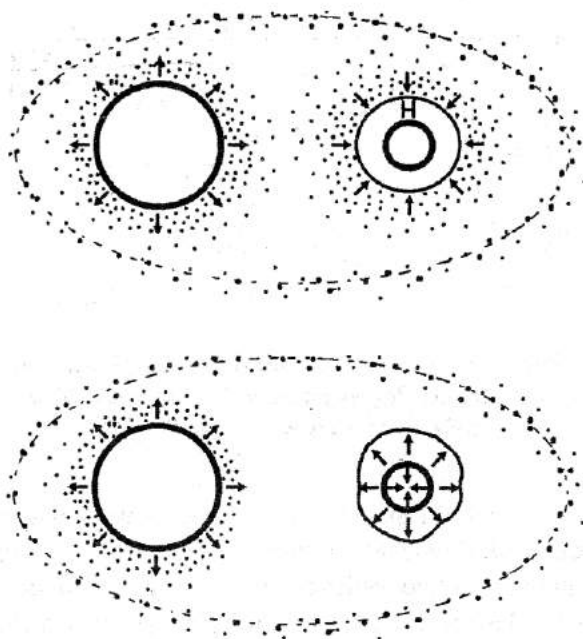


Рис. 3. Модель спалахів блиску симбіотичної зорі

нювання. Основні труднощі, які виникають перед науковцями під час розрахунку моделей пилових оболонок симбіотичних Нових, є наявність двох джерел їхнього нагрівання. Дослідження НМ Sge показали, що головним постачальником пилу в системі є мірида. Однак випромінювання і зоряний вітер гарячого компонента можуть істотно впливати на відстань, на якій буде відбуватися утворення порошин, їхній розмір і структуру пилової хмари. Наприклад, нерівномірне нагрівання пилу приведе до порушення сферичної симетрії оболонки.

Наголосімо ще раз – симбіотичні зорі класу D дуже запилені. Випромінювання зорі в інфрачервоному діапазоні формується в йонізованій газовій оболонці. У таких зорях змінність блиску, що спостерігається, і кольору пов'язані зі зміною параметрів пилової оболонки. Можна припустити, що зсув випромінювання у червоний бік (збільшення показника кольору) буде пов'язано зі збільшенням щільності газопопилової оболонки. Далі, досягнувши максимуму щільності, ця оболонка надалі розширюватиметься, і буде спостерігатися поступове збільшення показника кольору. Отже, ми спостерігаємо зменшення і збільшення щільності газопопилової оболонки, пов'язане з її розширенням.

Модель вийшла дуже красивою і вражаючою. Однак ми знаємо, що білий карлик – це стабільна зоря. Як же на ньому могли відбутися вибухові процеси? Було запропоновано таку модель, що пояснює феномен, який спостерігається. При інтенсивному зоряному вітрі відбувається надкритична акреція на білого карлика. Відомо, що в цих зоряних об'єктах збереглася дуже маленька воднева оболонка. Під час падіння на поверхню білого карлика речовини, багатой на водень, вона буде накопичуватися, і маса водневої оболонки збільшиться. Досягнувши маси майже 10^{-5} сонячних мас (критичної маси, достатньої для початку процесів синтезу ядер), відбудеться термоядерний вибух. Отже, утвориться кулясте джерело горіння водню. Цей процес може бути нерегулярний, тобто починатися і припинятися з нагромадженням водню. Процес початку термоядерних реакцій на поверхні білого карлика приводить до скидання частини водневої оболонки (рис. 4). При цьому світність зорі збільшується в тисячі разів, і ми спостерігатимемо спалах Нової. За якийсь час знову відбудеться накопичення речовини, і процес повториться. З безупинним горінням водню, вторинний компонент буде спостерігатися як гаряча зоря. Однак, якщо швидкість акреції перевищить деяке критичне значення, то акреційна речовина не зможе згоріти вся і буде відбуватися її нако-

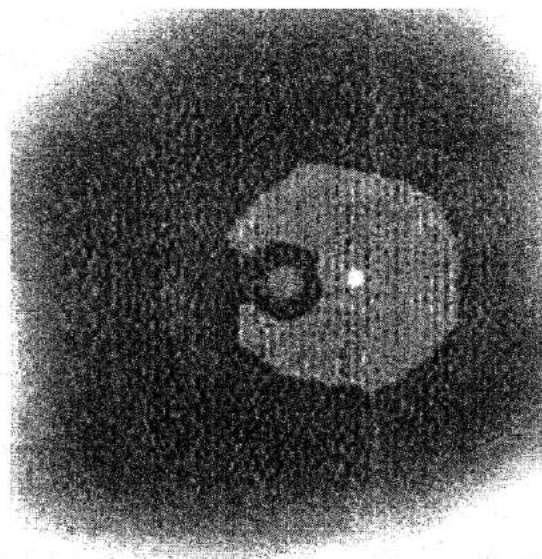


Рис. 4. Спрощена схема утворення симбіотичної нової зорі



пичення в зовнішніх частинах. Така зоря виглядатиме, як гарячий гігант. Поява ядерних реакцій на поверхні білого карлика за наявності акреційного диска приведе до ще більшого прогріву внутрішньої частини диска і підсилить витікання речовини з нього. Вибухові процеси на білому карликові також руйнуватимуть акреційний диск.

Всі описані процеси будуть опосередковано впливати на змінності блиску симбіотичної зорі у вигляді чергування слабких, сильних, тривалих і коротких спалахів на тлі тривалих чи коротких смуг стабільного блиску. Тому за характером спалахів, симбіотичні зорі було поділено на симбіотичні Нові, рекурентні Нові та класичні симбіотичні зорі.

У симбіотичних Нових криву блиску можна розглядати, як один дуже повільний спалах, що триває десятиріччя. Амплітуда спалаху може досягати 6–10 зоряних величин. У класичних Нових, спалахи приводять до повного скидання оболонки зорі. У симбіотичних Нових, зоря лише збільшує свою світність. Криві блиску симбіотичних Нових дуже відрізняються й поміж свого класу. Наприклад, під час наступної фази, світність зір RR Tel і AG Peg зменшувалася поступово. У зорі V1329 Cyg спостерігалися великі коливання блиску (рис. 5). Зоря V1016 Cyg, спалахнувши, залишилася в цьому стані на десятиріччя. Така тривала відсутність нахилу на кривих блиску після спалаху спостерігалась також у зір HM Sge і PU Vul.

Особливу увагу звернімо на спалах PU Vul. Ця зоря після основної фази підвищення світності, що тривала майже рік, залишилася на максимумі впродовж наступного року. При цьому її спектр був подібний на спектр F-надгіганта. Далі впродовж першої половини 1980 року видима яскравість зорі зменшилась. У мінімумі вона залишалася майже 200 днів. Тоді поступово знову спалахнула. Після чого пішло дуже повільне зменшення блиску, описане вище. Під час зменшення блиску зорі, її спектр відповідав спектрові гіганта спектрального класу M. Для пояснення цього феномену, було запропоновано дві моделі. В першій моделі, глибокий мінімум був інтерпретований, як результат тимчасового поглинання світла пиловим середовищем. Пил міг бути сконденсований з газової оболонки, скинутої червоним гігантом. За іншою моделлю, зменшення блиску зумовлюється

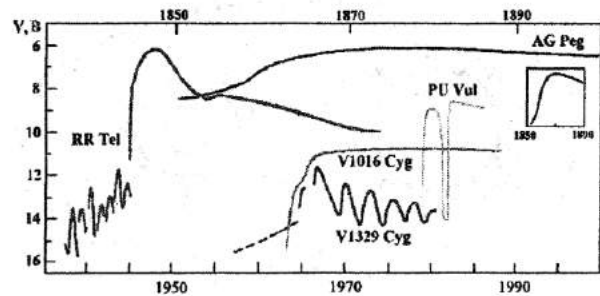


Рис. 5. Розмаїтість кривих блиску симбіотичних нових. Для AG Peg зображено ділянку кривої блиску поблизу спалаху за 1850–1900 роки

затемненням гарячої зорі гігантом спектрального класу M. Виходячи з тривалості мінімуму, можна припустити, що орбітальний період у системі майже 700 років. У свій час затьмарення було виявлено в симбіотичних зорях AR Pav і CI Cyg.

Наступний клас симбіотичних зір – це так звані рекурентні Нові. У цих зір так само відбуваються великі спалахи світності порядку 5–7 зоряних величин. Однак ці спалахи відбуваються частіше, і ми можемо їх спостерігати двічі чи більшу кількість разів за порівняно короткий час (кілька десятиріч). До рекурентних зір відносять такі об'єкти, як T CrB, RS Oph, V1017 Sgr.

Спостереження Т Північної Корони показали, що червоний гігант має еліпсоїдальну форму. Отже, холодний компонент заповнив свою порожнину Роша й у системі реалізована дискова акреція. Еліпсоїдальність форми холодного компонента приводить до імпульсного перетікання речовини. Збільшення кількості акреційної речовини буде приводити до спалаху світності гарячого компонента.

Отже, спалахи симбіотичних Нових і рекурентних Нових зумовлені термоядерними процесами в акреційній оболонці білого карлика чи гарячого субкарлика.

Для наступного класу зір типу Z And (“класичних” симбіотичних зір) характерна сукупність невеликих спалахів тривалістю до року. Амплітуда таких спалахів досягає трьох зоряних величин. До цього типу належать зорі AX Per, BF Cyg, CI Cyg і ін. Спалахувальна активність такого типу пов'язана з акреційними процесами в диску, що оточує зорю головної послідовності.



Для кожної симбіотичної зорі доводиться будувати свою модель, що змогла б пояснити індивідуальні особливості кривих блиску й інших астрофізичних виявів.

Отже, у процесі еволюції деякі подвійні системи двічі стають симбіотичними. Припустімо, що симбіотична зоря після вторинного обміну мас вийшла на новий ступінь еволюції. Як же виглядатиме цей об'єкт тепер? Відомо, що на прикінцевій стадії еволюції червоний гігант повністю втрачає свою оболонку. Коли червоний гігант входить до складу подвійної системи, то навколо системи в площині орбіти утвориться щільний газопиловий диск. З полюсів системи відбуваються викиди матерії. Згодом цей диск руйнується, і на місці недавньої симбіотичної системи утвориться біполярна планетарна туманність.

Однак за певних умов, у системах з досить короткими періодами, зоря еволюціонує через стадію симбіотичної зорі лише раз. У цих системах червоний гігант заповнює свою порожнину Роша, і за інтенсивного витікання речовини утвориться масивна навколозоряна оболонка. Друга зоря, менш масивна, – червоний карлик. За час перебування системи в загальній оболонці компоненти зближаться. Тому після першої стадії обміну мас, період системи помітно зменшиться. Це може привести до того, що вторинний компонент – червоний карлик – заповнить порожнину Роша, перебуваючи ще на стадії головної послідовності. Отже, за вторинного обміну мас, система буде спостерігатися як катаклізмична змінна зоря.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

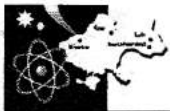
Науковці реконструювали античний “комп’ютер”

Група дослідників з Греції, Великобританії і США закінчила реставрацію античного астрономічного приладу, відомого як “комп’ютер Антікифери”. Знайдений 1900 року бронзовий інструмент для визначення положення Місяця і Сонця виявився складнішим, ніж передбачалося раніше. За його допомогою можна передбачати місячні затьмарення і стежити за рухом планет.

Дослідники за допомогою рентгенівської томографії високого розділення та інших методів встановили, що прилад містив 37 зубчатих коліс. До нас дійшли фрагменти 30. На лицьовому боці приладу нанесено градувальну шкалу для визначення сонячного і місячного циклів, і розташування Сонця щодо зодіакальних сузір'їв. На протилежному боці нанесено мітки для визначення фаз довгих астрономічних періодів: Сароса (18-річного циклу повторення місячних і сонячних затьмарень) і Калліпова циклу, що показує співвідношення місячних місяців і сонячних років.

Науковці вважають, що “Комп’ютер Антікифери” було виготовлено майже 70 років до Р. Х. Його знайшли усередині остову римського корабля, що затонув біля острова Антікифера недалеко від острова Кріт. Вважають, що судно йшло з острова Родос, батьківщини найвидатнішого грецького астронома Гиппарха, який створив теорію руху Сонця і Місяця та склав таблиці їхнього руху. Хоча Гиппарх помер 120 років до Р. Х., учені вважають, що прилад було побудовано за його розрахунками.

Винятковість астрономічного приладу полягає не тільки в його точності з погляду сучасної астрономії та математики, а й те, що використані в ньому зубчаті передачі й кривошипний механізм були забуті в Європі і їх знову почали застосовувати лише в XIV сторіччі.



ФІЗИК ВСЕБІЧНИХ ЗАЦІКАВЛЕНЬ

*До 75-річчя від дня народження
члена-кореспондента НАН України
Володимира Литовченка*



В Інституті фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова 24 грудня 2006 року відбулося урочисте засідання Вченої ради з нагоди 75-річчя від дня народження відомого ученого в галузі фізики напівпровідників та фізики твердого тіла, двічі лауреата Державних премій України та УРСР у галузі науки і техніки, члена-кореспондента НАН України, професора Володимира Григоровича Литовченка.

Володимир Литовченко народився 24 грудня 1931 року в с. Рожни Київської області. Середню школу він закінчив 1950 року зі срібною медаллю. Того ж року вступив на перший курс фізичного факультету Київського державного університету ім. Т. Г. Шевченка, який закінчив з відзнакою за спеціальністю “Фізика напівпровідників”.

Творчий шлях В. Литовченко розпочав 1955 року на посаді старшого інженера наукової лабораторії напівпровідників при радіофізичному факультеті Київського університету, а 1956 року вступив до аспірантури Інституту фізики АН

УРСР. Закінчивши аспірантуру, він працював молодшим науковим співробітником лабораторії поверхневих явищ. В. Литовченко 1960 року перевели до щойноствореного Інституту напівпровідників АН УРСР, де він працює й досі. В Інституті він пройшов шлях від молодшого наукового співробітника до керівника відділення “Фізика поверхні тіла і мікроелектроніка”. В. Литовченко 1961 року захистив кандидатську, 1971 – докторську дисертації, 1974 року йому присвоєно наукове звання професора, а 1985 його обрано членом-кореспондентом НАН України.

Розпочавши систематичні дослідження фізичних явищ, які протікають на поверхні напівпровідників, В. Литовченко став одним із фундаторів і лідерів української школи фізики поверхні твердого тіла і мікроелектроніки. Від 1962 року під його керівництвом в Інституті напівпровідників НАН України почав інтенсивно розвиватися новий напрям у галузі твердотільної мікроелектроніки і фотоелектроніки метал-діелектрик-напівпровідник-систем. Були створені фізичні моделі цієї багатофазної шаруватої структури, виявлено низку фізичних явищ, характерних для таких систем, серед них конденсацію екситонів на межах поділу, ефект планарного гетерування тощо. Проведені під керівництвом В. Литовченка теоретичні та експериментальні дослідження напівпровідникових шаруватих структур, які широко застосовують в інтегральній мікроелектроніці, відкрили якісно нові можливості вивчення не лише штучно створених шаруватих систем зі складним профілем потенціального рельєфу, наприклад, прихованих шарів, а й досить поширених у природі шаруватих кристалів. Завдяки цьому він пояснив особливості багатьох відкритих ефектів у шаруватих системах.

В. Литовченко уперше експериментально виявив низку нових ефектів, такі, як поверхнева лю-



мінесценція в напівпровідниках (1974), підсилена планарне розширення нерівноважної двовимірної електронно-діркової плазми (1983), підпорогове стимульоване випромінювання у двовимірних квантоворозмірних гетероструктурах (1996), розщеплення зон у матеріалах з нульовою забороненою зоною при зв'язуванні точкових дефектів тощо.

Широта наукових зацікавлень В. Литовченка визначила багатогранність його дослідницької діяльності. Логічним підсумком досліджень поверхні напівпровідників став виконаний разом з учнями великий цикл праць, присвячений явищам квантування енергії та перенесення носіїв у поверхневих каналах. В. Литовченко також розробив систему визначення параметрів кристалічних тіл (аналогічна до періодичної системи елементів Менделєєва).

Останніми роками в дослідженнях В. Литовченка важливе місце посідають оптичні та електричні явища в алмазоподібних вуглецевих плівках. Розроблення теоретичних фізичних моделей матеріалів на основі вуглецю дає змогу прогнозувати властивості нових перспективних матеріалів, зокрема твердіших за алмаз. Застосування алмазоподібних вуглецевих плівок дає змогу значно підвищити електронну польову емісію з напівпровідникових матеріалів. Ці наукові дослідження Володимир Григорович проводить в активній співпраці з іноземними колегами з США, Німеччини та Франції.

Учений багато працює над практичним застосуванням наукових ідей і досягнень. Його наукові напрацювання в галузі інтегральної мікроелектроніки, фотоелектричних перетворювачів, сенсорних систем принесли науковцеві заслужений авторитет серед фахівців виробничої та інженерно-технічної сфери.

В. Литовченко веде активну науково-організаційну роботу. Десять років він був заступник академіка-секретаря Відділення фізики і астрономії НАН України, нині – заступник голови Наукової ради НАН України з проблеми “Фізика напівпро-

відників” і голова секції “Інтегральна електроніка” цієї ж ради, голова секції “Електроніка і фотоніка” Українського комітету URSI, президент Українського фізичного товариства, член Українського відділення Міжнародного товариства оптичної техніки SPIE, член Міжнародних електрохімічного та вакуумного товариства та ін. Володимир Григорович є ініціатором і бере активну участь у проведенні міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій з фізики напівпровідників, зокрема, він є членом багатьох програмних комітетів. Про високий міжнародний авторитет В. Литовченка свідчить запрошення його до редакцій повідних журналів і програмних комітетів міжнародних конференцій. Як член редколегій багатьох періодичних видань, В. Литовченко акцентує на тому, щоб довести до світової наукової громадськості надбання української науки. Його регулярно запрошуюють відомі університети Західної Європи для читання лекцій та виступів з науковими доповідями.

В. Литовченко дбає про вишкіл наукових кадрів. Серед його учнів – 11 докторів і 35 кандидатів наук. Він є професором Київського національного університету ім. Т. Г. Шевченка, Почесним професором Фонду Сороса (США).

Науковий доробок Володимира Григоровича вражає не лише обсягом досліджень та наукових праць (9 монографій, 16 оглядів та брошур, понад 400 статей у провідних наукових журналах), але насамперед значущістю й глибиною результатів.

В. Литовченко веде також активну просвітницьку діяльність, пропагуючи надбання української історії та культури як голова осередку товариства “Просвіта” ім. Т. Шевченка.

Наукова та науково-організаційна діяльність В. Литовченка здобула заслужене визнання. Йому присвоєно почесне звання “Заслужений діяч науки і техніки” (1992), він є лавреатом премії НАН України ім. К. Д. Синельникова (1996). Великий досвід, неординарний талант він повною мірою використовує для подальших досліджень.

*Редакційна колегія журналу “Світ фізики” щиро вітає
Президента Українського фізичного товариства,
члена-кореспондента НАН України Володимира Григоровича Литовченка
з ювілеєм, зичить йому доброго здоров'я і щасливого творчого довголіття.*



*До 80-річчя від дня народження
Олекси-Мирона Біланюка*



ВІН ЗАВЖДИ ПОВЕРТАЄТЬСЯ В УКРАЇНУ

Роман Пляцко,

*Інститут прикладних проблем механіки і
математики ім. Я. С. Підстригача НАН України*

Галина Шопа,

*Львівський національний університет
імені Івана Франка*

*Найціннішими скарбами людства
є його інтелектуальні та духовні надбання.
Причинитися до цих надбань є найшляхетнішим
стремлінням людини.*

Олекса-Мирон Біланюк

Без перебільшення можна стверджувати, що професор Олекса-Мирон Біланюк викликає особливу повагу в середовищі світової спільноти фізиків, і в українських громадах США, Канади і, звичайно, в наукових, громадських і державних колах України. Фізики декількох поколінь знають і високо цінують глибоко новаторську концепцію про можливість існування в природі частинок, які рухаються швидше ніж світло – тахіонів, яку уперше було опубліковано 1962 року в журналі “American Journal of Physics”. Ця концепція стимулювала подальші дослідження фундаментальних властивостей матерії, особлива активізація яких помітна в останні роки.

Для української наукової спільноти О.-М. Біланюк зробив надзвичайно багато як один із керівників Наукового товариства ім. Шевченка в Америці упродовж багатьох років і його Почесний член, як президент Української вільної академії наук у 1997–2006 роках, а також як академік Національної Академії наук України з 1992 року.

Народився Олекса-Мирон Біланюк 15 грудня 1926 року в селі Тарнавка поблизу Риманова на Лемківщині. Його батько, Петро Біланюк, здобув

науковий ступінь доктора в царині фізичної географії у Карловому університеті в Празі, викладав у різних навчальних закладах, зокрема у Львові. Саме у Львові Олекса закінчив початкову школу, однак вступити до гімназії завадила Друга світова війна. Не оминула юнака примусова праця в Німеччині, згодом табір для приміщених осіб в Авсбурзі. Тут він долучився до українців, які згуртувалися навколо письменника Василя Барки. Молодь із зацікавленням слухала розповіді В. Барки про грецьких філософів, про Данте Аліг'єрі і Ренесанс, загалом про європейську культуру. За спогадами О.-М. Біланюка, “...ми слухали, мов зачаровані, і поволі з “простохів” ставали культурними європейськими молодиками”.

Наполегливість у самоосвіті та опанування іноземними мовами дали змогу йому успішно навчатись у Лювенському університеті (Бельгія) і Мічиганському університеті Анн Арбор (США), в останньому О.-М. Біланюк здобув ступінь доктора філософії (1957) як фахівець у ядерній фізиці. Якраз у цій ділянці йому вдалося виконати важливий комплекс досліджень у лабораторіях Мічиганського й Рочестерського університетів і провідних наукових центрів Європи (Франція, Італія, Україна). Зокрема разом із французькими колегами здійснив одну з перших гіпер’ядерних реакцій (1980), у якій взаємодіяли не лише нуклони в



ядрах, а й кварки в нуклонах. У Національній ядерній лабораторії у Фраскаті (Італія) брав участь у дослідженні ядерних реакцій, спричинених моноенергетичними фотонами (1984). В Інституті ядерних досліджень у Києві професор О.-М. Біланюк провів дослідження ролі альфа-частинок у структурі ядер (1976), за які його разом із колегами було нагороджено премією ім. К. Д. Синельникова.

Наукові дослідження світового рівня професор О.-М. Біланюк поєднує з викладацькою діяльністю у Свартморському коледжі біля Філадельфії. Значну увагу приділяє поширенню знань із сучасної фізики на сторінках друкованих видань. Особлива глибина й змістовність притаманні його науково-популярним статтям, що впродовж багатьох років регулярно з'являються на сторінках відомого українського журналу "Світ фізики", членом редколегії якого він є.

Активно й натхненно працює О.-М. Біланюк на громадській ниві української діаспори. Від середини 1950-их років він публікує праці в низці видань українців США і Канади, був редактором гасел фізики в "Енциклопедії українознавства" та в англomовній "Encyclopedia of Ukraine". Завдяки його ініціативі й наполегливості Українська Вільна Академія Наук здійснила низку цікавих видавничих проєктів, зокрема ґрунтовне й ошатне видання вибраних праць всесвітньовідомого українського математика Михайла Кравчука. У грудні 2006 року професор О.-М. Біланюк від управи УВАН передав державним представникам України на постійне зберігання до Інституту літератури ім. Т. Шевченка НАН України унікальні національні святині з Київського будинку-музею Т. Шевченка, які було вивезено з України під час Другої світової війни.

Плідна співпраця поєднує професора О.-М. Біланюка з науковцями та громадськими організаціями України. Тонкий знавець української мови (а загалом володіє сімома європейськими мовами), він завжди бажаний і авторитетний учасник конференцій, присвячених розвитку української термінології. Його всебічну підтримку відчувають члени Фізичної комісії НТШ упродовж усіх років своєї діяльності.

У травні 2005 року в Львівському національному університеті імені Івана Франка відбулася наукова конференція, присвячена 40-річчю концепції тахіонів. Присутні мали змогу тепло привітати професора О.-М. Біланюка, почути його ґрунтовну доповідь і стати учасниками презентації його книжки "Тахіони", що вийшла друком у науковому видавництві "Свросвіт". Того ж року О.-М. Біланюку присвоєно звання "Почесний доктор Львівського національного університету імені Івана Франка".

Родина професора О.-М. Біланюка є кращим зразком високоінтелегентної патріотичної української родини за кордоном. Його дружина, відомий фахівець, професор медицини, Лариса Біланюк, багато допомагає українським лікарям освоїти сучасні методики лікування, залучає до участі в українських конференціях з медичної тематики молодих американських фахівців, серед яких є американці українського походження, вона благоочинно передає в українські бібліотеки найкращі книжки світового зразка з медицини. В українському патріотичному дусі подружжя Біланюків виховало двох доньок – Лярису і Ладу.

Олекса Біланюк душею вболіває за долю України та її майбутнє. Як колись зазначив науковець: "В Америці кажуть: "Ми даємо на науку не тому, що ми багаті. Ми багаті тому, що даємо на науку." Коли ж уряд України усвідомить собі глибину суті цього вислову?" Щоразу, перебуваючи в Україні, він зустрічається з молодими науковцями, студентами, ліцеїстами, читає лекції в українських університетах, обговорює з відомими ученими наукові перспективи.

Кожне спілкування з О.-М. Біланюком додає оптимізму в осмисленні найскладніших проблем сучасності. З нетерпінням очікуємо нових незабутніх зустрічей з нашим дорогим ювіляром.

Президент України Віктор Ющенко "за значний особистий внесок у збереження національних історико-культурних надбань, подвижницьку діяльність і сприяння поверненню в Україну безцінних архівних документів та творчої спадщини видатних співвітчизників нагородив Олексу Біланюка орденом "За заслуги" III ступеня.



Закономірності чи випадковості?

Нобелівську премію з фізики, хемії, фізіології і медицини, літератури, миру та економіки одержали 787 осіб! Серед них лише 33 жінки!

Наймолодшим лавреатам Нобелівської премії з фізики став Лавренс Брегг, якому на час вручення премії виповнилося 25 років. Цю високу нагороду він одержав із своїм батьком 1915 року.

Найстаршим лавреатом Нобелівської премії з фізики став Раймонд Девіс, якому на час вручення премії (2002) виповнилося 88 років.

Два лавреати Нобелівської премії *відмовилися* від премії.

Жан Поль Сартр (Jean-Paul Sartre), якого нагородили 1964 року Нобелівською премією з літератури, відмовився від нагороди, тому що він послідовно відмовлявся від усіх офіційних почесностей.

Ле Дик Тхо (Le Duc Tho) разом із Секретарем США Генрі Кісінджером нагородили Нобелівською премією миру 1973 року за проведення мирних переговорів з припинення війни у В'єтнамі. Ле Дик Тхо сказав, що він не може прийняти цю нагороду, з уваги на ситуацію у В'єтнамі.

Чотирьох лавреатів влада їхніх країн *примусила відмовитися* від Нобелівської премії.

Адольф Гітлер заборонив трьом німецьким лавреатам Ричардові Куну, Адольфові Бутенандту (Adolf Butenandt) і Герхардові Домаку (Gerhard Domagk) одержати премії. Всі вони змогли згодом отримати Нобелівський диплом і медаль, але не грошову винагороду.

Російський письменник Борис Пастернак, якого нагородили Нобелівською премією з літератури 1958 року, спочатку одержав нагороду, а згодом *змушений був відмовитися* під тиском керівництва Радянського Союзу.

Українських видатних письменників Івана Франка та Івана Багряного висували на Нобелівську премію, однак їхня передчасна смерть завадила їм стати лавреатами цієї престижної нагороди.

Лайнус Полінг (Linus Pauling) єдиний, кого *одноосібно двічі* було нагороджено Нобелівською премією – з хемії (1954) і миру (1962).

Джона Бардіна *двічі нагородили* Нобелівською премією з фізики (1956, 1972).

Марію Кюрі *двічі нагородили* Нобелівською премією з фізики (1903) і хемії (1911).

Фредерика Сенгера (Frederik Sanger) *двічі нагородили* Нобелівською премією з хемії (1958, 1980).

Родини – лавреати Нобелівської премії.

Успішною в цьому була родина Кюрі: подружжя Марія і П'єр Кюрі одержали Нобелівську премію з фізики 1903 року, Марія Кюрі – з хемії 1912 року. Їхня донька Ірен і зять Фредерик – Нобелівську премію з фізики 1934 року.

Батько і син Вільям Брегг і Лавренс Брегг разом одержали Нобелівську премію з фізики (1915).

Батько Нільс Бор і *син* Оге Бор були нагороджені Нобелівськими преміями з фізики: батько – 1922 року, син – 1975.

Батько Ганс фон Еулер Челпін (Hans von Euler-Chelpin) і *син* Ульф фон Еулер (Ulf von Euler) були нагороджені Нобелівськими преміями: батько – 1929 року з хемії, син – 1970 року з фізіології і медицини.

Батько Артур Корнберг (Arthur Kornberg) і *син* Роджер Корнберг (Roger D. Kornberg) були нагороджені Нобелівськими преміями: батько – 1959 року з фізіології і медицини, син – 2006 року з хемії.

Батько Карл Манне Георг Сігбан (K. Manne G. Siegbahn) і *син* Кай М. Сігбан (Kai M. Siegbahn) були нагороджені Нобелівськими преміями з фізики: батько – 1924 року, син – 1981.

Батько Джозеф Джон і *син* Джордж Паджет були нагороджені Нобелівськими преміями з фізики: батько – 1906 року, син – 1937.

Два брати з Нідерландів були нагороджені Нобелівськими преміями: Ян Тінберген (Jan Tinbergen) – 1969 року з економіки, Ніколас Тінберген Nikolaas Tinbergen – 1973 року з фізіології і медицини.

Організацію Об'єднаних Націй було нагороджено двічі Нобелівською премією миру (1954, 1981). Дитячий фонд ООН – премією миру (1965).

Нобелівський комітет тричі (1917, 1944, 1963) нагороджував премією миру *Міжнародну комісію Червоного Хреста* за його роботу. Засновника цієї організації Анрі Дюнан (Henry Dunant) нагородили першою Нобелівською премією миру (1901).

5-Й ВІДКРИТИЙ ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ СТУДЕНТСЬКИЙ ТУРНІР ФІЗИКІВ

Ігор Анісімов,

*завідувач кафедри радіофізичного факультету Київського національного
університету імені Т. Г. Шевченка, професор, заступник голови журі*

17–21 листопада 2006 року на радіофізичному та фізичному факультетах Київського національного університету імені Тараса Шевченка відбувся 5-й відкритий Всеукраїнський студентський турнір фізиків (СТФ).

Турнір фізиків – це командне змагання. Упродовж однієї гри, в якій бере участь 3–4 команди, кожна з команд по черзі виступає доповідачем, опонентом та рецензентом, так що кожен бій (розбір однієї задачі) дещо нагадує захист дисертації. Задачі, які повідомляють учасникам турніру завчасно, належать до так званого відкритого типу – вони, зазвичай, не допускають прямого розв'язку і за характером наближаються до постановки задач у реальних наукових дослідженнях.

Турніри школярів (відомі як ТЮФ – турнір юних фізиків) проводять уже понад 20 років, і цей рух давно став міжнародним. Щодо студентських турнірів, то вони виникли на радіофізичному

факультеті Київського національного університету імені Тараса Шевченка майже 10 років тому. Ініціативу з організації перших двох всеукраїнських СТФ взяв на себе Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова.

Три останні турніри пройшли на базі фізичного та радіофізичного факультетів КНУ. У 3-му турнірі брало участь 13 команд, у 4-му – 21. У 4-му СТФ уперше брали участь гості з-за кордону – команда Московського фізико-технічного інституту.

5-й турнір за багатьма параметрами став рекордним. Зокрема за кількістю команд (23), за кількістю учасників (135), за географією (5 команд з Києва, 3 – з Харкова, по 2 – з Луганська та Одеси, по одній – з Алчевська, Вінниці, Дніпропетровська, Донецька, Івано-Франківська, Кривого Рога, Рівного, Львова та Черкас, а також команди Росії (Московського фізико-технічного інс-



*Учасники 5-го Відкритого всеукраїнського студентського турніру
фізиків (17–21 листопада 2006 року, м. Київ)*

титуту) та Нідерландів (збірна університетів міст Утрехта і Гронінгена)).

Безпрецедентним було й те, що ігри за участю нідерландців ішли з перекладом, а фінал – англійською мовою. Нарешті, вперше, всі аудиторії, де відбувався турнір, були забезпечені мультимедійними засобами.

Серед 21 української команди 13 представляли класичні університети (по 2 команди з фізичного та радіофізичного факультетів Київського національного університету імені Тараса Шевченка, команди фізичного та фізико-технічного факультету Харківського університету, а також університетів Дніпропетровська, Донецька, Івано-Франківська (Прикарпатський національний університет), Луганська (Східноукраїнський національний університет), Львова, Одеси та Черкас), 4 – технічні університети (Київський та Харківський політехнічні інститути, Донбаський (м. Алчевськ) та Криворізький технічні університети), 4 – педагогічні (Вінниця, Луганськ, Одеса – Південноукраїнський державний педагогічний університет) та гуманітарні (Рівне) університети.

Доречно зазначити, що команди університетів, які брали участь у турнірі хоч раз, зазвичай, приїжджають на нього знову. Тому цього разу з 23 команд було лише 3 дебютанти – команди з Нідерландів, Харківського політехнічного інституту та Криворізького технічного університету. Після перерви знову в турнірі брали участь команди фізичних факультетів Харківського національного

університету імені Каразіна та Дніпропетровського національного університету.

Після трьох кіл чвертьфінальних ігор було, як і торік, відібрано 12 найсильніших команд, які змагалися в чотирьох півфіналах. Маленьке диво здійснила перша команда радіофізиків Київського національного університету імені Тараса Шевченка – програвши в першій грі росіянам, вона в останній грі виступила настільки успішно, що набрала додатковий бал рейтингу й спромоглася очолити турнірну таблицю (випередивши нідерландців, щоправда, лише на 0,06 бала).

У першому півфіналі ця команда перемогла суперників з помітним відривом – Черкаси на 15 балів, а Дніпропетровськ – на 29 балів. В інших підгрупах сили суперників були приблизно однакові – розрив між першою й останньою командами не перевищував 7 балів (менше 10 % набраної суми). Однак усі команди, які після чвертьфіналів склали першу четвірку, зуміли пройти до фіналу: нідерландці перемогли львів'ян та другу команду радіофізиків Київського національного університету імені Тараса Шевченка, одесити – першу команду фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка та команду Луганського університету, росіяни – команду фізико-технічного факультету Харківського національного університету та другу команду фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Всі півфіналісти, які не потрапили до фіналу, отримали дипломи III ступеня.

Гостра і приблизно рівна боротьба розгорнулася в фіналі. В результаті одесити, доповідь яких виглядала дещо слабше, набрали найменшу суму балів – 48,11 і посіли 4-те місце. Нідерландці та росіяни поділили 2–3 місця відповідно з 50,78 та 50,44 балами. Ці три команди отримали дипломи II ступеня. А переможцями вдруге за всю історію турнірів стали радіофізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка із сумою 52,78 балів у складі: Андрій Лазарев (капітан команди), Сергій Деніга, Ігор Марфін, Павло Молочко, Дмитро Пархоменко та Борис Мельник. В особистому заліку I місце вже втретє посів Олег Матвейчук (Одеський національний університет імені І. Мечнікова).



Під час дискусії

Завдяки спонсорам (компанія “K-Trade Ltd” та комп’ютерне видавництво “Діалектика”) переможці турніру отримали гідні призи, зокрема, команда-переможець – комп’ютер.

Деякі команди та окремі гравці отримали спеціальні відзнаки журі. За найкращий дебют відзначена команда ХПІ, яка водночас стала найкращою серед команд технічних університетів. Серед команд педагогічних та гуманітарних університетів першість виборола команда Рівненського державного гуманітарного університету. Приз за найкращу доповідь отримав А. Лазарєв (Київський національний університет імені Тараса Шевченка), за найкраще опонування – Тохтер Тесса Фоккема (Tochter Thessa Fokkema), Вилк ван дер Шее (Wilke van der Schee) (обидва – ні-

дерландці) та Є. Недолук (Київський національний університет імені Тараса Шевченка), які показали однаковий результат, за найкраще рецензування – Мартін Мінк (Martijn Mink) (Нідерланди).

Серед особистих вражень від турніру хочу відзначити загальне зростання рівня команд. Навіть ті з них, що не вийшли до півфіналу – наприклад, команди Рівненського державного гуманітарного та Луганського державного педагогічного університетів – продемонстрували гідний рівень гри. Дуже яскраво виступили дебютанти з Харківського політехнічного інституту, які за результатами турніру були першими після фіналістів.

Видно, що в турнірному русі відбувається зміна поколінь. Зокрема оновився склад команди фізико-технічного факультету Харківського національного університету імені Каразіна – незмінної учасниці й дворазового переможця студентських турнірів, команд Київського політехнічного інституту, Донецького, Луганського і Львівського університетів. До складу входив Леонід Саламаха – єдиний учасник усіх п’яти турнірів, який отримав за це спеціальну відзнаку журі на додачу до диплома в особистому заліку.

Надзвичайно високим був рівень нідерландської команди. Склалося враження, що її гравці під час тривалої підготовки ретельно розібрали всі задачі й, по суті, знали, що має бути в доповідях. Тому, попри мовний бар’єр, вони продемонстрували прекрасне опонування та рецензування, і, само собою, дуже ґрунтовні доповіді.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що студентські турніри фізиків набули широкої популярності в Україні та виходять на міжнародну арену.



Декан фізичного факультету Київського національного університету імені Т. Г. Шевченка Л. Булавін нагороджує переможців 5-го Відкритого всеукраїнського студентського турніру фізиків

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

2009 РІК ОГОЛОШЕНО РОКОМ АСТРОНОМІЇ

Міжнародний астрономічний союз (International Astronomical Union) оголосив 2009 рік роком астрономії. Ця ініціатива покликана розширити сприйняття суспільством ролі астрономії в людській культурі. Вибір саме 2009 року обумовлений значним прогресом, який учені чекають у цьому календарному інтервалі. Саме 2009 року на орбіті буде завершено формування міжнародного супутникового угруповання Galileo, а на Землі буде відкрито більше обсерваторій, ніж коли-небудь.

2009 року також відзначатимуть чотиривіковий ювілей винаходу Галілео Галілеєм телескопа – приладу, що дав змогу побачити зорі, недоступні неозброєному оку.



Умови задач

V Всеукраїнського студентського турніру фізиків (2006)

1. “Шпигунські пристрасті”

Як відомо, щоб не залишати відбитки пальців, слід одягнути гумові рукавички. А чи можливо залишати відбитки пальців через такі рукавички? Якщо так, то якою має бути їхня товщина?

2. “Кришталевий голос”

Кажуть, що деякі оперні співаки можуть розбивати кришталеві келихи силою свого голосу. Побудуйте кількісну теорію, яка може довести чи спростувати це твердження.

3. “Принцип доміно”

Визначіть характеристики хвилі падіння кісточок доміно.

4. “З гармати – на Місяць?”

Як залежить максимальна віддаль пострілу від параметрів снаряду, гармати та довколишнього середовища? Чи буде істотним для цієї задачі вплив обертання Землі?

5. “Хвилі денного світла”

У лампах денного світла деколи спостерігають коливання та хвилі світіння (останні поширюються вздовж лампи). Оцініть період, довжину хвилі та швидкість поширення таких збурень. Запропонуйте спосіб уникнення подібних явищ.

6. “Брудна електрика”

Автор задачі деякий час спостерігав цікаве явище: в нього вдома електричні лампочки світилися яскравіше, якщо більше їх було увімкнено одночасно. Лампочки, а також запобіжники (“пробки”) досить часто виходили з ладу. Врешті-решт з’ясувалося, що патрон “пробки” був забруднений, коли його очистили всі ці явища припинилися. Поясніть теоретично це явище.

7. “Гучний підпал”

Провівши експериментальні дослідження, опишіть кількісно параметри звуку, що створюється електрозапальничкою. Побудуйте теорію його виникнення.

8. “Солодке сяйво”

Якщо в темній кімнаті розламати шматок цукру, то можна помітити досить яскраве світіння поверхонь розлому. Дослідіть природу та характеристики такого випромінювання.

9. “Бризки шампанського”

Визначіть форму та траєкторію руху бульбашок газу, що спливають у рідині. Від яких характеристик рідини та газу залежать параметри такого руху?

10. “Кінець світу наближається”

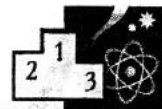
Існують припливні електростанції. Припливи – наслідок тяжіння Місяця. Вічних двигунів не буває. То коли ж Місяць упаде на Землю через використання його енергії для освітлення та обігрівання наших будинків?

11. “А ти такий холодний”

Опишіть еволюцію айсберга в океані. Скільки разів він може перекинутися до повного танення?

12. “Заряд з нічого”

На електролітичному конденсаторі, що спочатку не був заряджений, під час тривалого зберігання з’являється деяка напруга. Дослідіть це явище та побудуйте його кількісну теорію.

**13. “Залізна доба”**

Якої найбільшої температури можна досягнути, швидко згинаючи та розгинаючи металевий дріт?

14. “Давньогрецька оптика”

Існує легенда, за якою Архімед спалив ворожий флот за допомогою збірної дзеркала, яке складалося з щитів воїнів. Армія якої чисельності була потрібна для виконання такої операції?

15. “Піду в космонавти”

Дослідіть, на яку максимальну висоту може злетіти ракета, виготовлена з пластикової пляшки. Як ця висота буде залежати від корисної маси, яку піднімає ракета?

16. “Зимовий натюрморт”

Знайму розмірність сніжинки. Які чинники впливають на її форму і як саме?

17. “Оптика звуку”

Виготовте звукову збірну лінзу з найпростіших підручних засобів та визначте її характеристики. Дослідіть можливість виготовлення розсіювальної звукової лінзи та інших подібних пристроїв (наприклад, дифракційної ґратки).

Задачі запропонували:

А. Недибалюк, О. Творун, С. Тихоненко (Вінниця), Т. Самарева, О. Шмельов (Донецьк), І. Ліщинський, Я. Салій (Івано-Франківськ), І. Анісімов, С. Деніга, С. Дяченко, О. Кельник, А. Лазарев, В. Львов, О. Ляшенко, О. Сенчуров, Д. Хмара, Д. Філін (Київ), Б. Беляєв, С. Карамурза, Є. Нікітін (Луганськ), Т. Фітьо (Львів), В. Колешин, В. Кулінський, В. Орлов, О. Єфремова (Одеса), Я. Левшенюк, В. Машенко (Рівне), А. Ковальчук (Черкаси), В. Головацький (Чернівці)

Старіння – це фізична проблема

- Клаузіус сказав мені, що фізичні закони є “зворотними”, що це означає?
- Закони фізики можна “повернути назад” (у тому сенсі, що коли тіло рухається в певному напрямку внаслідок якоїсь причини, достатньо “обернути” цю причину – й тіло повернеться назад уздовж пройденого ним шляху), але насправді, здається, наше життя не здатне до такого (на цьому багатіють не фізики, а інститути краси, куди приходять пані, щоб пофарбувати волосся, або прибрати зморшки).
- Як же так? Якщо ми – частина природи, чому ж не живемо за її законами?

Навчання шкодить

- Професоре Фарадею, в якому університеті Ви навчались, що Вам на думку спадають такі блискучі ідеї?
- Все дуже просто: я не навчався! Я був учнем добродія Рібау, палітурника з вулиці Бледфорд. Заробляв якусь копійчину, щоб допомагати своїй родині, й водночас міг читати досхочу. Я прочитав усю Британську енциклопедію, за придбання якої мав би сплатити купу грошей!
- То ти з неї всього навчився?
- Ні, мені подарували запрошення до Королівського товариства на лекції сера Гемфрі Дейві, професора хемії. Це було справжнє видовище: під’єднавши до полюсів вольтівської батареїки золоті пластини й зануривши їх у воду, він зміг... розділити воду на водень і кисень! Все було так, як передбачав у своїй гіпотезі Лавуаз’є.

Хемія стала моїм захопленням! Я переписав у зошит усі конспекти лекцій і надіслав їх Дейві, а він найняв мене для чистки й налагодження своїх інструментів. Чудово! За більше ніж 25 шилінгів на тиждень. Від 1813 до 1815 року я об’їздив разом із Дейві всю Європу: Францію, Німеччину, Італію, багато чого побачив і багато чого навчився. Проте... дуже важко вивчити математику, якщо нею ніколи не займався, і до того ж, як на мене, треба розуміти, що насправді відбувається поза рівнянням.

(Із книжки Анна Парізі, Алессандро Тонелло. Провідна нитка. На порозі атома/ Пер. з італійської. – Київ: К.І.С., 2006. – 192 с.)

ЗНИЩЕННЯ ФІЗИКИ

або

над прірвою гуманітарної катастрофи

Ми не цінуємо того, що маємо. Так влаштована, на жаль, не тільки пересічна людина, а й сучасне українське суспільство. Від політиків ми чуємо гарні слова про високі технології, рівноправну співпрацю, майбутню високорозвинену державу. І водночас відчуваємо, як поступово знищується те, що могло б бути запорукою цих слів. Нас ще закликають пишатися досягненнями в галузі авіа- і ракетобудування і вже менше – в галузі військових технологій. Бо те, що було закладено за часів Радянського Союзу, не може бути завжди конкурентоспроможним. Ми не будемо нарікати на недостатнє фінансування, бюрократичні перепони, некомпетентність тих, хто приймає рішення. У нашій країні це, як не прикро, норма, яка поступово змінюється, але, здається, не в ліпший бік.

Хочемо звернути увагу на катастрофічний стан, в якому опинилася фізична, а загалом і природничо-математична освіта в Україні. Цей стан – передвісник майбутнього економічного і соціального стану нашої держави. Щороку дедалі менше молоді бажає займатися природничими науками. За останнє десятиріччя склався стереотип, що найкращими є професії юриста та економіста, а головне в житті – це великі гроші без зайвих зусиль. Інтелектуальних цінностей ніхто не пропагує, про них згадують хіба що в офіційних промовах. Мабуть, єдиний виняток – це українська культура, якій присвячується трохи часу на радіо і телебаченні. Це, звичайно, потрібно для самовизначення нації, але хіба зможуть історики, філологи, мистецтвознавці або юристи з економістами розробити новітні технології, забезпечити конкурентоспроможну якість українських товарів на світовому ринку? Якщо в науково-дослідні інститути, конструкторські бюро, лабораторії не прийде молодь, Україна не матиме перспективи. Курс на гуманізацію вищої освіти закінчився її гуманітаризацією. Такої кількості годин, відведе-

них програмою на вивчення додаткових дисциплін на спеціальностях природничо-математичного або технічного профілю, не було ніколи! З уваги на це дивним виглядає бажання України (з такими диспропорціями в освіті) приєднатися до Болонського процесу, який передбачає конвертацію дипломів.

На підсумковій колегії Міністерства освіти і науки України 17 серпня 2006 року міністр освіти і науки С. М. Ніколаєнко зазначив, що "...запровадження високих стандартів освіти в галузі математики, стимулювання інтенсивного вивчення природничо-математичних дисциплін були пріоритетними на саміті "Великої вісімки", що відбувся у липні цього року в Санкт-Петербурзі". Тому хотілося б пояснити, що математика, сама собою, мало кого цікавить в Європі та США. Головне – розроблення нових технологій, для чого потрібна відповідна математична культура.

Як відомо, ФІЗИКА – основа майже всіх сучасних технологій! Вона розвиває світогляд людини, її абстрактне та образне мислення, дає найвиразніші зразки "застосування теоретичних знань у життєво значущих ситуаціях", чого, за словами міністра, бракує нашим учням. У фізиці широко використовують математичні методи.

Тому, повністю погоджуючись з тим, що "стрімкі зміни в техніці, виробництві, комунікаціях ставлять нові вимоги до математичної підготовки", наголошуємо, що будь-які зміни в техніці, виробництві, комунікаціях ставлять нові вимоги насамперед до викладання фізики. Адже лише вчитель фізики зможе пояснити принципи мобільного зв'язку, відмінність електронно-променевих екранів від TFT і плазмових панелей, технологію DVD – запису і програвання – саме те, що повсякденно оточує учнів, і без чого вони не уявляють свого життя.

Саме фізична освіта вчить математичного моделювання природних явищ. Існує безліч комп'ютерних програм, які розв'язують математичні задачі, але – жодної, яка б розв'язала найпростішу задачу з фізики. Під час розв'язування фізичних задач важливо розуміти, що головне, а що – другорядним; чим можна знехтувати, а чим ні, і це набагато складніше, ніж просто підставляти числа в запропоновану формулу. Знати закони, за якими існує довколишній світ, і вміти їх застосовувати – в цьому і полягає суть фізичної освіти, яку можна здобути на фізичних факультетах класичних університетів. Фізичні методи й прилади є частиною найсучасніших медичних технологій та біотехнологій, тих секторів світової науки та економіки, що розвиваються найвищими темпами й отримують величезні інвестиції. Саме тому фізики становлять більшість у світових лабораторіях з моделювання різних природних і соціальних явищ: від поширення тайфунів та епідемій до економічного прогнозування. Саме тому згідно з кількістю так званих візових зелених карток для працевлаштування у США 2005 року, потреба у фізиках перевищила потребу в програмістах. Найбільші фінансові витрати в світі в галузі наукових досліджень йдуть на дослідження в галузі фізики.

Отже, головним для формування пріоритетної уваги до фізичної освіти в Україні є:

1. **Фізика – основа світогляду людини.** Вона дає розуміння природних і технічних явищ, які оточують людину, імунітет до різної псевдонаукової продукції та інформації, підвищує загальний рівень культури суспільства.
2. **Фізика – основа сучасних технологій.** Без підготовки фахівців з фундаментальною фізичною освітою, Україна остаточно втрапить свої позиції у світі високих технологій і перетвориться на державу третього світу.
3. **Фізика – це головний полігон застосування математичних знань і навичок, а математика є методикою послідовних і коректних перетворень і доведень, своєрідною мовою природничих наук.**
4. **Фізика – розвиває абстрактне та образне мислення, вміння реально оцінювати ситуацію і робити виважені висновки.** Не випадково її вважають найважливішою шкільною дисципліною.

5. **Багаторічний брак уваги до фізичної освіти з боку держави (брак будь-якої реклами фундаментальної освіти, науково-популярних передач, обов'язкових іспитів у школі, вступних іспитів з фізики у більшості технічних вищих навчальних закладах) зробили фізичну освіту неprestижною.** Щораз менше талановитої молоді обирає професії, пов'язані з фізикою.

Щоб поліпшити ситуацію у фізичній освіті, на нашу думку, потрібно:

У середній школі:

1. Збільшити кількість годин на вивчення фізики.
2. Запровадити обов'язкову державну підсумкову атестацію з математики і фізики в 11-му класі.
3. Розробити і запровадити в програми середніх навчальних закладів курс "Фізика в сучасних технологіях", розрахований на 20–30 годин.

У вищих навчальних закладах

1. Повернутися до виправданої, апробованої системи вступних іспитів на технічні та математичні спеціальності: фізика, математика, українська мова, або запровадити обов'язкове тестування з цих предметів.
2. Підвищити стипендію студентам, аспірантам природничих спеціальностей.
3. Запровадити викладання концептуальних засад фізики на деяких гуманітарних факультетах, зокрема, на філософських.
4. Посилити зв'язки вищих навчальних закладів із середніми навчальними закладами.

На загальнонаціональному рівні

1. Провести загальнодержавну дискусію про навчальні плани середніх загальноосвітніх закладів та змістового наповнення програм з основних предметів.
2. Розробити програму популяризації наукових знань, зокрема теле- і радіопередачі, пересувні виставки досягнень українських технологій, розраховані на школярів і студентів, щорічні конкурси на кращу науково-популярну статтю, книжку, підручник, мультимедійний проєкт тощо.

3. Виділити кошти на обладнання кабінетів фізики.

4. Розробити систему заохочення викладачів шкіл, які належно підготували учнів до вступу на фізичні факультети класичних університетів.

Зазначмо, що це або потребує незначних фінансових витрат, або не потребує їх зовсім, як, наприклад, запровадження обов'язкового іспиту з фізики. Головне – добра воля, державний підхід, розуміння перспектив і викликів часу.

До чого ми прагнемо: до країни з вичерпаними природними ресурсами і зневіреними людьми, чи до високорозвиненої держави з гідними стандартами життя, у якій пишуться не тільки минулим, а й сьогоднішнім?

Щодо другого, то діяти треба негайно! Насправді треба зробити так мало, але зробити сьогодні,

не відкладаючи на майбутнє! Час спливає. Коли не стане фахівців, на чий імена зважають за кордоном, і яким є що передати молоді, коли зникнуть традиції, то вже ніякі фінанси не зможуть повернути згаяного часу. Саме це найбільша загроза для України!

У нас талановиті люди. Величезний потенціал. Згадаймо перші дослідження з лазерного випромінювання та голографії, перші електронно-обчислюванні машини, перші запуски ракет у космос. Перший директор першої у світі атомної станції – випускник фізичного факультету Дніпропетровського університету.

Ми хочемо, щоб талановита молодь, яка є в нашій країні, продовжила її історію. Для цього треба так мало – казати їй правду!

Р. С. Тутік,

*декан фізичного факультету
Дніпропетровського національного університету,
заслужений діяч науки і техніки України,
професор, академік АНВШ України,*

В. В. Скалозуб,

*завідувач кафедри квантової макрофізики,
заслужений діяч науки і техніки України,
професор, академік АНВШ України,*

О. Ю. Орлянський,

*завідувач кафедри теоретичної фізики,
відмінник освіти України,*

В. М. Дуда,

*завідувач кафедри фізики
твердого тіла, професор*

В. Ф. Башев,

*завідувач кафедри металофізики,
професор*

С. М. Корогод,

*завідувач кафедри експериментальної фізики,
професор*

В. В. Клименко,

*завідувач кафедри оптоелектроніки,
професор*

В. С. Ваняшин,

професор кафедри квантової макрофізики

О. Й. Соколовський,

професор кафедри квантової макрофізики,

Є. Д. Солдатова,

професор кафедри квантової макрофізики,

М. Д. Волянський,

професор кафедри фізики твердого тіла,

М. П. Коркіна,

професор кафедри теоретичної фізики

Т. В. Панченко,

професор кафедри фізики твердого тіла,

М. П. Трубіцин,

професор кафедри фізики твердого тіла,

А. М. Овруцький,

професор кафедри металофізики,

І. М. Спиридонова,

заслужений діяч науки і техніки України,

професор кафедри металофізики

О. В. Сухова,

професор кафедри металофізики

З. А. Матисіна,

професор кафедри експериментальної фізики,

О. О. Шугуров,

професор кафедри експериментальної фізики,

В. І. Чорна,

професор кафедри експериментальної фізики,

В. М. Моїсєнко

професор кафедри оптоелектроніки



ДОСЛІДИ З ГЕОМЕТРИЧНОЇ ОПТИКИ, ДИФРАКЦІЇ та СПЕКТРОСКОПІЇ

Ада Петрівна Кондратенко,
Микола Олександрович Кондратенко,
вчителі фізики (м. Лубни, Полтавської області)

Пропонуємо деякі досліди геометричної оптики, дифракції та спектроскопії, які можна виконати на доступному обладнанні. Вони сприяють засвоєнню теорії і надовго запам'ятовуються.

Маючи лазерний вказівник, можна навіть у домашніх умовах виконати низку цікавих експериментів, а тоді продемонструвати їх у школі на уроках чи під час лабораторних робіт, практикуму.

Дослід 1. *Явище повного внутрішнього відбивання світла.*

Обладнання: лазерний вказівник, 2–3 плоских дзеркала, штатив, посудина з водою.

Наповніть посудину водою на 20–30 см, можна розчинити трохи мила або прального порошку. На дно покладіть дзеркала. Скеруйте лазерний промінь на перше дзеркало під різними кутами, поки не досягнете повного внутрішнього відбивання променя від поверхні води, тоді промінь потрапляє на друге дзеркало і т. д. Водночас під час виконання цього дослідів спостерігаємо явище заломлювання світла на межі повітря-вода. Дослід краще провести в темноті. Щоб ліпше бачити лазерний промінь у повітрі, використовуйте аерозоль. Фотографуйте експеримент за допомогою цифрової камери або камери "Зеніт". Перша зручніша, вона дає змогу відразу спостерігати результати експерименту, можна дати учням домашнє завдання і показати на уроці результати досліджень.

Дослід 2. *Явище поширення світла у світловодах.*

Обладнання: лазерний вказівник, прозора пластикова трубка чи джгут.

Скеруйте промінь лазерного вказівника в горло трубки, попередньо зав'язавши її вузлом, спостерігаючи вихід світла з протилежного боку.

Дослід 3. *Явище дифракції.*

Обладнання: лазерний вказівник, дифракційна ґратка, лінійка, екран.

Розташуйте дифракційну ґратку паралельно до екрану (стіни), і скеруйте промінь лазерного вказівника перпендикулярно до ґратки. Ви спостерігатимете дифракційну картину у відбитому і прохідному світлі (рис. 1). За допомогою лінійки визначіть кути дифракції. Дослід можна проводити навіть без затемнення.

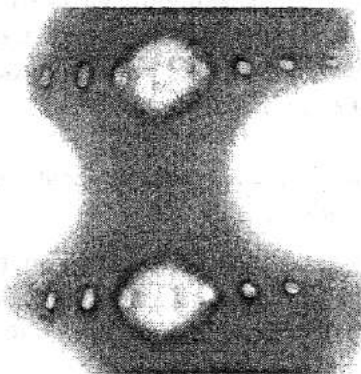


Рис. 1

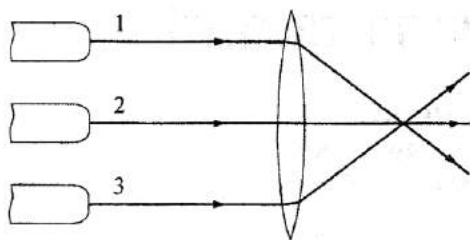
Дослід 4. *Хід променів у тригранній призмі та лінзі.*

Обладнання: скляна паличка, скляні лінзи, призми, лазерні вказівники.

Поставивши лазерний вказівник на віддалі 10–50 см від твірної циліндра (скляна паличка) перпендикулярно до неї, щоб промінь ковзав по циліндричній поверхні. Одержимо прямий, яскравий промінь на екрані чи стіні, який можна використати в досліді із геометричної оптики. Наприклад, у досліді з призмами, лінзами, можна брати одночасно три вказівники і провести без затем-



нення на вертикальному екрані досліди за схемою:



Дослід 5. Явище дифракції.

Дослід з компакт-диском.

Обладнання: лазерний вказівник, компакт-диск, лінійка, екран.

За допомогою компакт-диска можна спостерігати явище дифракції. Компакт-диск може слугувати дифракційною ґраткою, яка працює у відбитому світлі. Скерувавши на компакт-диск промінь лазерного вказівника, можна спостерігати не менше 5–6 дифракційних максимумів. Випромінювання лазерного вказівника має довжину хвилі 630–680 нм. Знаючи довжину хвилі, можна обчислити сталу ґратки.

Дослід 6. Вивчення спектру випромінювання джерела світла.

Обладнання: компакт-диск, енергоощадна лампа MAXUS.1-ES-016 або будь-яка інша, екран, леза безпечної бритви, світлонепроникний футляр для лампи.

Проріжте щілину в футлярі та приклейте леза безпечної бритви, утворивши щілину завширшки 0,5 мм. У відбитому світлі від компакт-диска спостерігайте лінійчастий спектр розжарених газів на фоні суцільного спектра випромінювання люмінофору. Якщо використаєте лампу ДРЛ-250,

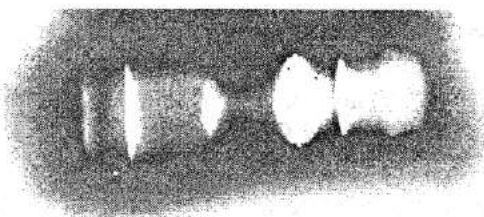


Рис. 2

то спостерігатимете таку ж картину (рис. 2). На рисунку спектр випромінювання лампи MAXUS 1-ESL-016 ($P = 26$ Вт, $U = 220$ В).

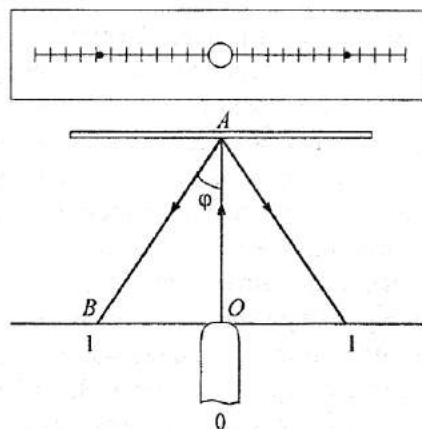
Можна, до речі, порівняти паспортну потужність лампи з потужністю виміряною експериментально.

Ми використовували лампу MAXUS (26 Вт). Перевага сучасних ламп, порівнюючи з лампами розжарення такої ж потужності, вражаюча.

Дослід 7. Вимірювання дифракційної сталої компакт-диска.

Обладнання: лазерний вказівник, аркуш ватману з нанесеними міліметровими поділками, частини компакт-диска (вистачить одного на 30 учнів).

Посередині аркуша ватману зробіть отвір діаметром лазерного вказівника, вставте туди лазерного вказівника. Міліметрові поділки на ватмані мають бути нанесені по різні боки від отвору для лазерного вказівника з боку учня. Дифракційну ґратку закріпіть вертикально.



1. Заміряйте BO та AO . $k = 1$.
2. Знайдіть:

$$d = \frac{\lambda}{\sin \varphi} = \frac{\lambda \sqrt{BO^2 + AO^2}}{BO}$$

3. У цьому досліді Ви одержите значення сталої лазерних дисків від 100 до 2000 штрихів на 1 мм.



СКРИПКА БИ НЕ ГРАЛА, ЯКБИ НЕ ТОЙ СМИЧОК ...



Роман Паславський,
*Львівський технічний коледж Національного
університету "Львівська політехніка"*

Відомо, що взаємодію двох твердих тіл, які контактують поверхнями, можна пояснити силами тертя спокою і тертя ковзання. Перша сила виникає між дотичними, але нерухомими один відносно іншими тілами, друга – під час ковзання одного тіла поверхнею іншого.

Сила тертя спокою, як відомо, може набувати будь-якого значення (залежно від зовнішньої си-

Під час руху тіла в будь-якому середовищі виникають сили опору, які сповільнюють його. Механічному рухові твердого тіла поверхнею іншого перешкоджають сили тертя ковзання. У рідині чи газі діє в'язке тертя, аеродинамічний опір тощо.

Взаємодія тіла із середовищем – складний процес, який переважно приводить до того, що енергія тіла з часом переходить у тепло. Наприклад, санчата, яким надали початкової швидкості, врешті-решт зупиняться тому, що сила тертя ковзання між ними і снігом виконує роботу і зменшує кінетичну енергію санчат. Коли санчата зупиняться, то вся їхня початкова кінетична енергія перетвориться та тепло.

Проте опір середовища може відігравати й зворотню роль – збільшувати енергію тіла. Нехай маємо прилад, який складається з валу, що може обертатись зі сталою кутовою швидкістю, на якому вільно обертається муфта, до якої прикріплено фізичний маятник (рис. 1). Якщо вал почне обертатись, то завдяки силі тертя спокою на муфту діятиме момент сил, який обертатиме маятник у напрямку руху вала.

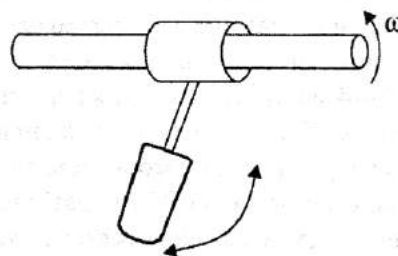


Рис. 1

ли), утім вона завжди дорівнює зовнішній силі за величиною і протилежна до неї за напрямком.

Сила тертя ковзання залежить від матеріалу тіл і від стану поверхонь, що труться, а також від відносної швидкості цих тіл. Характер залежності сили тертя ковзання від швидкості для різних тіл різний. Часто зі збільшенням швидкості ковзання спочатку зменшується сила тертя ковзання, а далі вона зростає.

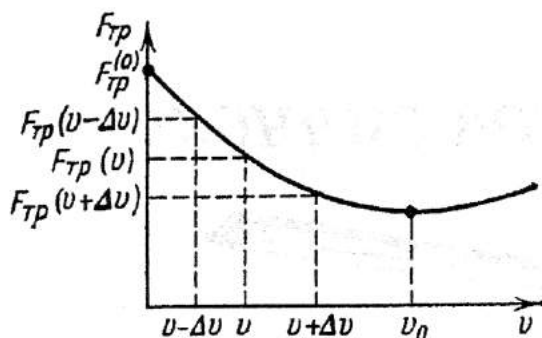


Рис. 2

Графік залежності абсолютної величини сили тертя ковзання від швидкості зображено на рис. 2. Нехай сила тертя між валом і муфтою має саме таку залежність від відносної швидкості. Максимальне значення сили тертя ковзання при $v = 0$ відповідає силі тертя спокою. Якщо відносна швидкість вала і муфти v відповідає спадній ділянці $0 < v < v_0$, то збільшенню відносної швидкості на деяку малу величину Δv відповідає зменшенню сили тертя, і навпаки, зі зменшенням швидкості відповідна зміна сили тертя позитивна.

З відхиленням маятника від вертикалі, на нього почне діяти момент сили тяжіння, який буде пропорційний до кута відхилення і напрямлений у протилежний бік. У положенні, коли момент сили тяжіння дорівнюватиме моментові сили тертя спокою, відбудеться зрив. У тій фазі руху, коли лінійна швидкість вала збігатиметься з лінійною швидкістю муфти, відносна швидкість контактних поверхонь буде менша ніж тоді, коли лінійна швидкість вала і муфти будуть спрямовані в протилежні боки (друга фаза руху).

Робота сили тертя ковзання в першій фазі руху буде більша ніж у другій фазі руху тому, що сила тертя ковзання більша, якщо менша відносна швидкість руху контактних поверхонь (див. рис. 2). Завдяки цьому повна робота сили тертя ковзання за увесь цикл (перша і друга фази руху) буде додатна. Енергія системи поповниться, зростатиме амплітуда коливань маятника. Маятник коливатиметься з такою амплітудою, за якої його втрати

енергії за одне коливання будуть рівні роботі сил тертя ковзання між валом і муфтою.

Подібний механізм виникнення коливань струни скрипки. Він теж ґрунтується на спадній залежності сили тертя ковзання від швидкості руху.

Спробуймо з'ясувати, чому виникають коливання струни скрипки, коли по ній рівномірно ведуть смичком. Сили тертя між смичком і струною – це сили тертя ковзання.

Під час початкового руху смичка струна відхиляється разом з ним. Сила тертя спокою врівноважується силами натягу струни (рис. 3). Рівнодійна сил натягу струни F пропорційна відхиленню струни x від положення рівноваги:

$$F = 2T_0 \sin \alpha = \frac{4T_0}{l} x,$$

де l – довжина струни, T_0 – сила натягу струни.

Тому під час руху струни разом зі смичком сила F буде рости, і в той момент, коли вона дорівнюватиме максимальній силі тертя спокою, почнеться проковзування.

Для простоти вважатимемо, що у момент початку ковзання зміна сили тертя відбувається стрибком: вона зменшується від максимального значення сили тертя спокою до невеликої сили тертя ковзання. Іншими словами, після початку ковзання рух струни можна вважати майже вільним.

У момент зриву швидкість струни дорівнювала швидкості смичка, і спочатку струна далі відхилятиметься у бік руху смичка. Але тепер рівнодійна сил натягу нічим не компенсується, тому вона гальмуватиме рух струни, зумовлюючи ві-

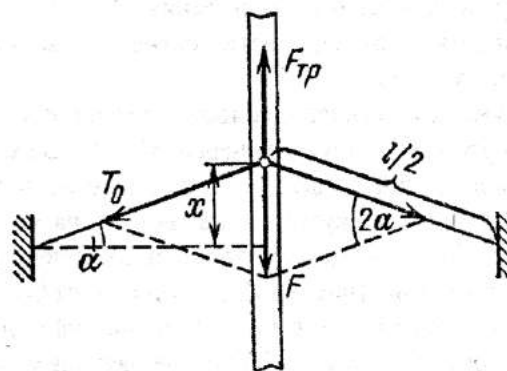


Рис. 3

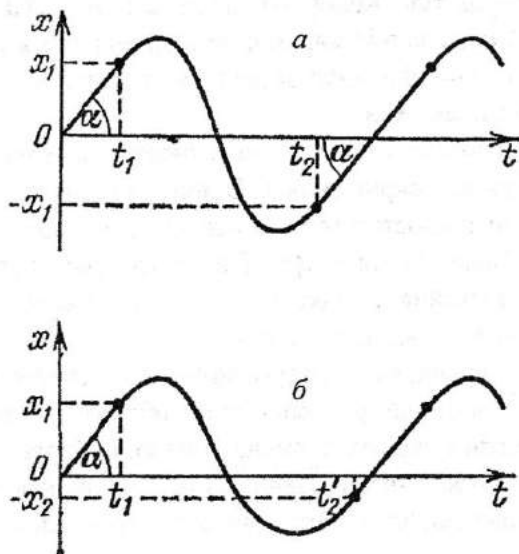


Рис. 4

д'ємне пришвидшення. В якийсь момент швидкість струни впаде до нуля, далі струна почне рухатися назад. Після максимального відхилення від положення рівноваги в протилежний бік, струна знову рухатиметься у бік руху смичка, якщо смичок продовжує рухатися рівномірно зі швидкістю u . У деякий момент швидкості струни і смичка зрівняються. При цьому між струною і смичком проковзування вже не буде, і знову сила тертя спокою дорівнюватиме рівнодійній сил натягу.

Під час подальшого руху струни до положення рівноваги сили натягу зменшуються, і відповідно зменшується сила тертя спокою. Після проходження струни положення рівноваги процес повторюється.

Графік залежності відхилення струни від часу зображено на рис. 4, а. Рух струни періодичний, причому в кожному періоді є дві різні ділянки. Наприклад, на ділянці $0 < t < t_1$ струна рухається зі смичком із постійною швидкістю u , так, що відхилення x лінійно залежить від часу ($\operatorname{tg} \alpha = u$). У момент t_1 відбувається зрив, і при $t_1 < t < t_2$ зміна x від часу відбувається за синусоїдальним законом. У момент t_2 , коли дотична до синусоїди має такий самий нахил, що й початкова прямолінійна ділянка (умова рівності швидкостей), струна знову захоплюється смичком.

Рис. 4, а відповідає ідеальному випадкові, коли сили тертя ковзання немає, і тому немає втрат енергії при вільному русі струни. Повна робота сили тертя спокою на лінійних ділянках за період також дорівнює нулеві, оскільки за від'ємних x виконується від'ємна робота (сила тертя спрямована проти руху), а при $x > 0$ виконується така ж за величиною, але позитивна робота.

Що ж відбувається у випадку, якщо сила тертя ковзання відмінна від нуля? Тертя ковзання призводить до втрат енергії. Рух струни при ковзанні тепер описується графіком, який зображено на рис. 4, б. За від'ємних відхилень ця крива пологіша, ніж за додатних. Тому зщеплення струни зі смичком відбувається за меншого за величиною від'ємного відхилення $-x_2$, ніж позитивного відхилення x_1 , що відповідає за зрив. Унаслідок сила тертя спокою під час зщеплення струни зі смичком здійснює за період додатню роботу.

$$A = \frac{k(x_1^2 - x_2^2)}{2},$$

де $k = 4T_0/l$ – коефіцієнт пропорційності між величиною сили тертя спокою і відхиленням струни.

Ця робота якраз і компенсує втрати енергії внаслідок опору повітря, тертя ковзання, непружного характеру деформації і на випромінювання звукових хвиль. Завдяки цьому коливання струни є незгасні.

Взагалі кажучи, для поповнення енергії струни за рахунок сил тертя не обов'язково, щоб відбувалося зщеплення струни із смичком. Достатньо, щоб відносна швидкість смичка і струни під час коливання струни перебували в межах спадної ділянки залежності сили тертя ковзання від швидкості. Розгляньмо докладніше явище збудження коливань струни в цьому випадку.

Нехай смичок знову рухається з деякою постійною швидкістю u , а струна відхилює від положення рівноваги на x_0 так, щоб рівнодійна $F(x_0)$ сил пружності зрівнювала силу тертя ковзання $F_{\text{тр}}(u)$. Якщо струна випадково відхилиться у бік руху смичка, то відносна швидкість зменшиться. Внаслідок сила тертя зростає (відносна



швидкість відповідає спадній ділянці), і струна відхилиться ще більше. З дальшим відхиленням пружна сила в якийсь момент обов'язково перевищить силу тертя (пружна сила пропорційна величині відхилення, а сила тертя ковзання не може перевершити максимального значення сили тертя спокою), і струна почне рухатися у зворотний бік. Вона пройде положення рівноваги, знову відхилиться, зупиниться і т. д. Отже, збудяться коливання струни.

Важливо, що ці коливання будуть незгасні. Насправді, під час руху струни зі швидкістю Δv у бік смичка сила тертя виконує позитивну роботу, а під час зворотного руху – негативну.

Але відносна швидкість $v_1 = u - \Delta v$ у першому випадку менша, ніж швидкість $v_2 = u + \Delta v$ у другому випадку, а відповідно, сила тертя $F_{\text{тр}}(u - \Delta v)$, навпаки, більша, ніж $F_{\text{тр}}(u + \Delta v)$.

Отже, позитивна робота сил тертя під час руху струни в бік смичка більша, а ніж від'ємна робота під час її зворотного руху, і загалом сила тертя ковзання виконує позитивну роботу. Амплітуда коливань буде збільшуватися. Однак лише до певної межі. При $v > v_0$ (рис. 2) швидкість виходить за межі спадної ділянки, і тоді від'ємна робота сили тертя ковзання уже може стати більшою, ніж позитивна робота.

У результаті встановиться така амплітуда коливань, за якої повна робота сил тертя дорівнює нулеві. З цією постійною амплітудою і відбуватимуться незгасні коливання струни.

Збудження звукових коливань під час руху твердого тіла поверхнею іншого відбувається дуже часто. Тертя ковзання в завісах дверей може зумовити скрип. Скрип можна відтворити просто пальцем, провівши ним по якій-небудь гладкій поверхні. Явища, що відбуваються при цьому, багато в чому подібні до збудження коливання струни скрипки. На початку дії проковзування немає, і виникає пружна деформація. Коли сила пружності досягає максимального значення сили тертя спокою, відбувається зрив, і збуджується ко-

ливання тіла. Коливання не загасають, оскільки завдяки спадній характеристиці сил тертя ковзання від швидкості забезпечується поповнення енергії системи.

Зі зміною характеру залежності сил тертя від швидкості скрип зникає. Відомо, наприклад, що для цього достатньо змастити поверхні, що труться. Сила в'язкого тертя (за малих швидкостей) пропорційна швидкості, і умов, потрібних для збудження коливань, немає.

Навпаки, якщо хочуть ефективно збуджувати коливання, поверхні спеціально обробляють, щоб добитися стрімкого зменшення сили тертя ковзання зі збільшенням швидкості. Смичок скрипки, наприклад, для цього натирають каніфоллю.

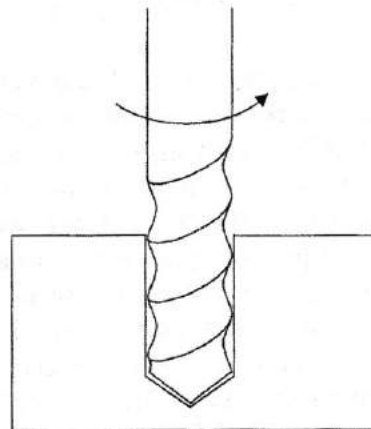


Рис. 5

Знання законів тертя допомагає розв'язати важливі виробничі завдання. Під час свердлення металу деколи виникає вібрація свердла, збуджується характерний звук. Ці коливання зумовлені силами тертя ковзання між металом і свердлом, що ковзає по його поверхні (рис. 5). Цим, як ми вже знаємо, можна пояснити виникнення коливань свердла. Щоб запобігти вібрації, використовують, наприклад, спеціальну змащувальну рідину. І так уникають вібрацій.



ПОГЛЯД НА СВІТ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК

Олександр Мельничук,

*постдокторант Національної лабораторії імені Енріко Фермі
(Батавія, США)*

*Фізика елементарних частинок –
це локальна спроба Всесвіту
зрозуміти себе.*

Ричард Генік,
*(Мічиганський університет,
США)*

Шановний читачу, дозволь мені ознайомити тебе із світом, в який я мав приємну нагоду зазирнути краєм ока крізь віконце експериментальної фізики. Я передбачаю, що будь-яке знайомство, його наслідки можуть бути різноманітними. Для когось, мабуть, воно буде лише нецікавим повторенням уже раніше почутого. Когось, можливо, захопить на коротку мить і не більше, а для когось, сподіваюся, воно стане початком серйозного захоплення, що переросте в глибоку дружбу на все життя.

Перше, що впадає в очі, коли розглядаєш світ елементарних частинок, це те, що частинки, як і люди, бувають дуже різні. Людей можна розрізнити, наприклад, за такими характеристиками, як вік, стать, колір очей, волосся, за типом темпераменту, рисами характеру. Аналогічно, частинки можна класифікувати за їхнім зарядом, спіном, здатністю чи нездатністю до певного типу взаємодій.

Зупинімося на характеристиці, спільній для людей і для частинок, і, на перший погляд, найпростіший. Мова йде про масу. Залежно від віку, генетичних схильностей та кулінарних уподобань, люди можуть мати більшу чи меншу масу. Так само й елементарні частинки мають різну масу.

Скажімо, електрон, частинка, яку відкрив першою англійський фізик Дж. Дж. Томсон

(J.J. Tomson) у Кавендишській лабораторії Кембриджського університету 1897 року під час дослідження властивостей катодних променів, має масу $9,1 \times 10^{-31}$ кг.

Маса мюона, частинки, подібної на електрон, яку відкрили науковці Гарвардського університету Дж. Стріт і Е. Стівенсон (J.C. Street and E.C. Stevenson) 1937 року, вивчаючи властивості космічних променів за допомогою камери Вільсона, більша від маси електрона у 200 разів.

А маса, зовсім недавно відкритого в лабораторії Фермі біля Чикаго (США) під час зіткнень зустрічних пучків протонів та антипротонів, топ-кварка майже у 30 000 разів більша від маси електрона і близька до маси атома золота. Це відкриття здійснили незалежно два наукові колективи (експерименти DO та CDF), у кожному з яких працювало кілька сотень вчених із багатьох країн світу.

Хоча, зазвичай, люди мають більше індивідуальних рис, ніж елементарні частинки, однак щодо маси частинок, то вони мають більшу різноманітність. Як видно з прикладів, їхні маси можуть відрізнитися в десятки тисяч разів. Якщо ж вести мову про масу елементарних частинок, то виникає одна особливість, якої нема в людей.

Є частинки, чия маса дорівнює нулеві, але ніхто не зустрічав людини, чия маса дорівнювала б нулеві.

У побуті слово частинка означає частинку речовини, об'єкт, нехай і зовсім маленький, але аж ніяк не такий, що зовсім не має маси.

Спробуймо пояснити, що ж означає слово "частинка" у фізичній термінології.

Почнімо з того, який розділ фізики вивчає елементарні частинки. Як читач уже здогадався, – це фізика елементарних частинок. Однак, що



ховається за цією, на перший погляд, простою назвою?

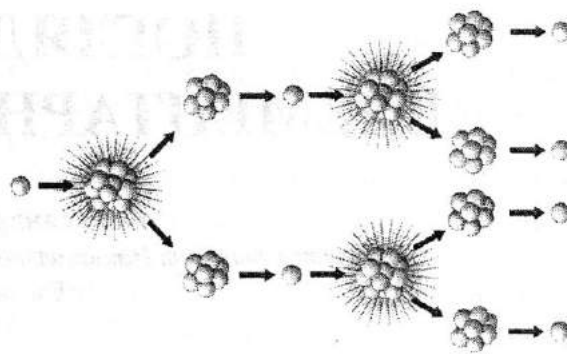
Ми знаємо, що фізика як наука, природно розпочалася з вивчення об'єктів співрозмірних з людьми та предметами побуту. Фізики середньовіччя, наприклад Ньютон та Галілей, намагалися встановити загальні закономірності руху та взаємодії тіл. Ці знання були систематизовані у розділі класичної механіки, знаючи закони якої, ми можемо передбачати рух тіл, якщо відомі їх початкові стани, та сили, що діють на ці тіла. Ми можемо досить точно встановити, наприклад, траєкторію футбольного м'яча, що влучить у ворота суперника твоєї улюбленої команди, або обчислити час падіння авторучки, яка вислизне з твоєї долоні, коли ти задрімаєш випадково на уроці літератури. Однак, якщо ми спробуємо застосувати ці ж самі закони до руху об'єктів з набагато меншими розмірами, скажімо, руху електрона в атомі водню, то результатом розрахунків буде повна нісенітниця.

У суспільному житті ми знаємо, що певна низка законів завжди має свою сферу застосування і свій час. Наприклад, закони, що регулювали устрій життя вільних афінян в часи розквіту еллінської демократії, зовсім не працювали б на теренах Золотої Орди.

Так само і електрони у мікросвіті не підвладні законам класичної механіки, бо мікросвіт живе за законами так званої квантової механіки.

Квантова механіка з'явилася на початку ХХ сторіччя. Вона дала нам не лише правильні формули для розрахунку експериментально вимірних фізичних величин. Разом з формулами вона принесла радикально новий світогляд, який примусив нас переглянути наші уявлення про матерію і час, про передбачуваність явищ, про саму можливість і обмеженість нашого пізнання об'єктивної реальності. Маючи на столі підручник квантової механіки, ми можемо багато дізнатися про рух електрона в атомі водню. Зокрема можна розрахувати, що середня швидкість руху на першій орбіті дорівнює $1/137$ швидкості світла.

Хоча, порівнюючи зі швидкостями, з якими ми стикаємось у повсякденному житті, це досить висока швидкість, для частинок вона порівняно невисока.



Мірою того, висока чи ні швидкість частинки, вважають її близькість до швидкості світла. Наприклад, швидкість протонів і антипротонів у адронному колайдері лабораторії Фермі дорівнює $0,999c$, де c – швидкість світла у вакуумі; $0,999$ швидкості світла – це лише на 300 км/год менше від самої швидкості світла.

Розрізняють два режими руху: релятивістський (швидкості близькі до швидкості світла) і нерелятивістський (малі швидкості). У релятивістському типі руху спостерігаються різні дивовижні ефекти, такі, як скорочення відстаней та сповільнення часу (релятивістські ефекти). Розділ фізики, що пояснює ці ефекти, називають спеціальною теорією відносності.

Релятивістські ефекти дещо змінюють рух тіл і відповідно рівняння, що їх описують. Це твердження справедливо і для об'єктів класичної механіки, і для квантово-механічних.

Наприклад, у нерелятивістській класичній механіці швидкість світла у вакуумі – це лише число з неперервного спектра можливих швидкостей без особливої ролі та змісту.

Якщо до класичного тіла докласти постійну силу, то воно буде постійно пришвидшуватись і в якийсь момент його швидкість перевищить швидкість світла, і врешті-решт досягне безмежності.

А в релятивістській механіці максимально досяжною швидкістю є власне швидкість світла, незалежно від величини докладеної сили чи тривалості її дії.

Подібно розрізняють релятивістську і нерелятивістську квантову механіку.

Нерелятивістська квантова механіка з досить високою точністю описує рух електрона в атомі водню. А для адекватного опису протонів чи



антипротонів у колайдері лабораторії Фермі не обійтися без релятивістської квантової механіки.

Отже, сьогодні можемо сказати, що фізика елементарних частинок – це нерелятивістська квантова механіка. І це буде правильно доти, поки між частинками, які ми досліджуємо, не відбуваються процесів взаємоперетворення (розпаду та народження).

Наприклад, мюон, який потрапляє в атмосферу, не долітає до її поверхні. Він розпадається на електрон, мюонне нейтрино та електронне антинейтрино.

Інший приклад: електрон та позитрон під час зіткнення анігілюють, тобто утворюють фотон, а самі зникають. Також *u*-кварк (з протона) та *u*-антикварк (з антипротона) можуть зливатися в глюон, який розпадається на топ-кварк та топ-антикварк.

Нерелятивістська квантова механіка не має у своєму арсеналі методів для опису подібних метаморфоз. Їх можна описати за допомогою квантової теорії поля.

Поле – це система з безмежною кількістю ступенів вільності. Поля, як і тіла, бувають класичні та квантові.

У квантовому полі ступені вільності групуються у “частинки”, які можуть народжуватись і зникати. Такий формалізм дає змогу описати про-

цеси розпаду та перетворення частинок. Утім бувають поля масові та безмасові. Відповідно, народжені частинки можуть мати масу, а можуть її не мати. Прикладом безмасового поля є фотонне поле.

Фотон – це частинка, яка має лише енергію, але не має маси.

Отже, щоб описати елементарні частинки з максимально можливою адекватністю, нам потрібна теорія, яка:

1. Є квантовою (на противагу класичній).
2. Релятивістською (на противагу нерелятивістській).
3. Здатна описати взаємоперетворення частинок.

Релятивістська квантова теорія поля задовільняє ці вимоги.

Досі ми говорили переважно про теоретичний опис частинок. Без сумніву, для поступу будь-якої науки однієї теорії недостатньо.

Як пташці для польоту потрібно два крила, так і фізика рухається вперед, поєднуючи здобутки теорії та експерименту.

Експерименти в фізиці елементарних частинок – це не менш цікава частина, повна прикладів людської винахідливості й колективізму, подиву і несподіванок, відчуття дива і радості відкриття.

Але це вже інша тема.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

ПІДЗЕМНЕ РАДІО

У знаменитій атомній лабораторії в Лос-Аламосі створили новий і цілком мирний пристрій – підземне радіо. Роботи зі створення підземного радіо розпочали в травні 2006 року за замовленням канадської компанії Вітал Алерт Технолоджіс (Vital Alert Technologies).

Як стверджує керівник цієї компанії Джо Міллер ідея створення приладу, який би дав змогу рятівникам обмінюватися інформацією з людьми, які опинилися під товщею породи або будівлями, що завалилися, прийшла йому в голову відразу після подій 11 вересня 2001 року. Для реалізації свого задуму він звернувся до вченого Девіда Рігора, який працював у Лос-Аламосе над проектами, пов'язаними з низькочастотним електромагнетним випромінюванням. Завдяки їхньої співпраці було сконструйовано пристрій, здатний передавати під землею на значні відстані голосові й текстові повідомлення. Цим приладом насамперед будуть користуватись шахтарі, які зможуть передавати інформацію про своє місцезнаходження під час аварійних ситуацій під землею.



Природа “швидкого” звуку у воді

За звичайних умов швидкість звуку у воді становить майже 1,5 км/с і не залежить від частоти звукової хвилі. Проте вже давно відомо, що ультразвукові коливання з частотою декілька терагерц (1 терагерц = 10^{12} Гц) поширюються у воді зі швидкістю майже удвічі більшою. Це явище назвали “швидким” звуком. Його відкрили експериментально 20 років тому. Натяки на нього з’явилися і при чисельному моделюванні динаміки води на атомарному рівні, але попри все це загальноприйнятого пояснення цього явища досі не було. Лише нещодавно, завдяки експериментам італійських фізиків (S. C. Santucci et al., *Physical Review Letters*, 97, 225701 (27 November, 2006), дискусію про природу цього явища було завершено.

Варто зазначити, що провести експерименти з таким високочастотним ультразвуком дуже складно. Акустичні випромінювачі в цьому діапазоні поки що не створені, і тому фізикам доводиться визначати швидкість такого ультразвуку опосередкованими методами. Для цього воду опромінюють потоком нейтронів або рентгенівських променів, які, стикаючись із молекулами води, породжують у мікроскопічному об’ємі високочастотні коливання і передають їм частину своєї енергії та імпульсу. Із співвідношення цих двох величин визначають швидкість поширення звукових коливань.

Досі існували дві основні теорії, що пояснювали явище “швидкого” звуку у воді. Відповідно до першої, для звуку дуже високої частоти вода є пружнішою та інерційнішою. Такі середовища називають віскоеластиками. У результаті коливання з такою високою частотою розповсюджується швидше завдяки пружному, майже твердому середовищу, адже відомо, що в твердому тілі швидкість звуку більша ніж у рідині (швидкість звуку в льоді, наприклад, становить майже 3 км/с).

Друга теорія ґрунтується на тому, що вода складається з переплетеного мережива йонів двох типів: дуже легких йонів водню і важких йонів

кисню. Обчислення показують, що часто в таких двокомпонентних середовищах із масами, що дуже відрізняються, існує спеціальний тип “швидких” звукових хвиль, які поширюються лише через мережу легких атомів. Ця теорія добре себе зарекомендувала для опису швидкого звуку в двокомпонентних газах і сплавах, і тому очікувалось, що її можна застосувати й для води.

Обидві ці теорії узгоджуються з описаними експериментами, проте вони абсолютно по-різному описують перехід від звичайного звуку до “швидкого”, який має відбуватися за менших частот (у гігагерцевому діапазоні). Щоб з’ясувати, яка з двох теорій правильна, треба виміряти залежність швидкості звуку від частоти в цій перехідній ділянці. Додаткова складність таких експериментів в тому, що найлегше здійснити перехід від звичайного до “швидкого” звуку в дуже холодній і навіть переохолодженій воді (тобто за температур нижчих від 0 С). Експерименти з переохолодженою водою вимагають експериментальної майстерності, оскільки за найменшого збурення вона швидко кристалізується.

Такі експерименти провели італійські фізики й отримали точні дані про швидкість звукових коливань у діапазоні від 1 до 100 ГГц. Вони вивчали розсіяння фотонів видимої та ультрафіолетової ділянки спектру. Їхній експеримент показав, що зі збільшенням частоти коливань (або з пониженням температури) швидкість звуку справді поступово відходить від “звичайної залежності” і зростає.

Дослідники порівняли свої дані з прогнозами обох теорій і показали, що їхній експеримент підтверджує віскоеластичну теорію і суперечить висновкам двокомпонентної.

Отже, можна вважати, що в багаторічна дискусія про природу “швидкого” звуку у воді завершена. Загалом, це зайвий раз підкреслює вражаючу різноманітність структурних і динамічних властивостей води.



ДИВОВИЖНИЙ ЛІД

Звичайний лід

Вода, як і інші речовини, може перебувати у трьох різних станах: рідинному, газоподібному і твердому. Перехід води у твердий стан можливий двома шляхами:

1. Воду охолоджують до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (точка замерзання води при атмосферному тискові) і продовжують відбирати від неї тепло;
2. Якщо водяна пара (газоподібний стан) контактуватиме з холодною твердою поверхнею.

У твердому стані вода перебуває у формі сніжинок або льоду. Сніжинки утворюються, коли замерзає водяна пара. Льодові кристали утворюють візерунки на холодному вікні, коли водяна пара замерзає повільно. Взимку на поверхні води в калюжах, озерах тощо утворюється лід. Бурульки льоду виростають, коли вода капає у дуже холодному повітрі.



Можна спіймати сніжинки на шматочок чорної тканини або картону (попередньо, охолодивши їх у холодильнику, щоб сніжинки відразу не розтанули) і дослідити їхні форми за допомогою лупи.

Лід вимагає простору

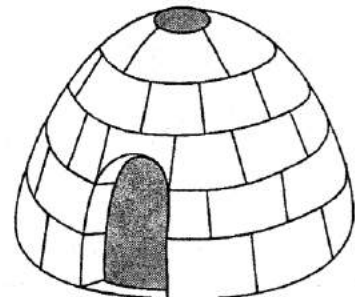
Помістіть шматочок льоду в склянку і налійте воду до її країв. Як Ви думаєте, що відбудеться, коли лід розтане? Чи переповниться склянка?

Сподіваємось, що якщо Ви виконаєте цей дослід, то побачите, що рівень води залишиться майже незмінним. Це відбувається тому що вода, яка утворилася з льоду, займає менше простору, ніж лід, а лід займає більший об'єм, ніж вода, з якої він утворився. Саме з цієї причини взимку можуть тріскатися водогінні труби, якщо вода всередині них замерзне. Вода під час замерзання збільшує свій об'єм і розриває місця з'єднання або самі труби.

Завдяки тому, що густина льоду менша від густини води, з якої він утворюється, лід плаває, глибоко занурившись у воду. Лише одну дев'яту частину його об'єму видно над водою.

Хатинка з льоду

Ескімоси в Канаді будували хатинки зі снігу (іглу), щоб перебувати в них під час далеких мисливських подорожей. Ці будинки складають із щільних блоків снігу, будуючи сфероподібну хатинку. Щілини між блоками заповнювали снігом, а зверху залишали отвір, щоб забезпечити доступ повітря. Від тепла печі "стіни" починали танути із середини. Відчиняючи двері, добиваються того, що вода замерзала, утворюючи шар льоду, який захищав їх від вітру. Зрозуміло, що стіни такої хатинки не можна нагріти вище від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, а отже, і температура повітря в іглу буде майже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Але це значно тепліше, ніж на повітрі, де температура завжди нижча. Нині досвід ескімосів використовують туристи, мандрівники, які подорожують Арктикою.





Як розрізати лід

Лід плавиться не лише за температури 0°C . Він може плавитись і за нижчих температур, але під тиском, більшим від атмосферного. Зважаючи на це, лід можна розрізати мотузкою або дротом.

Під тиском мотузки (або дроту) лід тоне. У воді, що утворилася під тиском мотузки, мотузка опускається вниз. Те ж саме відбувається, коли люди катаються на ковзанах. Ковзаняр своєю вагою діє на лід, і створює на нього великий тиск, що примушує лід танути під лезами ковзанів. Шар води поліпшує ковзання. Далі вода знову замерзає.

Перевірте це самостійно. Вставте корок у пляшку так, щоб майже 2,5 см залишилося зовні. Положіть шматочок льоду на корок. Відріжте шматок мотузки або дроту завдовжки майже 40 см і прив'яжіть до її кінців тягарці. Перекиньте мотузку через шматок льоду. Помістіть пляшку в холодильник. Мотузка пройде крізь шматочок льоду.



Лід і сіль

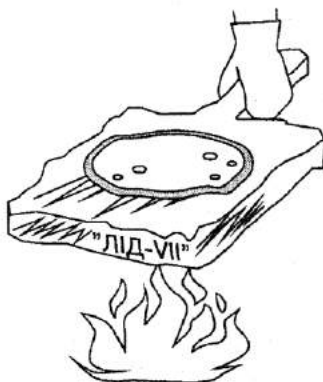
Лід тоне, якщо його посипати сіллю. Це відбувається тому, що солоня вода замерзає за нижчої температури, ніж звичайна. Іншими словами, щоб солоня вода перетворилася на лід, температура має бути нижча від 0°C .

Узимку дороги посипають сіллю: солоня вода не замерзає аж до температури -6°C . Суміш води з етиленгліколем (антифриз) не замерзає до -30°C . Таку охолоджувальну рідину (антифриз) заливають у радіатори автомобілів, і вона не замерзає навіть у люті морози.

Перевірте властивості льоду із сіллю самостійно.

На плаваючий у воді шматочок льоду акуратно покладіть сірник. Посипте трошки солі навколо сірника. Незабаром він вмержне в лід, і ви зможете за цей сірник підняти шматочок льоду. Це відбувається завдяки тому, що під сірник сіль не потрапляє і він вмержне в лід.

Гарячий лід



Науковці відкрили ще декілька фаз льоду. Але в природі їх знайти неможливо, оскільки вони існують за дуже високих тисків. Фаза, яку називають “звичайний лід” зберігається до тиску 208 МПа, але при цьому тиску лід тоне за температури -22°C . Якщо тиск вищий від 208 МПа, змінюється кристалічна структура льоду й утворюється фаза – “лід-III”. У цій фазі лід має більшу густину, ніж вода. За ще нижчих температур і вищих тисків (до 300 МПа) утворюється ще щільніший лід – “лід-II”. Ще за вищих тисків (понад 500 МПа) існує фаза “лід-V”. Цей лід можна нагріти майже до 0°C і він не розтане, хоча знаходиться під величезним тиском. Під тиском 2 ГПа виникає фаза “лід-VI”. Вона не тоне до температури 80°C . Наступну фазу “лід-VII” отримують за тисків майже 3 ГПа. Вона є найщільнішою і має найбільшу температуру танення з відомих фаз льоду. “Лід-VII” тоне за температури 190°C . Це незвичайний лід, оскільки він міцніший ніж сталь, і на шматку такого льоду можна пекти млинці.

Володимир Цмоць. Молекулярна фізика. – Дрогобич: Коло, 2005. – 358 с.

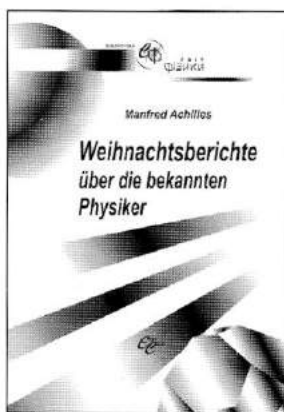
У навчальному посібнику подано систематичний виклад фізичних основ молекулярної фізики та її застосування до багатьох задач. Докладно описано газоподібний, рідкий і твердий (кристалічний) стани речовини, хоча деякі теми висвітлені ширше, ніж передбачено навчальною програмою. Це стосується реальних газів, рідин, теплових властивостей твердих тіл, фазових перетворень. Головну увагу в посібнику приділено розкриттю фізичного змісту і сучасному розумінню понять і основних законів молекулярної фізики, обґрунтуванню фундаментальних теорій і встановленню меж їхнього застосування. Автор намагається також наблизити матеріал, поданий у посібнику, до відповідного матеріалу курсів теоретичної фізики. У посібнику є багато рисунків, таблиць, прикладів, які полегшують розкриття теоретичного матеріалу і допомагають краще зрозуміти

**Серія Бібліотека “Світ фізики”**

ISBN 966-7343-13-8

Ахіллес. Різдвяні розповіді про знаменитих фізиків/ німецькою мовою. – Львів: Євросвіт, 2007. – 56 с.: Іл.

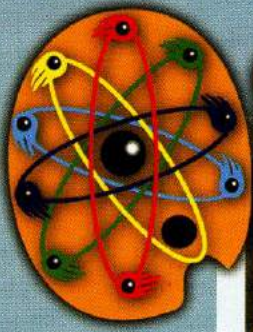
Manfred Achilles. Weihnachtsberichte über die bekannten Physiker. – L'wiv: Euroweltverlag, 2007. – 56 S.



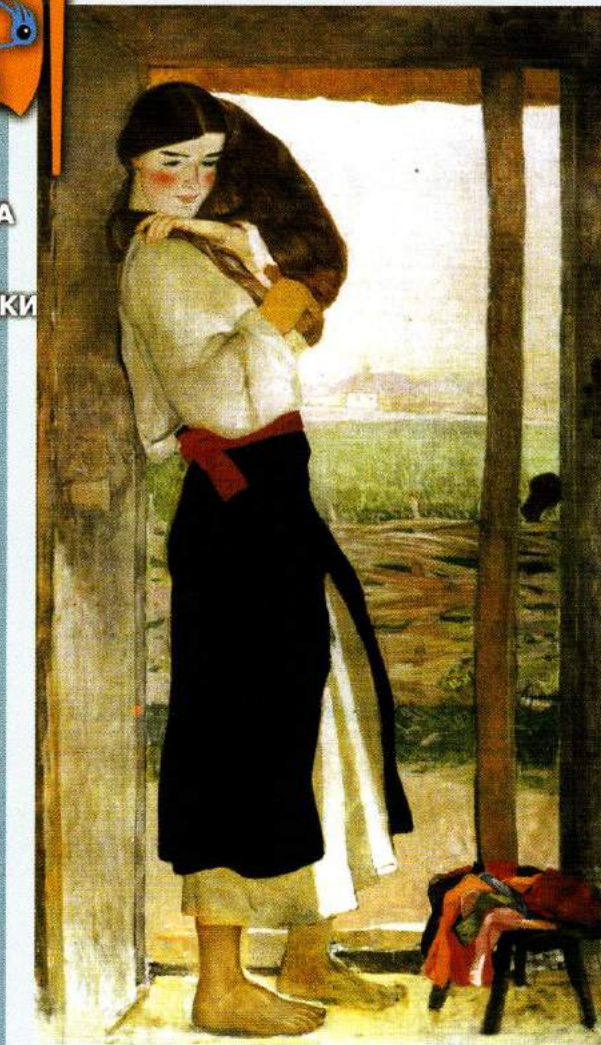
У книжці автор стисло й водночас принципово та вагомо розкриті основні наукові досягнення учених, не просто як лабораторний дослідник, а на тлі найважливіших для нього життєвих подій, знахідок, особистих уподобань, труднощів, втрат. Можна сподіватись, що саме таке олюднення, гуманістичне спрямування аналізу життя й діяльності вчених зробить добірку цікавою і для нових поколінь молоді, що виявляють зацікавлення до науки. До того ж тексти майстерно побудовані за змістом і формою, за красою і шляхетністю думки. Збірку можна використати як навчальний матеріал тими, хто поглиблено вивчає німецьку мову.

Для науковців, викладачів, учителів, аспірантів, студентів та усіх, хто цікавиться історією фізики.

Приймасмо замовлення за адресою:
 “Євросвіт”, м. Львів, 79005, а/с 6700;
 Phworld@franko.lviv.ua



МИСТЕЦЬКА
СТОРІНКА
ЖУРНАЛУ
"СВІТ ФІЗИКИ"



Ф. Г. КРИЧЕВСЬКИЙ (1879–1947)
Замріяна Катерина. 1939
Полотно, темпера

Творчість Федора Кричевського особливо приваблює тим, що більшість його робіт ідейним і сюжетним корінням глибоко сягає у товщу народного життя і водночас є яскравим виявом натури самого художника. Сталося так тому, що він завжди був невід'ємною часткою свого народу. У багатьох його історичних і жанрових полотнах помітні риси його і його близьких.

Традицію образотворчої інтерпретації сюжетів поеми "Катерина" заклав ще її автор Т. Шевченко. Чи не найяскравіше її продовження бачимо у творчості Федора Кричевського, який наприкінці 1930-х років написав низку творів за мотивами поеми. Найкращим із них є полотно "Замріяна Катерина". Відштовхуючись у загальному задумі від літературної основи, художник створив оригінальний образ, в якому переважають його життєві враження. Полотно Ф. Кричевського – це розповідь про молодість, кохання, щастя, про світлі мрії і радість життя.

**2007 – ювілейний для журналу "Світ фізики".
Рік цікавих несподіванок для читачів!**



**Не забудьте передплатити журнал "Світ фізики"
Передплатний індекс 22577**